

**Universidad Politécnica de Cataluña y Universidade de São Paulo**

**Katia Regina Punhagui Garcia**

**Potencial de reducción de las  
emisiones de CO<sub>2</sub> y de la energía  
incorporada en la construcción de  
viviendas en Brasil mediante el  
incremento del uso de la madera**

Tesis presentada al:

Programa Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente en la Arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña para la obtención del título de Doctor en Arquitectura.

Programa de Postgrado en Ingeniería Civil de la Escola Politécnica de la Universidade de São Paulo para la obtención del título de Doctor en Ingeniería Civil.

**Director y tutor: José María González Barroso**

**Codirector: Vanderley Moacyr John**

**Barcelona**

**2014**



Curso académico:

## Acta de calificación de tesis doctoral

Nombre y apellidos

Katia Regina Punhagui Garcia

Programa de doctorado

Programa Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente en la Arquitectura

Unidad estructural responsable del programa

Departamento de Construcciones Arquitectónicas I

## Resolución del Tribunal

Reunido el Tribunal designado a tal efecto, el doctorando / la doctoranda expone el tema de la su tesis doctoral titulada: Potencial de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera.

Acabada la lectura y después de dar respuesta a las cuestiones formuladas por los miembros titulares del tribunal, éste otorga la calificación:

NO APTO

APROBADO

NOTABLE

SOBRESALIENTE

(Nombre, apellidos y firma)		(Nombre, apellidos y firma)	
Presidente/a		Secretario/a	
(Nombre, apellidos y firma)	(Nombre, apellidos y firma)	(Nombre, apellidos y firma)	(Nombre, apellidos y firma)
Vocal	Vocal	Vocal	Vocal

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

El resultado del escrutinio de los votos emitidos por los miembros titulares del tribunal, efectuado por la Escuela de Doctorado, a instancia de la Comisión de Doctorado de la UPC, otorga la MENCIÓN CUM LAUDE:

SÍ

NO

(Nombre, apellidos y firma)		(Nombre, apellidos y firma)	
Presidente de la Comisión Permanente de la Escuela de Doctorado		Secretaria de la Comisión Permanente de la Escuela de Doctorado	

Barcelona a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

# **Potencial de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera**

**Katia Regina Punhagui Garcia**

Esta tesis doctoral fue juzgada adecuada para la obtención del título de

**DOCTOR EN ARQUITECTURA y DOCTOR EN INGENIERÍA**

aprobada en su forma final por el  
Programa Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente en la Arquitectura del  
Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Universidad Politécnica de Cataluña y  
Programa de Postgrado en Ingeniería Civil del Departamento de Ingeniería de la Construcción  
Civil de la Escola Politécnica de la Universidade de São Paulo.

---

Prof. José María González Barroso, Dr.  
(Director y tutor – UPC)

---

Prof. Vanderley Moacyr John, Dr.  
(Codirector - USP)

---

Profa. Helena Coch, Dra.  
(Coordinadora del programa de doctorado - UPC)

**COMISIÓN EXAMINADORA**

---

Prof. Jaime Avellaneda Diaz-grande, Dr.

---

Prof. Sergio Almeida Pacca, Dr.

---

Prof. Gabriel Pérez, Dr.

# **Potencial de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera**

**Katia Regina Punhagui Garcia**

Esta tesis doctoral fue juzgada adecuada para la obtención del título de

## **DOCTOR EN ARQUITECTURA**

aprobada en su forma final por el  
Programa Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente en la Arquitectura del  
Departamento de Construcciones Arquitectónicas I de la Universidad Politécnica de Cataluña.

---

Prof. José María González Barroso, Dr.  
(Director y tutor – UPC)

---

Prof. Vanderley Moacyr John, Dr.  
(Codirector - USP)

---

Profa. Helena Coch, Dra.  
(Coordinadora del programa de doctorado - UPC)

## **COMISIÓN EXAMINADORA**

---

Prof. Jaime Avellaneda Diaz-grande, Dr.

---

Prof. Sergio Almeida Pacca, Dr.

---

Prof. Gabriel Pérez, Dr.

*“El mar oscuro traerá el miedo lado a lado con los corales más coloridos”*  
*O Rappa*

*Dedico este trabajo a mi muy amada familia*

# Índice

<b>1 Introducción y justificación.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Cambio climático .....	1
1.1.2 Sector de la construcción y cambios climáticos .....	3
1.1.3 Madera en la construcción.....	5
1.1.4 Suministro de madera en Brasil.....	6
1.1.5 Demanda de viviendas en Brasil .....	7
1.1.6 Elementos para adoptar una decisión sobre los materiales de construcción.....	8
1.2 Hipótesis .....	9
1.3 Objetivos .....	9
1.3.1 Objetivo general .....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
1.4 Metodología de investigación .....	10
1.5 Estructura de la tesis.....	11
1.6 Referencias (capítulo 1).....	12
<b>2 Vivienda de madera en Brasil .....</b>	<b>18</b>
2.1 Contenido y objetivo .....	18
2.2 Método .....	18
2.3 Resultados y discusión .....	20
2.3.1 Escenario brasileño de la vivienda en madera: pasado y presente.....	20
2.3.2 Viviendas de madera y la dinámica del parque de viviendas .....	37
2.3.3 Posibles factores que influenciaron la dinámica del parque de viviendas .....	41
2.4 Discusión .....	53
2.5 Conclusiones del capítulo.....	55
2.6 Referencias (capítulo 2).....	56
<b>3 Percepción social y de los agentes del sector de la construcción del uso de la madera en viviendas .....</b>	<b>61</b>
3.1 Contenido y objetivo .....	61
3.2 Método .....	61
3.2.1 Investigación con el consumidor .....	62
3.2.2 Investigación entre agentes de la cadena de construcción de madera.....	69
3.3 Resultados y discusión .....	73
3.3.1 Opiniones del consumidor.....	73
3.3.2 Dificultades de la cadena de construcción con madera .....	98
3.4 Conclusiones del capítulo.....	111
3.5 Referencias (capítulo 3).....	113
<b>4 Caracterización del sector maderero y de las viviendas prefabricadas de madera en Brasil .....</b>	<b>118</b>
4.1 Contenido y objetivo .....	118
4.2 Método .....	118
4.3 Resultados .....	121
4.3.1 Sector maderero en Brasil .....	121
4.3.2 Viviendas prefabricadas de madera.....	141
4.4 Discusión .....	155
4.5 Conclusiones del capítulo.....	157
4.6 Referencias (capítulo 4).....	159

<b>5 Evaluación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada de los productos de madera para la construcción .....</b>	<b>164</b>
5.1 Contenido y objetivo .....	164
5.2 Método - Análisis del Ciclo de Vida Simplificado (ACVS) .....	164
5.2.1 Objetivo .....	165
5.2.2 Alcance .....	166
5.3 Resultados y Análisis del Inventario del Ciclo de Vida .....	186
5.3.1 Insumos y residuos .....	186
5.3.2 Emisiones de dióxido de carbono .....	194
5.3.3 Energía incorporada .....	198
5.3.4 Normalización de los resultados de emisión de CO <sub>2</sub> y energía incorporada .....	201
5.4 Discusión .....	202
5.4.1 Residuos .....	202
5.4.2 Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	203
5.4.3 Energía incorporada .....	206
5.4.4 Consecuencias de las limitaciones del estudio .....	207
5.5 Conclusiones del capítulo .....	211
5.6 Referencias (capítulo 5) .....	213
<b>6 Evaluación de las emisiones de dióxido de carbono y energía incorporada por el uso de la madera en el sector de viviendas en Brasil .....</b>	<b>221</b>
6.1 Objetivo .....	221
6.2 Método .....	221
6.2.1 Muestra de la vivienda en Brasil .....	222
6.2.2 Intensidad de pared de la vivienda .....	224
6.2.3 Técnicas constructivas .....	225
6.2.4 Consumo de materiales .....	227
6.2.5 Factores de emisión de CO <sub>2</sub> y energía incorporada de los materiales .....	228
6.2.6 Emisión de CO <sub>2</sub> y energía incorporada por superficie .....	245
6.2.7 Construcción de viviendas según la vida útil estimada .....	245
6.2.8 Escenario de referencia .....	246
6.2.9 Límites del estudio .....	247
6.3 Resultados y discusión .....	248
6.3.1 Emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de pared .....	248
6.3.2 Emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil .....	253
6.3.3 Emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada según la vida útil de la vivienda .....	256
6.3.4 Emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada del sector habitacional .....	259
6.3.5 Consecuencias de las limitaciones del estudio .....	265
6.4 Conclusiones del capítulo .....	268
6.5 Referencias (capítulo 6) .....	269
<b>7 Conclusiones de la tesis .....</b>	<b>276</b>
7.1 Conclusiones cerradas .....	276
7.2 Conclusiones abiertas .....	279
7.3 Perspectivas de evolución del estudio .....	282
<b>Divulgación de esta investigación .....</b>	<b>284</b>
<b>Apéndices</b>	



## Lista de figuras

Fig. 1. 1 - Resultados de modelos sobre el calentamiento en el último siglo considerando las fuerzas de la naturaleza y humanas .....	1
Fig. 1. 2 - Aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero en los últimos dos mil años.....	1
Fig. 1. 3 – Estructura de la tesis .....	12
Fig. 2. 1 - Representaciones figurativas de tipo constructivo conocido como “tapajuntas”.....	22
Fig. 2. 2 - Mapa de la ocupación original de la mata Atlántica y la selva Amazónica.....	22
Fig. 2. 3 - Porcentaje de viviendas de madera derivado del total de viviendas de madera de Brasil, por grandes regiones (2011) .....	23
Fig. 2. 4 - Construcción manual de la vivienda de madera .....	24
Fig. 2. 5 - Choza que servía como abrigo provisional.....	24
Fig. 2. 6 - Vivienda de la familia (in)migrante.....	24
Fig. 2. 7 - Vivienda de la familia (in)migrante.....	24
Fig. 2. 8 - Pueblo (Londrina/PR) al principio de la colonización, en 1934. Hoy, ciudad, con más de 500.000 habitantes.....	24
Fig. 2. 9 - Viviendas de madera construidas con la técnica conocida por "tapajuntas". Localizadas en Londrina/PR .....	26
Fig. 2. 10 - Detalles de pilares, goteo.....	28
Fig. 2. 11 - Algunas edificaciones de madera del Núcleo Histórico del Alto Paraguaçu, en la ciudad de Itaiópolis/SC.....	28
Fig. 2. 12 - Algunas viviendas protegidas por la ley en la ciudad de Antonio Prado/RS.....	29
Fig. 2. 13 - Viviendas de madera de bajo coste vendidas en <i>kits</i> para la autoconstrucción .....	30
Fig. 2. 14 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo (macho-hembra) de las viviendas prefabricadas de madera .....	32
Fig. 2. 15 - Ejemplos de viviendas prefabricadas en madera producidas y comercializadas en Brasil (sistema constructivo macho-hembra).....	32
Fig. 2. 16 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo <i>wood frame</i> producido por empresas que trabajan en Brasil.....	33
Fig. 2. 17 - Ejemplo de viviendas con sistema <i>wood frame</i> producidas por empresas que trabajan en Brasil .....	33
Fig. 2. 18 - Obras hechas a medida. Residencias unifamiliares de alto estándar económico.....	35
Fig. 2. 19 - Vivienda autoconstruida con madera reutilizada.....	36
Fig. 2. 20 - Pequeño pueblo chabolista .....	36
Fig. 2. 21 - Favela Jaguaré, en São Paulo.....	36
Fig. 2. 22 - Favela San Remo, en São Paulo .....	36

Fig. 2. 23 - Viviendas de madera de la Vila dos Ferroviários en la ciudad de Porto Alegre/RS, construidas en las décadas de 1940 y 1950 .....	41
Fig. 2. 24 - Viviendas de madera con fachada en albañilería en Londrina/PR.....	43
Fig. 2. 25 - Mapa del grado de riesgo de deterioro de la madera para las capitales brasileñas basado en el índice de clima de Scheffer (2000-2011) .....	46
Fig. 3. 1 - Diagrama sintético de la cadena de suministro de vivienda de madera considerada en este estudio .....	62
Fig. 3. 2 – Diagrama de los puntos claves estudiados con relación al consumidor.....	63
Fig. 3. 3 – Esquema representativo de los agentes estudiados y del modo de recolección de la información utilizado para cada grupo .....	70
Fig. 3. 4 – Imágenes más recordadas por los encuestados acerca de viviendas de madera.....	76
Fig. 3. 5 - Imágenes de la ciudad de Campos do Jordão, estado de São Paulo .....	76
Fig. 3. 6 - Casas de madera (tapajuntas) en la zona urbana de la ciudad de Curitiba, estado de Paraná....	77
Fig. 3. 7 – Residencial Haragano en ciudad de Pelotas, estado de Rio Grande do Sul .....	99
Fig. 3. 8 – Ejemplos de usos de madera en obras.....	102
Fig. 3. 9 – Algunas de las imágenes del edificio Bridport House (Londres) presentadas a los entrevistados para mostrarles el sistema CLT .....	103
Fig. 3. 10 - Ejemplo de viviendas prefabricadas de madera vendidas por las empresas entrevistadas ....	104
Fig. 4. 1 - Diagrama del contenido del capítulo .....	120
Fig. 4. 2 - Biomas de Brasil.....	122
Fig. 4. 3 - Estados productores de maderas nativas y plantadas.....	123
Fig. 4. 4 - Estados productores y consumidores de madera de la Amazonia Legal (2011).....	131
Fig. 4. 5 - Comparación de la biomasa forestal destruida en los sistemas de extracción “convencional” y de “impacto reducido” (manejo) .....	134
Fig. 4. 6 - Cadena productiva de la producción forestal de madera plantada.....	138
Fig. 4. 7 - Localización de las empresas consumidoras de madera plantada por segmento .....	139
Fig. 4. 8 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo “macho-hembra”. .....	147
Fig. 4. 9 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo “tapajuntas” .....	149
Fig. 4. 10 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo “entramado ligero de madera” .....	150
Fig. 4. 11 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo “troncos”.....	151
Fig. 5. 1 - Cadena productiva de madera nativa proveniente de extracción selectiva convencional.....	169
Fig. 5. 2 - Cadena productiva de madera de especie exótica proveniente de plantación.....	172
Fig. 5. 3 - Imágenes ilustrativas de los productos producidos por las empresas analizadas .....	173
Fig. 5. 4 - Alcance del estudio ( <i>system boundary</i> ) destacado por la línea roja .....	174
Fig. 5. 5 – Ruta alternativa para suministro de producto acabado (considerado aparte del sistema definido para este estudio que está dentro del alcance destacado por la línea roja) .....	175
Fig. 5. 6 – Comparación entre la extracción selectiva convencional y la de impacto reducido.....	181

Fig. 5. 7 - Micrografía de una sección transversal representativa de cada especie de madera.....	184
Fig. 5. 8 – Métodos de secado de la madera.....	187
Fig. 5. 9 – Ejemplo ilustrativo de diferencias morfológicas entre diferentes especies.....	191
Fig. 5. 10 - Comparación entre los residuos producidos en la extracción de madera nativa y plantada..	192
Fig. 5. 11 – Destino de los residuos de madera provenientes del procesamiento 1.....	193
Fig. 5. 12 – Figura ilustrativa del aprovechamiento de la madera.....	194
Fig. 5. 13 - Distribución porcentual de las emisiones de CO <sub>2</sub> por tonelada seca de madera aserrada, por fase del proceso dentro del alcance (ruta principal del estudio).....	198
Fig. 5. 14 - Distribución porcentual de la energía incorporada por tonelada seca de madera aserrada, por fase del proceso dentro del alcance (ruta principal del estudio).....	201
Fig. 6. 1 – Diagrama del método.....	222
Fig. 6. 2 - Diagrama de flujo de la producción de acero en Brasil.....	237
Fig. 6. 3 – Diagrama esquemático del principio de cálculo del escenario de referencia.....	247
Fig. 6. 4 – Límite considerado (línea roja discontinúa) para las estimaciones de dióxido de carbono y energía incorporada de las viviendas.....	247

## Lista de gráficos

Gráf. 2. 1 - Unidades de domicilios particulares permanentes en Brasil, clasificados según el material predominante en las paredes externas del edificio .....	37
Gráf. 2. 2 - Porcentaje de domicilios particulares permanentes de Brasil, clasificados según el material predominante en las paredes externas del edificio .....	37
Gráf. 2. 3 - Porcentaje domicilios particulares permanentes (DPP) con pared en madera respecto al total de DPP de Brasil .....	38
Gráf. 2. 4 - Porcentaje domicilios particulares permanentes (DPP) con pared en madera reutilizada respecto al total de DPP de madera (reutilizada + aplanada), por grandes regiones y Brasi.....	38
Gráf. 2. 5 - Porcentaje de domicilios particulares permanentes, por grandes regiones, clasificados según el material predominante en las paredes externas .....	39
Gráf. 2. 6 - Deforestación anual de la Amazonia y la Mata Atlántica.....	42
Gráf. 2. 7 - Correlación del Producto Interior Bruto (PIB) per cápita y el porcentaje de viviendas de madera en el total de las viviendas brasileñas .....	44
Gráf. 2. 8 - Correlación entre el consumo de madera aserrada per cápita y el Producto Interior Bruto (PIB) per cápita, de los 52 países con mayor consumo de madera aserrada per cápita, en 2008 (Brasil ocupa el puesto 52).....	45
Gráf. 2. 9 - Correlación entre el consumo de madera aserrada per cápita y la extensión de floresta per cápita de los 52 países con mayor consumo de madera aserrada per cápita, en 2008 (Brasil ocupa el puesto 52).....	49
Gráf. 2. 10 - Porcentaje de viviendas de madera según el nivel de ingresos familiares mensuales .....	50
Gráf. 2. 11 - Porcentaje de viviendas en albañilería según el nivel de ingresos familiares mensuales .....	50
Gráf. 2. 12 - Porcentaje de viviendas de madera según ingresos familiares mensuales y regiones de Brasil .....	51
Gráf. 2. 13 - Porcentaje de viviendas en albañilería según el nivel de ingresos familiares mensuales y regiones de Brasil .....	52
Gráf. 2. 14 - Evolución de los precios de los productos de madera .....	53
Gráf. 2. 15 - Evolución del precio de los productos de construcción.....	53
Gráf. 3. 1 - Conceptos relacionados a construcción de madera.....	78
Gráf. 3. 2 - Elección de los materiales de la estructura del domicilio actual.....	78
Gráf. 3. 3 - Elección de los materiales de las paredes externas del domicilio actual .....	78
Gráf. 3. 4 - Elección hipotética del material para la estructura de la vivienda.....	79
Gráf. 3. 5 - Elección real del material para la estructura de la vivienda.....	79
Gráf. 3. 6 - Elección hipotética del material para las paredes externas de la vivienda.....	80
Gráf. 3. 7 - Elección real del material para las paredes externas de la vivienda .....	80

Gráf. 3. 8 - Opinión sobre parámetros relacionados con la madera como material para la construcción de viviendas (respuesta de los grupos A, B y C).....	82
Gráf. 3. 9 - Ventajas asociadas a la construcción de madera por parte de una muestra representativa de consumidores en Alemania .....	83
Gráf. 3. 10 - Opiniones de ingenieros estructurales y arquitectos sobre la estructura de madera para edificios de varias plantas en Suecia .....	83
Gráf. 3. 11 - Lugares preferidos para utilizar madera en una vivienda (respuesta de los grupos B, C y D) .....	84
Gráf. 3. 12 - Posibilidad de vivir en una vivienda de madera (respuesta de los grupos A, B y C) .....	86
Gráf. 3. 13 - Declaración de preferencia por una técnica de construcción para su vivienda (respuesta de los grupos A y B) .....	86
Gráf. 3. 14 - Motivos declarados para la preferencia por una técnica de construcción para su vivienda (respuesta de los grupos A y B).....	86
Gráf. 3. 15 - Grado de aceptabilidad de técnicas constructivas por parte de posibles compradores de vivienda en Reino Unido.....	87
Gráf. 3. 16 - Motivos que influyen en la aceptación de técnicas constructivas por parte de posibles compradores de vivienda en Reino Unido.....	87
Gráf. 3. 17 - Elección entre técnicas de construcción para casa.....	88
Gráf. 3. 18 - Motivos para la elección entre técnicas de construcción para casa .....	89
Gráf. 3. 19 - Elección entre técnicas de construcción en edificios verticales.....	90
Gráf. 3. 20 - Motivos para elegir entre técnicas de construcción en edificios verticales .....	90
Gráf. 3. 21 - Motivos para no elegir el edificio Z (sistema en madera laminada cruzada) .....	90
Gráf. 3. 22 - Grado de importancia de algunos parámetros (predefinidos) en el proceso de compra de un inmueble.....	92
Gráf. 3. 23 - Lista espontánea de factores de importancia en el proceso de compra de un inmueble .....	93
Gráf. 3. 24 - Decisión de compra o construcción de un inmueble .....	94
Gráf. 3. 25 - Grado de influencia de algunos actores durante el proceso de compra de un inmueble.....	94
Gráf. 3. 26 - Medios de comunicación más utilizados durante el proceso de compra de un inmueble.....	94
Gráf. 3. 27 - Posibilidad de asegurar una vivienda de madera (resultado de la simulación del estudio) .	104
Gráf. 3. 28 - Temas de interés de los profesionales que cursan posgrado en sistemas estructurales .....	109
Gráf. 4. 1 - Comparación de productividad de plantaciones de especies arbóreas entre Brasil y países seleccionados.....	124
Gráf. 4. 2 - Mayores productores de productos de madera tropical .....	125
Gráf. 4. 3 - Destinos de la producción de madera certificada brasileña .....	126
Gráf. 4. 4 - Tipo de ocupación del territorio de la Amazonia Legal .....	128
Gráf. 4. 5 - Caracterización del tamaño de las propiedades productoras de madera en la Amazonia Legal .....	129

Gráf. 4. 6 - Caracterización de la industria maderera en la Amazonia Legal.....	130
Gráf. 4. 7 - Tipos de vías usadas para el transporte de troncos de madera nativa.....	130
Gráf. 4. 8 - Tipos de productos manufacturados en la Amazonia Legal.....	131
Gráf. 4. 9 - Destino de los residuos de producción de la Amazonia Legal.....	131
Gráf. 4. 10 - Distribución de la superficie de plantío forestal.....	135
Gráf. 4. 11 - Distribución de las superficies de plantío de eucalipto y pino por segmento industrial.....	136
Gráf. 4. 12 - Consumo de madera plantada en tronco por segmento y género.....	139
Gráf. 4. 13 - Distribución proporcional entre el consumo interno y externo de productos de forestas plantadas.....	139
Gráf. 4. 14 - Distribución de la localización de las empresas de casas prefabricadas del muestreo, por estado y gran región.....	143
Gráf. 4. 15 - Distribución de la población brasileña, por gran región.....	143
Gráf. 4. 16 - Distribución de las casas de madera, por gran región.....	143
Gráf. 4. 17 - Componentes de caracterización del perfil de las empresas.....	143
Gráf. 4. 18 - Componentes de caracterización de la materia prima utilizada en viviendas prefabricadas de madera.....	145
Gráf. 4. 19 - Distribución del tipo de sistema constructivo ofertado por las empresas de viviendas prefabricadas de madera.....	145
Gráf. 4. 20 - Velocidad de construcción.....	153
Gráf. 4. 21 - Consumo de madera de la construcción.....	153
Gráf. 4. 22 - Destino de las ventas de viviendas prefabricadas de madera en el mercado nacional.....	154
Gráf. 4. 23 - Precios por metro cuadrado de viviendas prefabricadas de madera en 2010/2011 (sin contar los servicios previos de preparación del lugar y cimentación).....	155
Gráf. 5. 1 - Representación conceptual del flujo de carbono a lo largo del ciclo de vida de un producto de madera nativa y plantada.....	178
Gráf. 5. 2 – Relación entre el poder calorífico y el contenido de humedad. Las referencias 1, 2 y 3 son respectivamente: [83][77][76].....	183
Gráf. 5. 3 - Emisiones de dióxido de carbono de una tonelada seca de madera aserrada (en la puerta del consumidor).....	195
Gráf. 5. 4 - Distribución porcentual de las emisiones de CO <sub>2</sub> por fase del proceso analizado (basado en los valores medianos).....	197
Gráf. 5. 5 - Energía incorporada en una tonelada seca de madera aserrada (en la puerta del consumidor).....	199
Gráf. 5. 6 - Distribución porcentual de la energía utilizada en cada fase del proceso analizado (basado en los valores medianos).....	200
Gráf. 5. 7 - Resultados nacionales e internacionales de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la madera aserrada (bruta y aplanada).....	204

Gráf. 6. 1 - Caracterización de las viviendas brasileñas.....	223
Gráf. 6. 2 - Emisión media de los cementos brasileños según los contenidos de clinker permitidos por normalización. En gris se representa el rango de emisión medio estimado para tres grandes empresas cementeras en Brasil.....	230
Gráf. 6. 3 - Emisiones de CO <sub>2</sub> por metro cuadrado de pared.....	248
Gráf. 6. 4 - Reparto porcentual de las emisiones de CO <sub>2</sub> entre los materiales que componen un metro cuadrado de pared de albañilería.....	249
Gráf. 6. 5 - Energía incorporada por metro cuadrado de pared.....	250
Gráf. 6. 6 - Reparto porcentual de la energía incorporada en los materiales que componen un metro cuadrado de pared de albañilería.....	250
Gráf. 6. 7 - Emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de pared para ladrillos cerámicos y bloques de hormigón.....	251
Gráf. 6. 8 - Metro cuadrado de pared por metro cuadrado de superficie útil de la muestra de viviendas de albañilería y madera.....	253
Gráf. 6. 9 - Tendencia de variación entre los metros cuadrados de pared por metro cuadrado de superficie útil según el espesor de la pared (estudio conceptual sin considerar el <i>layout</i> ).....	253
Gráf. 6. 10 - Porcentaje de distribución entre la superficie de paredes de albañilería y la superficie de paredes de madera en las viviendas de madera.....	254
Gráf. 6. 11 - Emisiones de CO <sub>2</sub> por metro cuadrado de superficie útil.....	254
Gráf. 6. 12 - Energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil.....	255
Gráf. 6. 13 - Distribución porcentual de las emisiones de CO <sub>2</sub> según el tipo de pared de la vivienda de madera.....	256
Gráf. 6. 14 - Distribución porcentual de la energía incorporada según el tipo de pared de la vivienda de madera.....	256
Gráf. 6. 15 - Emisiones de dióxido de carbono por metro cuadrado de superficie útil por año según la vida útil de la vivienda.....	258
Gráf. 6. 16 - Energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil y año según la vida útil de la vivienda.....	259
Gráf. 6. 17 - Variación en las emisiones de CO <sub>2</sub> totales del sector habitacional brasileño por la construcción anual de nuevas viviendas según el incremento de viviendas de madera plantada en detrimento de las construcciones de albañilería.....	262
Gráf. 6. 18 - Variación en las emisiones de CO <sub>2</sub> totales del sector habitacional brasileño por la construcción anual de nuevas viviendas según el incremento de viviendas de madera nativa en detrimento de las construcciones de albañilería.....	262
Gráf. 6. 19 - Variación en la energía incorporada total del sector habitacional brasileño por la construcción anual de nuevas viviendas según el incremento de viviendas de madera plantada en detrimento de las construcciones de albañilería.....	263

Gráf. 6. 20 - Variación en la energía incorporada total del sector habitacional brasileño por la construcción anual de nuevas viviendas según el incremento de viviendas de madera nativa en detrimento de las construcciones de albañilería .....	264
--	-----



## Lista de tablas

Tab. 1. 1 - Algunos de los principales eventos relacionados a cuestiones medio ambientales entre 1972 y 2012.....	2
Tab. 2. 1 - Índice del Clima de Scheffer de algunos de los principales países importadores [12][76] de la madera de Brasil (2010/2011) .....	46
Tab. 2. 2 - Presencia de humedad en partes de la vivienda, por tipo de material predominante en las paredes. Datos de 2009 del IBGE, para Brasil. ....	48
Tab. 3. 1 - Tabla de comparación del perfil de los respondientes de las muestras.....	74
Tab. 4. 1 - Importes de producción legal de la silvicultura y extracción vegetal en 2011 .....	125
Tab. 4. 2 - Destino de usos relacionados con la construcción civil de especies de madera plantada* .....	136
Tab. 5. 1 – Tabla de caracterización de las empresas participantes del estudio.....	180
Tab. 5. 2 – Tipo de cuestionario proporcionado a cada empresa (la “x” significa que fue respondido)..	180
Tab. 5. 3 – Factores de conversión para energía y emisiones de CO <sub>2</sub> .....	182
Tab. 5. 4 – Densidades medianas adoptadas para las maderas estudiadas .....	185
Tab. 5. 5 – Consumo de combustibles adoptados para equipamientos forestales. ....	185
Tab. 5. 6 - Consumo de combustible y distancia recorrida en la fase de extracción de la madera (PE+E) .....	188
Tab. 5. 7 - Consumo de combustible y distancia recorrida en el transporte 1 (desde la foresta hasta el procesamiento 1) (T1). ....	188
Tab. 5. 8 - Consumo de combustibles en el procesamiento 1 (PC1).....	188
Tab. 5. 9 - Consumo combustible y distancia recorrida en el transporte 2 (desde el procesamiento 1 hasta el consumidor) (T2).....	189
Tab. 5. 10 - Consumo de combustible y distancia recorrida en el transporte entre unidades de procesamiento (TEPC) .....	189
Tab. 5. 11 - Consumo de combustible en el procesamiento 2 (PC2) .....	189
Tab. 5. 12 - Producción de residuos en el proceso, desde la etapa previa a la extracción hasta el procesamiento (1 y 2).....	190
Tab. 5. 13 – Resultados regularizados de emisión de CO <sub>2</sub> y energía incorporada de productos de madera en la puerta de la industria.....	202
Tab. 5. 14 – Reservas previas a la extracción y total extraído (extracción seguida de abandono y ciclos de extracción de cuarenta años) (tabla adaptada, datos de la referencia [19]) .....	210
Tab. 6. 1 - Masas consideradas para piezas que componen paredes de albañilería.....	227
Tab. 6. 2 - Consumo estimado de materiales por metro cuadrado de pared.....	228
Tab. 6. 3 - Factores de conversión para energía y emisiones de CO <sub>2</sub> .....	229
Tab. 6. 4 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el cemento	231

Tab. 6. 5 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para la cal hidratada .....	233
Tab. 6. 6 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el yeso .....	234
Tab. 6. 7 - Cuadro síntesis de los métodos de extracción/producción de agregados.....	235
Tab. 6. 8 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para los agregados .....	236
Tab. 6. 9 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el acero .....	238
Tab. 6. 10 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el hormigón .....	239
Tab. 6. 11 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el mortero .....	240
Tab. 6. 12 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el bloque de hormigón .....	241
Tab. 6. 13 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para la cerámica .....	243
Tab. 6. 14 - Rango de variación de emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para madera aserrada y acabada.....	244
Tab. 6. 15 - Unidades habitacionales construidas anualmente considerando la vida útil de la vivienda y la variación del parque de viviendas desde 1970 .....	246
Tab. 6. 16 - Emisiones de CO <sub>2</sub> por metro cuadrado de pared (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> pared).....	249
Tab. 6. 17 - Energía incorporada por metro cuadrado de pared (MJ/m <sup>2</sup> pared).....	250
Tab. 6. 18 - Emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de pared para ladrillos cerámicos y bloques de hormigón .....	251
Tab. 6. 19 - Emisiones de CO <sub>2</sub> por metro cuadrado de superficie útil (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> superficie útil). .....	255
Tab. 6. 20 - Energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil (MJ/m <sup>2</sup> superficie útil).....	255
Tab. 6. 21 - Cantidad estimada de viviendas construidas al año .....	259
Tab. 6. 22 - Emisiones de CO <sub>2</sub> y energía incorporada estimadas para el sector habitacional brasileño resultante de la construcción anual de viviendas nuevas.....	260

## Lista de abreviaturas

ABCP	Asociación Brasileña de Cemento Portland
ABEP	Asociación Brasileña de Estudios Operacionales
ABNT	Asociación Brasileña de Normas Técnicas
ABRAF	Asociación Brasileña de Productores de Forestas Plantadas
ACV	Análisis del Ciclo de Vida
ACVS	Análisis del Ciclo de Vida Simplificado
AICV	Análisis del Impacto del Ciclo de Vida
BCB	Banco Central de Brasil
BDMEP	Banco de Datos Meteorológicos para la Enseñanza y la Investigación
BME	Banco Multidimensional de Estadísticas
BNDES	Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social
BNH	Banco Nacional de Vivienda
CBCS	Consejo Brasileño de Construcción Sostenible
CCA	Cobre, Cromo y Arsénico
CCB	Cobre, Cromo y Boro
CCEB	Criterio de Clasificación Económica Brasil
CDHU	Compañía de Desarrollo Habitacional y Urbano
CEF	Caixa Econômica Federal
Cerflor	Programa Brasileño de Certificación Forestal
CETESB	Compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental
CLT	<i>Cross laminated timber</i> - Madera laminada cruzada
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COHAB	Compañía Metropolitana de Vivienda
CONAMA	Consejo Nacional del Medio Ambiente
CUB	Coste Unitario Básico
Degrad	Mapeo de la Degradación Forestal en la Amazonia Brasileña
Deter	Sistema de Detección de Deforestación en Tiempo Real
DOF	Documento de Origen Forestal
EIR	Explotación de Madera de Impacto Reducido
EPAHC	Equipo del Patrimonio Histórico y Cultural
Esalq	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz de la Universidade de São Paulo
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FNDF	Fondo Nacional para el Desarrollo Forestal
FSC	Forest Stewardship Council
GEI	Gases de efecto invernadero
GHG	Green House Gases Protocol
Protocol	
GLP	Gas licuado de petróleo
IBAMA	Instituto Brasileño del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables
IBGE	Instituto Brasileño de Geografía y Estadística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservación de Biodiversidad
ICV	Análisis del Inventario del Ciclo de Vida
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IFDM	Índice Firjan de Desarrollo Municipal
IGP	Índice General de Precios

IMAZON	Instituto Independiente de Investigación en la Amazonia
INCRA	Instituto Nacional de Colonización y Reforma Agraria
INMET	Instituto Nacional de Meteorología
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change - Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
IPEF	Institutos de Investigaciones y Estudios Forestales
IPHAN	Instituto del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional
IPT	Instituto de Investigaciones Tecnológicas
ISO	International Organization for Standardization - Organización Internacional de Normalización
LVL	Laminated Vanner Lumber
MCMV	Minha Casa Minha Vida
MCT	Ministerio de la Ciencia y Tecnología
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i> - Tablero de Fibra de Densidad Media
MDIC	Ministerio del Desarrollo, Industria y Comercio Exterior
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i> - Tablero de Partículas de Densidad Media
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
MME	Ministerio de Minas y Energía
NBR	Norma Brasileña
ONG	Organizaciones no gubernamentales
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OSB	<i>Oriented Strand Board</i> - Tablero de Virutas Orientadas
PAC	Programa de Aceleración del Crecimiento
PBACV	Programa Brasileño de Análisis del Ciclo de Vida
PBQP-H	Programa Brasileño de Calidad y Productividad del Hábitat
PEFC	Program for the Endorsement of Forest Certification Schemes
PIB	Producto Interior Bruto
PNAD	Encuesta Nacional por Muestra de Viviendas
PNCC	Plan Nacional sobre el Cambio Climático
PPCDAM	Plan de Acción para la Prevención y el Control de la Deforestación en la Amazonia Legal
PPCerrado	Plan de Acción para la Prevención y el Control de la Deforestación e Incendios en el Cerrado
PRODES	Proyecto de Monitoreo de la Selva Amazónica por Satélite
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimiento de la Agricultura Familiar
Senai	Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial
SFB	Servicio Forestal Brasileño
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperación Automática
SINAT	Sistema Nacional de Evaluaciones Técnicas
Sinduscon	Sindicato de la Construcción
Sisflora	Sistema de Comercio y Transporte de Productos Forestales
SNIC	Sindicato Nacional de la Industria de Cemento
TCPO	Tabla de Composición de Precios para Presupuestos
UFMG	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFRA	Universidade Federal Rural da Amazônia
UPA	Unidad de Protección Anual
USD	Dólar de los Estados Unidos de América
WBCSD	Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible

## Agradecimientos

A mis tutores don José María González Barroso, por haber creído en este proyecto y haber aceptado las dificultades de la distancia, así como por despertar en mí el interés por mi país; y a don Vanderley Moacyr John, por haberme recibido y haber invertido en mi formación científica, gracias por vuestra dedicación, paciencia y consejos.

Agradezco al programa Erasmus Mundus – EBWII, por el soporte financiero y la oportunidad dada que posibilitó el desarrollo la tesis en doble titulación. A la CAPES, por el soporte financiero.

A todas las empresas del sector maderero y sus representantes, que aceptaron participar de la investigación y me transmitieron datos muy valiosos sobre sus actividades.

A las constructoras, empresas de casas prefabricadas y sus representantes, profesionales arquitectos e ingenieros, que aceptaron ser entrevistados y me proporcionaron unas informaciones inestimables.

A las personas en general que respondieron los cuestionarios, en especial, a los funcionarios subcontratados de la limpieza y seguridad de la Universidade de São Paulo (estado de São Paulo) y a las personas del Assentamento Santa Mônica (estado del Mato Grosso).

A la Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andrea Naguissa, al Prof. Dr. Edson Vidal, Prof. Dr. Sergio Almeida Pacca, Prof. Dr. João Olegário Pereira de Carvalho, Evaristo Francisco de Moura Terezo, ingeniero Helio Olga Jr., arquitecto Marcos Acayaba y otros entrevistados por el conocimiento transmitido, su experiencia y las opiniones vertidas.

A Rosilene Possamai, arquitecta del ayuntamiento de Porto Alegre, Jefferson Mariano, Wagner Silveira y Cimar Azeredo del IBGE – Instituto Brasileño de Geografía y Estadística, por las informaciones y esclarecimientos proporcionados.

A Julia Ahvenainen y Duncan Mayes, de la empresa Stora Enso, por la asociación.

A Rogerio Santovito, Humberto Perisse, por el apoyo metodológico.

A Engracia M. Bartuciotti, Wandrea Dantas, Eliany Funari, Eliana A. Teodoro, Deisemara N. S. Di Tota, Glaucia M. Terzian, Teresa Sacelda, Berenice Martin, Ana Reis, por el apoyo en las cuestiones administrativas. También a Paulo, Rogério Toledo y Patrícia Freitas.

A mis amigas Ana Paula Werle, Lidiane Santana Oliveira, Vanessa H. Oliveira, Eliane B. C. Costa, Maria Carolina Diaz, por el amor, el cariño y la comprensión que me animaron

durante este camino, a mis amigos Juliana Garcia, Alan y Plinio Estrada Cáceres y Felipe Jaime, que me ayudaron con el español, a Érica Ferraz de Campos, por compartir conocimientos y momentos, a Camila Numazawa, por el soporte y la amistad, así como a otros tantos que estuvieron presentes de alguna manera dándome ánimo.

A mis queridos hermanos Raquel y Alexandre, por el amor mayor y preocupación. Mis sobrinos Bruna, Alexandre, Fernanda, por la alegría que me traen y, en especial, a Giovanna, por su participación e interés. A mis suegros, Nelson y Marcia, y cuñados, Max, Durva, Tati y Gregui, por su total apoyo.

A mis amados padres, Olivio y Conceição, por incentivar-me, apoyarme, esperar y participar. No hay palabras suficientes para agradecer todo lo que han hecho por mí. Os amo profundamente.

A mi amado marido Lucas por la total comprensión, colaboración, soporte, amor, cariño y paciencia que ha demostrado en esta fase de nuestras vidas. Gracias de todo corazón por haber abrazado este sueño conmigo.

A San Judas Tadeu y la Virgen María y, en especial, a Dios, que me llevó hasta donde mis sueños no lograron llegar.

## Resumen

El presente trabajo busca analizar si el aumento del uso de la madera para la construcción de viviendas puede mitigar las emisiones de dióxido de carbono y disminuir la energía incorporada del sector de la construcción civil en Brasil. El énfasis está en la esfera ambiental, aunque también considera los ámbitos social y económico, que pueden influir en la concepción y eficacia de políticas públicas. Se ha estudiado el ámbito histórico para comprender el desarrollo del parque de viviendas de madera en los últimos cuarenta años y los posibles factores que pueden haber influido en su disminución porcentual dentro del parque total de vivienda brasileño. Se ha explorado el ámbito social para conocer la opinión pública sobre el uso de la madera para la construcción de viviendas, así como los puntos débiles y fuertes del material en el concepto general de la sociedad. En el dominio económico se ha intentado caracterizar el sector maderero y de suministro de viviendas prefabricadas de madera, con la pretensión de apuntar las potencialidades y obstáculos para el desarrollo del mercado. La parte ambiental ha buscado estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada de los productos de madera destinados a la construcción, con el fin proporcionar datos para discutir los impactos que tendría un aumento del uso de este material en la construcción civil brasileña. Se concluyó, dentro de los límites de este trabajo, que la madera plantada podría ser implementada como estrategia para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector de la construcción civil en Brasil, pues se considera neutra en carbono, mientras que la madera nativa, al considerarse fuente de carbono, no debería utilizarse con este objetivo. La disminución de la energía incorporada del sector, según los estándares constructivos actuales, depende más de cambios en los procesos relacionados con los materiales que componen la albañilería que de la madera. No obstante, la implementación del uso de la madera enfrenta algunos desafíos, como la aceptación del público en general, cuyas preocupaciones sobre la madera se centran en la durabilidad, el mantenimiento y la seguridad. Además, se ha encontrado una fuerte correlación entre la disminución de las casas de madera con el aumento del Producto Interior Bruto, lo que puede sugerir que el uso del material para viviendas tiene relación con el poder adquisitivo de la población. El precio de los materiales también puede haber influido en esta disminución. La expansión del uso de la madera dependerá, además de incentivos financieros y convencimiento de la sociedad, de la cualificación de mano de obra especializada, el desarrollo tecnológico, la desburocratización, la mejora de las infraestructuras para el transporte de productos y las políticas públicas.

**Palabras clave:** madera, construcción, emisión, energía, viviendas.

## Abstract

This study aims to analyze whether the increased use of wood for housing construction can mitigate carbon dioxide emissions and reduce embodied energy in the civil construction sector in Brazil. The emphasis is on environmental issues, but considers the social and economic fields that may influence the design and effectiveness of public policy. The historical scope was studied to understand wooden housing stock development over the last 40 years as well as the possible factors that may have influenced its percentage decrease in total Brazilian housing stock. The social aspect was explored to learn the public opinion on the use of wood for housing construction, and the strengths and weaknesses of the material in the general society concept. In the economic domain the aim was to characterize the timber sector and supply of prefabricated wooden houses, focusing on potential and obstacles to market development. The environmental part aimed to estimate CO<sub>2</sub> emissions and embodied energy of wood products for the construction, to subsidize data for discussion on the impacts of increasing wood in the Brazilian construction. It was concluded, within the limits of this work, that the planted wood use could be implemented as a strategy for reduction of CO<sub>2</sub> emissions in the civil construction sector in Brazil, because it is considered carbon neutral; on the other hand, native wood, being considered a carbon source, should not be used for this purpose. The decrease in the embodied energy of the sector, according to the business as usual, depends more on changes in the processes related to the masonry materials than wood. However, the implementation of the use of wood has some challenges, like the acceptance of the general public, whose concerns include the durability, maintenance and security of the wood. In addition, a strong correlation was found between the wooden houses decrease with GDP increase which may suggest that use of wood for housing is related to the population purchasing power. The price of materials may also have influenced this decline. The expansion of wood use depends, in addition to financial incentives and societal convincing, skilled labor qualification, technological development, reduction of bureaucracy, improvement in infrastructure for the flow of production, and public policies.

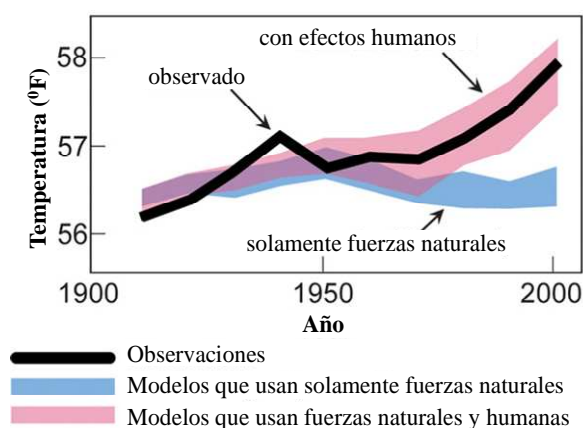
**Key words:** wood, construction, emission, energy, housing.



# 1 Introducción y justificación

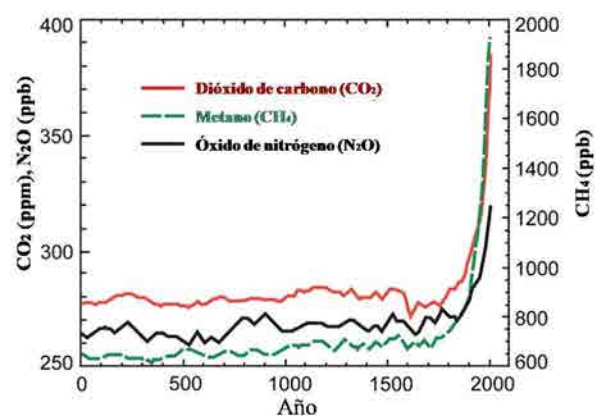
## 1.1.1 Cambio climático

Investigaciones científicas han demostrado que el clima en el planeta ha cambiado. Aunque el sistema climático varíe de forma natural a lo largo del tiempo debido a causas naturales, como cambios en la energía solar o erupción de volcanes, tras la Revolución Industrial (~1750), no es posible explicar las modificaciones en el clima solo por efectos naturales [1]. Es muy probable (95%) que los humanos hayan ejercido una influencia considerable sobre el calentamiento climático [2], gran parte debido a las actividades humanas [3][1] que, en los últimos siglos, han aumentado la concentración de gases de efecto invernadero (GEI)<sup>1</sup> (Fig. 1. 1, Fig. 1. 2) y han modificado la superficie de la tierra [3].



**Fig. 1.1 - Resultados de modelos sobre el calentamiento en el último siglo considerando las fuerzas de la naturaleza y humanas**

Fuente de la ilustración: [4] apud [1]



**Fig. 1.2 - Aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero en los últimos dos mil años**

Fuente de la ilustración: [4] apud [1]

Cambios en el uso del suelo, como la transformación de zonas de foresta para ganadería o monocultivo, por ejemplo, reducen el carbono almacenado en la vegetación, convirtiéndolo en emisión, además de cambiar la reflectividad de la superficie, las tasas de evapotranspiración y las emisiones de onda larga [3]. Estas modificaciones afectan el balance de energía de la Tierra<sup>2</sup> y aumentan la temperatura media, lo que genera un desequilibrio ecológico, que a su vez afecta al propio ser humano.

<sup>1</sup> Algunos gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ozónido (O<sub>3</sub>), vapor de agua (H<sub>2</sub>O) [3].

<sup>2</sup> “Cuando la luz solar llega a la superficie de la Tierra, o bien puede ser reflejada de nuevo al espacio o ser absorbida por la Tierra. Una vez absorbida, el planeta libera parte de la energía a la atmósfera en forma de calor (también llamada radiación infrarroja). Gases de efecto invernadero (GEI), como el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>) absorben la energía, retrasando o previniendo la pérdida de calor hacia el espacio” [1]. Cuando la concentración de GEI aumenta en la atmósfera, la Tierra se calienta más de lo que debería y se produce el llamado "efecto invernadero" [1].

Además, el crecimiento poblacional, el aumento de la expectativa de vida, así como la modificación de los modelos de consumo, han motivado un mayor consumo de recursos naturales. En la actualidad, se extrae y consume cerca del 50% más de recursos naturales que hace treinta años [5].

El debate sobre el medio ambiente no es reciente, comenzó hace décadas. En 1962, la publicación *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), marcó el debate medioambiental [6], disertaba sobre el uso de pesticidas y sus consecuencias para el medio ambiente y los seres vivos. En la década de 1970, la crisis del petróleo llamaba la atención sobre la limitación de los recursos naturales y el suministro energético. En 1972, el libro *The Limits to Growth*<sup>3</sup> (Los Límites del Crecimiento) ya discutía las consecuencias del aumento poblacional y económico frente a los recursos finitos. En 1972, se celebró la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, en Estocolmo y, en 1987, el Informe de Brundtland (*Our Common Future*) definía el desarrollo sostenible como “el desarrollo que satisface las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” [6][8].

Durante los últimos cuarenta años, el tema del medio ambiente ha sido ampliamente discutido y ha habido varias iniciativas a escala global. Entre ellas destacan las siguientes (Tab. 1. 1):

**Tab. 1. 1 - Algunos de los principales eventos relacionados a cuestiones medio ambientales entre 1972 y 2012**

Año	Evento
1972	Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano (Estocolmo)
1972	Creación de la UNEP – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
1985	Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (Viena)
1987	Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono (Montreal)
1988	Creación del IPCC - Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
1992	Eco-92, documento resultante fue la Agenda 21 <sup>4</sup> (Rio de Janeiro)
1996	Habitat II - Segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Asentamientos Humanos (Estambul), documento resultante fue Agenda Habitat <sup>5</sup>
1997	Protocolo de Kioto <sup>6</sup>
2012	Río + 20, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible

Fuentes de referencias: [6][12][8][13][10].

<sup>3</sup> Encargado por el Club de Roma, desarrollado por Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Randers y su equipo, quienes trabajaron en el análisis de sistemas en el instituto de Jay W. Forrester en el MIT [7]. Los autores desarrollaron un modelo de simulación computacional que evaluó algunos parámetros en el marco de algunos escenarios. La mayoría de estos resultaron en un crecimiento continuo de la población y de la economía, cuyo punto de inflexión se sitúa alrededor del año 2030 [7].

<sup>4</sup> El proceso preparatorio tardó dos años y contó con la participación de ciento setenta y nueve países. El trabajo generó un documento consensuado de acción en escala planetaria, que tenía el objetivo de promover un nuevo sistema de desarrollo, basado en la protección ambiental, la eficiencia económica y la justicia social [9].

<sup>5</sup> Documento que trata del desarrollo sostenible de los asentamientos humanos [10].

<sup>6</sup> Acuerdo firmado entre países para estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero y frenar el calentamiento global [11].

Algunos de estos encuentros internacionales tuvieron como resultado planes de acción y tratados. En 1997, algunos países desarrollados de Europa se comprometieron a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero hasta 2020 en cerca del 5% (respecto a los índices de 1990), por medio del Tratado de Kioto. Como no se alcanzó la meta, se firmó un nuevo acuerdo<sup>7</sup> que estipulaba una disminución del 18% (respecto a los índices de 1990) en las emisiones entre 2013 y 2020 [14]. A su vez, Brasil, durante la COP 15 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambios Climáticos, celebrada en Copenhague), se comprometió voluntariamente a reducir sus emisiones entre el 36% y el 39% hasta 2020 [15][16]; donde grande parte de la disminución debe darse mediante la reducción de la deforestación [15].

Para Silva (2003), la Agenda Habitat II y la CIB<sup>8</sup> Agenda 21 para Construcciones Sostenibles fueron las dos interpretaciones de la Agenda 21 más relevantes para el sector de la construcción civil pues, segundo la autora, contempla, entre otras cosas, medidas para la reducción de impactos mediante cambios en la forma de proyección, construcción y gestión de los edificios a lo largo de su ciclo de vida [17]. Con posterioridad, la Agenda 21 para Construcciones Sostenibles en Países en Desarrollo identificó y orientó acciones para países no desarrollados [18], así como definió la construcción sostenible como “un proceso integral con el objetivo de restaurar y mantener la armonía entre los entornos naturales y construidos, y crear asentamientos que afirmen la dignidad humana y promuevan la equidad económica” [19]. Se nota que se considera la trípole de la sostenibilidad los ámbitos social, económico y ambiental.

### 1.1.2 Sector de la construcción y cambios climáticos

El sector de la construcción tiene una función significativa en el apoyo de los objetivos mundiales para el desarrollo sostenible [20], principalmente en lo que se refiere a la disminución de los impactos ambientales. A escala global, consume cerca del 40% de los recursos naturales, el 25% del agua [21], cerca del 40% de la energía [22], además de emitir entre el 10%<sup>9</sup> y el 30% de los gases de efecto invernadero [23][24][22]. En Brasil, el sector de manufactura y construcción es responsable de aproximadamente el 27%<sup>10</sup> y el 29%<sup>11</sup> de las emisiones de GEI

---

<sup>7</sup> En Doha, Qatar, en 2012, se adoptó la “Enmienda de Doha para el Protocolo de Kioto” que incluye nuevos compromisos de Partes del Anexo I del Protocolo de Kioto en un el segundo período (del 1 de enero de 2013 al 31 de diciembre de 2020).

<sup>8</sup> CIB - *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*.

<sup>9</sup> Promedio estimado según datos de veintisiete países de Europa con relación al CO<sub>2</sub> equivalente del sector de la industria manufacturera y construcción con relación a las emisiones totales en 2009 [23].

<sup>10</sup> Estimado según las emisiones por subsector del sector energético de 2009 [25].

<sup>11</sup> Estimado según las emisiones de la quema de combustibles por sector y datos de 2010 [26].

por el uso energético [25][26]. Considerando las emisiones totales del país, el cambio de uso de suelo y la deforestación son responsables del 47% al 55%<sup>12</sup> de los GEI (2009/10) [25][27].

En Europa, cerca del 31% de los recursos naturales se utilizan en el sector de la vivienda y las infraestructuras [5]. La eficiencia en el uso de los recursos diverge mucho según la región del planeta, así mientras que Norte América, por ejemplo, extrae y consume cerca de 1 kg por dólar americano generado, África y Latino América consumen cerca de 6 y 3 kg/US (media), respectivamente [5]. El sector de la construcción genera grandes impactos por el uso intensivo de materiales no renovables, energía y suelo [28]. Aunque en la actualidad se utilice cerca del 30% menos recursos para producir un dólar o euro del PIB (Producto Interior Bruto) que hace treinta años [5], esto no significa que las actividades productivas hayan alcanzado el estado ideal de desempeño. Los procesos de manufactura de materiales, así como la construcción y demolición, siguen produciendo enormes cantidades de residuos.

En el mundo la producción de residuos de construcción puede variar entre aproximadamente 130 y 3700 kg/hab.año [29] (en Brasil, la media es de 500 kg/hab.año [28]); o cerca de 100 kg/m<sup>2</sup> (en Brasil, cerca de 300kg/m<sup>2</sup> [30]). Alrededor del 50% de los residuos sólidos urbanos son desechos de construcción y demolición [31][32] apud [33] (en Brasil, se dan valores entre el 50% y el 70%<sup>13</sup>[34]). Así, puede observarse que se desperdician gran parte de recursos naturales finitos sin ninguna aplicación útil a corto o largo plazo.

Además de la cantidad de restos, su destino también es otro factor que genera impactos ambientales. No es raro que en Brasil se encuentren residuos de construcción depositados ilegalmente en lugares públicos o en vertederos privados, lo que genera problemas ambientales de contaminación ambiental [33][28] y posible contaminación por productos químicos, entre otros. El reciclaje o reutilización podrían ser alternativas que ayudarían a disminuir la presión sobre recursos naturales, pero dependen de tecnología y un equilibrio coste-beneficio.

La falta de desempeño en los procesos de manufactura de materiales y construcción de edificios hacen que se consuma una considerable energía sin ninguna utilidad, lo que provoca una mayor emisión de GEI por cantidad de producto. Según la UNEP (2009), en el sector de la construcción, entre el 10% y el 20% de la energía se consume en las fases de producción de

---

<sup>12</sup> Conforme la Segunda Comunicación Nacional de Brasil a la Convención – Cuadro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en 2005, el sector de Cambio de Uso de la Tierra y Forestas era responsable del 77% de las emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> del país [16].

<sup>13</sup> Datos observados en las ciudades de São Paulo, Guarulhos, Diadema, Campinas, Piracicaba, São José dos Campos, Ribeirão Preto, Jundiaí, São José do Rio Preto y Santo André; entre 1995 y 2003 [34].

material, transporte, construcción, mantenimiento y demolición, mientras que cerca del 80% se consume en la fase de uso del edificio [22].

Durante el uso del edificio, gran parte del desempeño energético dependerá del comportamiento del consumidor, de cómo utiliza los recursos energéticos disponibles y las tecnologías empleadas en la edificación. Según Tavares (2006) entre el 64% y el 72% del consumo de energía se da en la fase operacional<sup>14</sup> del edificio, de forma que entre el 20% y el 24% se relaciona al uso de electricidad para el funcionamiento de equipos [35]. Por otra parte, el consumidor no tiene control sobre la energía incorporada a los edificios en las fases anteriores a la construcción, como la extracción y la manufactura de materiales. En este caso, el consumidor solo podrá, cuando sea posible, elegir los materiales que tienen un mejor desempeño.

La disminución del consumo de energía y emisiones en los procesos de extracción y manufactura de los materiales depende de desarrollo tecnológico, inversión económica y políticas públicas. Estos factores deben considerar resultados de investigaciones científicas que orienten acciones adecuadas para cada realidad.

### 1.1.3 Madera en la construcción

Algunos estudios internacionales<sup>15</sup> en el sector de la construcción civil, bajo diferentes enfoques y métodos de análisis, indican, de modo general, que la madera es un recurso con menor intensidad de energía y emisión de carbono que otros materiales como el acero o el hormigón. Un estudio (metaanálisis) estimó que cerca de dos toneladas de carbono dejan de ser emitidas para cada tonelada de madera utilizada en el lugar de otro material de construcción [43]. Según Sathre y Gustavsson (2009), los instrumentos de política que internalizan los costes de las emisiones de carbono deberían favorecer el aumento del uso de productos de madera provenientes de fuentes sostenibles [41].

---

<sup>14</sup> El autor divide el consumo de energía en tres fases: *preoperacional* que engloba la energía consumida en la prospección, fabricación y transporte de insumos, la fabricación y transporte de materiales de construcción, la energía consumida por los equipos en obra, el transporte de trabajadores a la obra, el desperdicio de materiales y su transporte; *operacional*, que se refiere a la energía consumida para la reposición de materiales, equipos electrodomésticos y cocción; y *postoperacional*, relativa a la energía consumida para la demolición, la remoción de residuos y su transporte.

<sup>15</sup> **Algunos** estudios y sus conclusiones: Buchanan y Levine (1999) concluyó que edificios de madera requieren menos energía en el procesamiento y producen menores emisiones de carbono que edificios hechos con otros materiales, como ladrillo, aluminio, acero u hormigón [36]; Borjesson y Gustavsson (2000) concluyó que la energía consumida en la producción de los materiales es mayor en estructuras de hormigón que para las de madera, mientras que las emisiones netas de gases de efecto invernadero para materiales de madera dependen del destino final que se le dé [37]; Gustavsson et. al. (2006) concluyeron que, en Suecia y Finlandia, las construcciones con entramado de madera requieren menos energía y emiten menos CO<sub>2</sub> que construcciones con entramado de hormigón [38]; Gerilla et. al (2007) concluyó que la construcción con madera presenta un menor impacto ambiental que el hormigón armado [39]; Gustavsson y Sathre (2006) concluyeron que el uso de madera (integrado con el aprovechamiento de los residuos para sistemas de energía) en lugar del hormigón sería un medio eficaz de reducir el uso de combustibles fósiles y la emisión neta de CO<sub>2</sub> a la atmósfera [40]; los mismos autores, en 2009, concluyeron que la manufactura de materiales utilizados en una edificación de madera tiene menos consumo primario de energía y emite menos carbono que la manufactura de materiales utilizados en una edificación de hormigón [41]; Ximenes y Grant (2013) concluyó que la optimización del uso de productos de madera en el diseño de casas en Australia puede ahorrar emisiones de gases de efecto invernadero [42].

La madera es un material renovable que absorbe dióxido de carbono de la atmósfera contribuyendo a la reducción de los gases de efecto invernadero [44]. Cuando se usa para fines de largo plazo, puede considerarse reserva de carbono [41][45][46] si proviene de fuentes sostenibles. El contenido de carbono almacenado hasta el final de su ciclo de vida<sup>16</sup> es considerable cuando se compara con otros materiales [36] (media de 490 kg de carbono por tonelada de madera seca [47]). La madera es versátil y existen numerosas especies con distintas cualidades que pueden utilizarse para usos diversos, como combustible, muebles, papel, materiales de construcción, etc. Entre el 50% y el 56% de toda la madera producida globalmente se destina al sector de la construcción [48][49].

Países como Alemania, Reino Unido [50], Canadá (Quebec) [51], Francia [52], Rusia [53] y Japón [54] han incentivado el uso de la madera para la construcción, en fines durables. Si bien, al igual que en otros países, en Brasil, en la construcción civil acaba consumiéndose en aplicaciones de corto ciclo de vida como encofrados para hormigón armado, por ejemplo [55]. La construcción de viviendas de madera, aunque en número de unidades se ha mantenido invariable desde 1970, porcentualmente ha disminuido de forma constante en el parque de viviendas brasileño (desde el 20,2%, en 1970, hasta el 6,8%, en 2011) [56]. Valores muy distintos de países como Japón o Canadá que tiene cerca del 45% y el 80%, respectivamente del parque de viviendas de madera [57].

#### **1.1.4 Suministro de madera en Brasil**

Brasil es uno de los mayores productores y exportadores de madera en el mundo [58][59][60], aun así la demanda interna es baja. El consumo per cápita de madera aserrada y paneles de madera<sup>17</sup> en el país varía entre 0,15 m<sup>3</sup> (en 2008) [57] hasta 0,23 m<sup>3</sup> (en 2009) [61][62], muy por debajo de la media de los países con forestas equivalentes como Estados Unidos y Canadá que consumen, respectivamente, entre 0,43 m<sup>3</sup>/pc [57] hasta 0,45 m<sup>3</sup>/pc [63], por ejemplo (2008) [57]. De esta forma, existe un potencial productivo que puede aprovecharse mejor.

El país tiene la segunda mayor superficie forestal del mundo [64], de la que el 69% tiene potencial para la producción [65]. Su extensión ocupa aproximadamente el 54% del territorio nacional, cerca de 463 millones de hectáreas, de las que el 98,5% son bosques nativos y el 1,5% son foresta plantada (2011) [66]. La madera nativa dura proviene de la región amazónica, que se caracteriza como una foresta tropical húmeda, con un potencial de extracción

---

<sup>16</sup> Al final de su ciclo de vida libera el carbono almacenado en los procesos de quema o degradación.

<sup>17</sup> Los paneles pueden utilizarse como encofrados para hormigón, pero suelen ser más utilizados en la industria de muebles.

entre 18 y 72 m<sup>3</sup>/ha (una media de 35 m<sup>3</sup>/ha) [67]. Debido a la alta densidad de vegetación (entre ~290 y 616 m<sup>3</sup>/ha<sup>18</sup> [68]), la extracción selectiva convencional para la retirada de madera acaba generando grandes daños a la biomasa existente por encima del suelo (entre 0,7 m<sup>3</sup> y 6,25 m<sup>3</sup> de biomasa destruida por metro cúbico de tronco extraído [69][70][71][72][68]), reduciendo el carbono que estaba almacenado en la foresta y convirtiéndolo en emisiones de dióxido de carbono. Si la foresta no se restaura, es decir, no hay una restitución del carbono, la madera nativa se convierte en fuente de carbono.

Por otra parte, las plantaciones, que producen madera exótica blanda (eucalipto y pino), prácticamente no interfieren en el balance final de carbono en la atmósfera, ya que en su fase de crecimiento, por el proceso de fotosíntesis, absorben el carbono que será emitido al final de su ciclo de vida, razón por la que se pueden considerar un recurso neutro en carbono<sup>19</sup>. La productividad de la silvicultura brasileña está entre 40 y 41 m<sup>3</sup>/ha.año, mayor que países tradicionalmente madereros como Finlandia, por ejemplo [76].

### 1.1.5 Demanda de viviendas en Brasil

Para superar el déficit habitacional brasileño y hacer frente a la nueva demanda, se estima que sea necesario construir cerca de 23,5 millones de nuevos hogares entre 2010 y 2022 [77]. El crecimiento anual en el número de viviendas ha sido proyectado para el 2,7% hasta el año 2016 [78]. El gobierno brasileño, en 2009, inició un importante programa habitacional, denominado *Minha Casa Minha Vida* (MCMV), que prevé la construcción de tres millones<sup>20</sup> de viviendas hasta 2014 destinado a la población con menores ingresos [79][80]. Este incremento en la construcción es una importante demanda nacional. No obstante, si no hay cambios en las tecnologías constructivas convencionales pueden generarse impactos ambientales innecesarios, entre los que se incluye la producción de residuos, el consumo energético y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En la actualidad, la técnica constructiva predominante es la albañilería [56], que utiliza principalmente ladrillos cerámicos y mortero y tiene una energía incorporada e índices de emisión de GEI nada despreciables. Además, la ejecución es prácticamente artesanal, lo que genera grandes cantidades de residuos (por ejemplo, el ladrillo presenta unas pérdidas en obra entre el 5% y el 48% [81]). El MCMV, al definir entre los requisitos mínimos de la edificación

---

<sup>18</sup> Biomasa seca estimada según la relación entre el valor de referencia 200 y 425 t/ha y la densidad seca 0,69g/cm<sup>3</sup> (también dada por la referencia) [68].

<sup>19</sup> Algunos estudios indican que la madera, según la fuente de procedencia, es prácticamente neutra en carbono [73][74][75] (este concepto se tratará en el capítulo 5).

<sup>20</sup> El programa pretende suministrar un millón de viviendas en la primera fase y dos millones en la segunda fase, hasta 2014 [79][80].

paredes con acabado de mortero [82] (no apropiados para pared de madera, por ejemplo), de cierta forma orienta la técnica constructiva que ha de aplicarse. Otros sistemas constructivos, diferentes de la albañilería, acaban siendo considerados técnicas constructivas innovadoras que tienen que pasar por trámites más complejos para su aprobación en el programa.

Se advierte que existe demanda potencialmente creciente de los materiales de construcción y, aunque el país tenga capacidad para suministrar madera, su incorporación para fines a largo plazo no se ha producido de forma natural y depende de incentivo y demostración de desempeño. El incentivo para que aumente el uso de la madera en la construcción brasileña como estrategia para disminuir la energía incorporada y las emisiones del sector, todavía no ha sido posible, pues hay pocas informaciones ambientales como estas, tanto para productos de madera como para otros materiales de construcción.

### **1.1.6 Elementos para adoptar una decisión sobre los materiales de construcción**

En Brasil, no existe un banco de datos con informaciones ambientales sobre los materiales de construcción como sucede en Francia (base de datos Inies [83]), España (banco Bedec [84]) o Estados Unidos (*U.S. Life Cycle Inventory Database* [85]) por ejemplo. Existen estudios que buscan estimar las emisiones de GEI y energía incorporada, pero de forma dispersa y con diferentes métodos de análisis. En 2010, el Gobierno brasileño aprobó el PBACV – Programa Brasileño de Análisis del Ciclo de Vida [86], que prevé la construcción de un banco de datos con informaciones de Inventarios de Ciclo de Vida de productos [87]. En 2013-2014, el grupo de materiales del programa discutía la gobernanza y la metodología de trabajo. Se cree que en los próximos años los primeros resultados sean públicos.

Mientras tanto, investigaciones científicas individuales suministran parte de las informaciones. Al comienzo de esta investigación, se encontraron algunos trabajos académicos<sup>21</sup> sobre construcción con madera en Brasil, algunos de ellos tenían un enfoque ambiental, pero solo uno estimaba las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía de productos de madera [104], utilizando datos locales no aplicables al territorio nacional. Otro estudio que también estimó estos factores para la madera aserrada de la Amazonia [68] se desarrolló de forma concomitante y en colaboración con esta tesis.

Para que sea sostenible el aumento del uso de la madera también deben considerarse aspectos económicos y sociales, además de los ambientales. Desde la óptica económica, a pesar

---

<sup>21</sup> Referencia de **algunos** trabajos académicos sobre temas relacionados con la madera en la construcción en Brasil, anteriores a 2009 (fecha en la que se propuso esta tesis): [88][89][90][91][92][93][94][95][96][97][98][99][100][101][102][103].



de que la producción de madera representa cerca del 3,5% del Producto Interior Bruto nacional (2007) [65], la cadena es heterogénea y se depara con problemas. Tan solo entre el 3% y el 4% de toda la madera producida es certificada [105][106].

En la cadena de suministro de madera nativa tropical dura proveniente de la región amazónica hay un alto índice de ilegalidad (entre el 33% y el 80%) [62][107][108][109], además genera grandes daños a la foresta. La fiscalización es insuficiente y hay problemas de logística [105]. Las dificultades en la infraestructura para el flujo de la producción también se sienten en la cadena de suministro de madera plantada [76], aunque sea vertical y organizada, exige una disminución impositiva y burocrática [76]. La madera suministrada exótica blanda es más susceptible al biodeterioro en la mayor parte del territorio nacional (caliente y húmedo), por lo que son necesarios tratamientos específicos para aumentar su durabilidad. Así, antes de implementar acciones para aumentar el uso de la madera es necesario identificar los problemas en la cadena y preparar el sector.

Por otro lado, desde una perspectiva social, el aumento del consumo del material también depende de la aceptación del público consumidor, que en Brasil se ha decantado mayoritariamente por la albañilería para la construcción de sus viviendas. La falta de capacitación de profesionales para el proyecto y construcción con madera acaba agotando este mercado. De esta forma, el predominio de materiales con mayor energía incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub> condiciona el sector de la construcción a mantener sus índices mayores de lo que podrían ser si se adoptaran otras estrategias relativas al uso de los materiales.

## **1.2 Hipótesis**

El aumento del uso de la madera para la construcción de viviendas puede colaborar para mitigar las emisiones de dióxido de carbono y disminuir la energía incorporada del sector de la construcción civil en Brasil.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Investigar si el aumento del uso de la madera para la construcción de viviendas en Brasil puede mitigar las emisiones de dióxido de carbono y disminuir la energía incorporada del sector. El enfoque es ambiental, pero se estudiarán algunos aspectos socio-económicos, pues se considera que influyen en la concepción y la eficacia de políticas públicas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar el escenario actual de las viviendas de madera en Brasil, su evolución histórica dentro del parque de viviendas y los factores que han influido en su sustitución por albañilería incluso en lugares de tradición en construcción de casas de madera.
- Conocer la opinión pública brasileña al respecto de la construcción de viviendas de madera, consultando a consumidores, técnicos, constructores, industriales, especialistas, instituciones involucradas en el tema, con el fin de identificar la aceptabilidad y los obstáculos en el mercado para una posible implementación del uso de la madera.
- Caracterizar la cadena productiva de madera para la construcción identificando el flujo de comercialización (producción-consumo), los medios y las distancias de transporte, la productividad, la tecnología empleada, los tipos de productos, las potencialidades y los problemas existentes en el sector maderero.
- Estimar las emisiones de dióxido de carbono y energía incorporada de los productos de madera destinados para la construcción de viviendas en Brasil, según datos primarios de empresas brasileñas para poder analizar los impactos del aumento del uso de la madera basado en informaciones cercanas a la realidad nacional.
- Estudiar el sector de viviendas, su evolución cuantitativa, técnicas constructivas convencionales, materiales empleados y su consumo por unidad funcional, configuración usual de las viviendas (tamaño e intensidad de pared), para que se pueda componer escenarios para la discusión de los impactos del aumento del uso de la madera en la construcción de viviendas en Brasil.

## **1.4 Metodología de investigación**

Este apartado presenta una explicación general de la metodología empleada para la estructuración de la tesis y el desarrollo de la investigación. Los detalles pormenorizados de los métodos utilizados se explicarán en cada capítulo.

La investigación sobre el aumento del uso de la madera para la construcción de viviendas en Brasil enfocó el ámbito ambiental, pero también consideró aspectos socio-económicos e históricos. La parte histórica buscó conocer el flujo del parque de viviendas de madera en Brasil hasta la conformación del escenario actual relacionando parámetros sociales, económicos y ambientales posiblemente interferentes. La caracterización del estado actual, así como el contenido sobre los parámetros analizados, se basaron en datos de informes y referencias bibliográficas.

Se ha analizado el ámbito social mediante el estudio de la opinión pública sobre el uso de la madera para la construcción de viviendas. Para ello, se realizaron encuestas entre consumidores, se entrevistó a técnicos, constructores, industriales y especialistas, se investigaron instituciones gubernamentales y no gubernamentales implicadas en el tema a través de documentos e informes y se hicieron pruebas en bancos y aseguradoras mediante una simulación. El contenido logrado se complementó con referencias bibliográficas.


El objetivo del estudio del ámbito económico fue tan solo entender la cadena de suministro de viviendas de madera, desde la producción de materiales hasta la comercialización de casas de madera. Se dividió en dos partes, la primera se refiere a la cadena de manufactura de productos de madera y, la segunda, a la comercialización de viviendas de madera. La primera se basó en referencias bibliográficas e informes sectoriales, mientras que la segunda, en recopilación de informaciones en las empresas de fabricación y comercialización de casas de madera, entrevistas con agentes, búsquedas en Internet y catálogos.

La esfera ambiental investigó las emisiones de dióxido de carbono y energía incorporada de los productos de madera para la construcción civil. Se usó el Análisis del Ciclo de Vida Simplificado, utilizando datos primarios de empresas brasileñas de producción y procesamiento de madera plantada y nativa. Las informaciones se obtuvieron por medio de cuestionarios y visitas técnicas a las fábricas.

Por último, se crearon escenarios para discutir los impactos en las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada del sector de la construcción civil brasileña por el aumento del uso de la madera para nuevas edificaciones de viviendas. Los datos para componer los escenarios se obtuvieron de referencias bibliográficas, informes, manuales, investigaciones científicas, catálogos y estimaciones hechas sobre proyectos de arquitectura seleccionados en Internet.

## **1.5 Estructura de la tesis**

La tesis se divide en siete capítulos. El primero introduce el contenido de la investigación; el segundo trata del aspecto histórico (como se refiere en el apartado relativo a la metodología); el tercero, del social; el cuarto, del económico; el quinto, del ambiental; el sexto, de la discusión final sobre escenarios; y el séptimo introduce las conclusiones generales de la investigación. A cada ámbito se le dio el enfoque según la Fig. 1. 1:



<b>Capítulo 1</b>	<b>Introducción</b>
<b>Capítulo 2</b>	<b>Vivienda de madera en Brasil</b>
<b>Capítulo 3</b>	<b>Percepción, social y de los agentes del sector de la construcción, del uso de la madera en viviendas</b>
<b>Capítulo 4</b>	<b>Caracterización del sector maderero y de viviendas prefabricadas de madera en Brasil</b>
<b>Capítulo 5</b>	<b>Evaluación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada de los productos de madera para la construcción</b>
<b>Capítulo 6</b>	<b>Evaluación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada por el uso de la madera en el sector de viviendas en Brasil</b>
<b>Capítulo 7</b>	<b>Conclusiones</b>

**Fig. 1. 3 – Estructura de la tesis**

## 1.6 Referencias (capítulo 1)

- [1] EPA - Environmental Protection Agency, “Causes of Climate Change.”, *www.epa.gov*, 2014. [Online]. Disponible en: <http://www.epa.gov/climatechange/science/causes.html>. [Consultado: 28-mar-2014].
- [2] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, “Chapter 2 Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing.”, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.*, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press, 2007, p. 996.
- [3] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2013: the Physical Science Basis.* United States of America: Cambridge University Press, 2014.
- [4] USGCRP, *Global Climate Change Impacts in the United States.* New York, NY, USA: Cambridge University Press. Thomas R. Karl, Jerry M. Melillo, and Thomas C. Peterson (eds.), 2009.
- [5] S. Giljum, F. Hinterberger, M. Bruckner, E. Burger, J. Frühmann, S. Lutter, E. Pirgmaier, C. Polzin, H. Waxwender, e L. Kernegger, “Overconsumption? Our use of the world’s natural resources.”, SERI, GLOBAL 2000, Friends of the Earth Europe, 2009.
- [6] UN - United Nations, “United Nations Global Issues. Environment.” [Online]. Disponible en: <https://www.un.org/en/globalissues/environment/>. [Consultado: 01-abr-2014].
- [7] Club of Rome, “40 years ‘Limits to growth’”, 24-mar-2011. [Online]. Disponible en: <http://www.clubofrome.org/?p=326>. [Consultado: 03-abr-2014].
- [8] United Nation, “Our Common Future”, United Nations, Report of the World Commission on Environment and Development Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427 - Development and International Co- operation: Environment, 1987.
- [9] MMA - Ministério do Meio Ambiente, “Agenda 21”. [Online]. Disponible en: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>. [Consultado: 01-abr-2014].

- [10] UN - United Nations, “The Habitat Agenda”. [Online]. Disponível em: [http://ww2.unhabitat.org/declarations/habitat\\_agenda.asp](http://ww2.unhabitat.org/declarations/habitat_agenda.asp). [Consultado: 01-abr-2014].
- [11] Governo Brasileiro, “Protocolo de Quioto”, 26-nov-2010. [Online]. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/protocolo-de-quioto>. [Consultado: 01-abr-2014].
- [12] ANPED - Northern Alliance for Sustainability, “Conventions and Protocols Relevant to Sustainable Development (chronological)”. [Online]. Disponível em: <http://www.anped.org/index.php?part=150>. [Consultado: 01-abr-2014].
- [13] D. Antonucci, V. R. C. Kato, S. Zioni, e A. B. Alvim, “UN-Habitat: 3 décadas de atuação”, *Vitruvius - Arquitextos*, vol. 107.01, n° 9, 04/09.
- [14] UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, “Kyoto Protocol”. [Online]. Disponível em: [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](https://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php). [Consultado: 02-abr-2014].
- [15] Governo Brasileiro, “Compromisso voluntário do Brasil.”, 18-nov-2011. [Online]. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2011/11/o-compromisso-voluntario-do-brasil>. [Consultado: 02-abr-2014].
- [16] MCT, “Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Sumário executivo.”, MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima., Brasília, 2010.
- [17] V. G. da Silva, “Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e bases metodológicas.”, PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- [18] C. du Plessis, “Agenda 21 for Sustainable Construction in developing Countries.”, CIB - International Council for Research and Innovation in building and Construction., South Africa, 2/01, jun. 2001.
- [19] C. Du Plessis, International Council for Research and Innovation in Building and Construction, e UNEP International Environmental Technology Centre, *Agenda 21 for sustainable construction in developing countries: a discussion document*. Pretoria: CSIR Building and Construction Technology, 2002.
- [20] MMA - Ministério do Meio Ambiente, “Construção Sustentável”. [Online]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>. [Consultado: 02-abr-2014].
- [21] UNEP - United Nations Environment Programme e SBCI - Sustainable Buildings & Climate Initiative, “Why Buildings”. [Online]. Disponível em: <http://www.unep.org/sbc/AboutSBCI/Background.asp>. [Consultado: 28-mar-2014].
- [22] UNEP - United Nations Environment Programme e SBCI - Sustainable Buildings & Climate Initiative, “Buildings and Climate Change. Summary for Decision-Makers.” UNEP, 2009.
- [23] EEA - European Environment Agency, “Greenhouse gas emissions by sector. (excel data)”. 2009.
- [24] J. Gale, J. Bradshaw, Z. Chen, A. Garg, D. Gomez, H.-H. Rogner, D. Simbeck, e R. Williams, “Sources of CO<sub>2</sub>”, in *IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage.*, UK: Cambridge University Press, 2005, p. 431.
- [25] WRI - World Resources Institute, “Brazil. CAIT 2.0: WRI’s climate data explorer.” [Online]. Disponível em: <http://cait2.wri.org/profile/Brazil#Country%20GHG%20Emissions>. [Consultado: 30-mar-2014].
- [26] IEA, “CO<sub>2</sub> Emission from Fuel Combustion - highlights.” IEA, 2011.
- [27] McKinsey & Company, “Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil.” McKinsey & Company, 2009.
- [28] V. M. John, S. C. Angulo, L. F. R. Miranda, V. Agopyan, e F. Vasconcellos, “Strategies for innovation in construction demolition waste management in Brazil”, *Building for the Future: The 16th CIB World Building Congress 2004*, Rotterdam, Netherlands, p. 11, 2004.
- [29] V. M. John e V. Agopyan, “Reciclagem de resíduos da construção”. Seminário - Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares, 2000.
- [30] J. H. P. Monteiro, C. E. M. Figueiredo, A. F. Magalhães, M. A. F. de Melo, J. C. X. de Brito, T. P. F. de Almeida, e G. L. Mansur, “Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos”. IBAM, 2001.
- [31] V. M. John, “Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição a metodologia de pesquisa e desenvolvimento.”, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 200AD.

- [32] T. de P. Pinto, “Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.”, tese, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- [33] S. C. Angulo, C. E. Teixeira, A. L. de Castro, e T. P. Nogueira, “Construction and demolition waste: evaluation of quantification methods.”, *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, vol. 16, n° 3, p. 299–306, set. 2011.
- [34] T. de P. Pinto, “Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil. A experiência do SindusCon-SP”. Obra Limpa; I&T; Sinduscom-SP, 2005.
- [35] S. F. Tavares, “Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.”, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- [36] A. H. Buchanan e S. B. Levine, “Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions”, *Environmental Science & Policy*, vol. 2, n° 6, p. 427–437, dez. 1999.
- [37] P. Börjesson e L. Gustavsson, “Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives”, *Energy Policy*, vol. 28, n° 9, p. 575–588, jul. 2000.
- [38] L. Gustavsson, K. Pingoud, e R. Sathre, “Carbon Dioxide Balance of Wood Substitution: Comparing Concrete- and Wood-Framed Buildings”, *Mitig Adapt Strat Glob Change*, vol. 11, n° 3, p. 667–691, maio 2006.
- [39] G. P. Gerilla, K. Teknomo, e K. Hokao, “An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction”, *Building and Environment*, vol. 42, n° 7, p. 2778–2784, jul. 2007.
- [40] L. Gustavsson e R. Sathre, “Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials”, *Building and Environment*, vol. 41, n° 7, p. 940–951, jul. 2006.
- [41] R. Sathre e L. Gustavsson, “Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change”, *Applied Energy*, vol. 86, n° 2, p. 251–256, fev. 2009.
- [42] F. A. Ximenes e T. Grant, “Quantifying the greenhouse benefits of the use of wood products in two popular house designs in Sydney, Australia”, *Int J Life Cycle Assess*, vol. 18, n° 4, p. 891–908, maio 2013.
- [43] Roger Sathre e Jennifer O’Connor, “Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution”, *Environmental Science & Policy*, vol. 13, n° 2, p. 104–114, abr. 2010.
- [44] Forestry Commission, “Forests and climate change - UK Forestry Standard Guidelines”, Forestry Commission, Edinburgh, 2011.
- [45] L. Gustavsson e R. Sathre, “Energy and CO2 analysis of wood substitution in construction”, *Climatic Change*, vol. 105, n° 1, p. 129–153, mar. 2011.
- [46] Y. Tsunetsugu e M. Tonosaki, “Quantitative estimation of carbon removal effects due to wood utilization up to 2050 in Japan: effects from carbon storage and substitution of fossil fuels by harvested wood products”, *J Wood Sci*, vol. 56, n° 4, p. 339–344, abr. 2010.
- [47] IPCC, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.*, vol. Workbook. Module I. Energy, 3 vols. Bracknell: JT Houghton, LG Meira Filho, B Lim, K Treanton, I Mamaty, Y Bonduki, 1997.
- [48] UN, *Vital forest graphics*. Nairobi Kenya: UNEP, 2009.
- [49] Emily Matthews, “From Forests to Floorboards: Trends in Industrial Roundwood Production and Consumption”. WRI, out-2000.
- [50] K. Mahapatra, L. Gustavsson, e K. Hemström, “Multi-storey wood-frame buildings in Germany, Sweden and the UK”, *Construction Innovation: Information, Process, Management*, vol. 12, n° 1, p. 62–85, jan. 2012.
- [51] N. V. Praet, “Quebec pushing use of wood in construction to boost lumber sector”, *Financial Post*, 30-abr-2013. [Online]. Disponível em: <http://business.financialpost.com/2013/04/30/quebec-pushing-use-of-wood-in-construction-to-boost-lumber-sector/>. [Consultado: 09-out-2013].
- [52] G. Franco e R. Manner, “Promoting construction wood in the EU”, EBCD and IUCN, European Parliament, Brussels, jul. 2011.
- [53] J. Julin, “The international promotion of wood construction as a part of climate policy.”.
- [54] Y. Hayashi e B. Petlock, “Japan’s ‘Promotion of Wood’ Act - An Opportunity for the U.S. Wood Industry”, USDA - Foreign Agriculture Service, Voluntary-Public JA2508, mar. 2012.
- [55] L. Sobral, J. A. de O. Veríssimo, T. Azevedo, e R. Smeraldi, *Acertando o alvo 2: Consumo da madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo*. Belém: Imazon, 2002.

- [56] IBGE, “PNAD - Pesquisa Nacional por amostras de Domicílios.”, 2013. [Online]. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/default.asp>. [Consultado: 15-set-2010].
- [57] FAO, “State of the World’s Forests 2011”, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2011.
- [58] FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, “FAOSTAT Database”, <http://faostat.fao.org>, 18-dez-2012. [Online]. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>. [Consultado: 30-out-2012].
- [59] ITTO - International Tropical Timber Organization, “Annual review and assessment of the world timber situation - 2010.”, ITTO-Tropical Timber Market, Yokohama, Japan, 2011.
- [60] Panda.org, “The timber trade”, 2012. [Online]. Disponível em: <http://assets.panda.org/img/original/transparency.jpg>. [Consultado: 03-mar-2012].
- [61] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2011 ano base 2010”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2011.
- [62] D. Pereira, D. Santos, M. Vedoveto, J. Guimarães, e A. Veríssimo, *Fatos florestais da Amazônia - 2010*. Belém-PA: Imazon, 2010.
- [63] J. L. Howard e D. B. McKeever, “U.S. Forest Products Annual Market Review and Prospects, 2006–2010”, USDA - United States Department of Agriculture, FPL–RN–0315, 2010.
- [64] “Florestas Nativas de Produção Brasileiras.”, SFB-Serviço Florestal Brasileiro e IPAM-Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Brasília - DF, 2011.
- [65] SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais e SFB - Serviço Florestal Brasileiro, “Cadeia Produtiva”. [Online]. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/cadeia-produtiva>. [Consultado: 04-nov-2013].
- [66] SFB - Serviço Florestal Brasileiro, “Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados 2007-2012.”, Brasília, 2013.
- [67] É. F. Campos, “Balanço de carbono e o impacto em mudanças climáticas da madeira serrada Amazônica.”, São Paulo, 2012.
- [68] É. F. de Campos, “Emissão de CO<sub>2</sub> da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional.”, São Paulo, 2012.
- [69] J. S. Johns, P. Barreto, e C. Uhl, “Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon”, *Forest Ecology and Management*, vol. 89, n<sup>o</sup> 1–3, p. 59–77, dez. 1996.
- [70] IMAZON, *A Expansão Madeireira na Amazônia. Impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará.*, 2<sup>o</sup> ed. Belém-PA: Ana Cristina Barros & Adalberto Veríssimo, 2002.
- [71] A. J. Macpherson, M. D. Schulze, D. R. Carter, e E. Vidal, “A Model for comparing reduced impact logging with conventional logging for an Eastern Amazonian Forest”, *Forest Ecology and Management*, vol. 260, p. 2002–2011, nov. 2010.
- [72] G. P. Asner, “Selective Logging in the Brazilian Amazon”, *Science*, vol. 310, p. 480–482, out. 2005.
- [73] R. D. Bergman e S. A. Bowe, “Life cycle inventory of manufacturing prefinished engineered wood flooring in eastern US with comparison to solid strip wood flooring”, *Wood and Fiber Science*, vol. 43, n<sup>o</sup> 4, p. 421–441, 2011.
- [74] D. Cambria e D. Pierangeli, “Application of a life cycle assessment to walnut tree (*Juglans regia* L.) high quality wood production: a case study in southern Italy”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 23, n<sup>o</sup> 1, p. 37–46, mar. 2012.
- [75] F. G. Wagner, M. E. Puettmann, e L. R. Johnson, “CORRIM: Phase II Final Report. Module B. Life Cycle Inventory of Inland Northwest Softwood Lumber Manufacturing.”, CORRIM: Consortium for Research on Renewable Industrial Materials, dez. 2009.
- [76] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2013.
- [77] DECONCIC e FIESP, “ConstruBusiness 2010 - 9<sup>o</sup> Congresso Brasileiro da Construção. Brasil 2022: Planejar, Construir, Crescer”, São Paulo, nov. 2010.
- [78] ABRAMAT e FGV, “Cenário Macroeconômico: 2009 - 2016”, São Paulo, dez. 2009.
- [79] Portal Planalto, “Saiba como funciona e como participar do Programa Minha Casa, Minha Vida.”, 29-ago-2013. [Online]. Disponível em: <http://www2.planalto.gov.br/imprensa/noticias-de-29-ago-2013>.

- governo/saiba-como-funciona-e-como-participar-do-programa-minha-casa-minha-vida. [Consultado: 20-out-2013].
- [80] Caixa Econômica Federal, “Minha Casa Minha Vida”. [Online]. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/habitacao/mcmv/>. [Consultado: 20-out-2013].
- [81] V. Agopyan, U. E. L. de Souza, J. C. Paliari, e A. C. de Andrade, “Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra”, in *Coletânea Habitar*, vol. 2, Porto Alegre: Carlos Torres Formoso, Akemi Ino, 2003, p. 480.
- [82] CEF, Ministério das Cidades, e Governo Brasileiro, “Programa Minha Casa Minha Vida / FAR. Especificações Mínimas.” 2012.
- [83] “Base de données Inies”. [Online]. Disponível em: <http://www.base-inies.fr/Inies/default.aspx>. [Consultado: 03-abr-2014].
- [84] ITEC - Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya., “Banco BEDEC”.
- [85] NREL - National Renewable Energy Laboratory, “U.S. Life Cycle Inventory Database”. [Online]. Disponível em: <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>. [Consultado: 03-abr-2014].
- [86] Ministerio do Desenvolvimento, Industria e Comercio Exterior, “Resolução n.o 03, de 22 de abril de 2010”. 22-abr-2010.
- [87] Jornal da Ciência, “SICV-Brasil completa seis anos de atuação”, <http://www.jornaldaciencia.org.br>, 20-ago-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=83790>. [Consultado: 17-jan-2013].
- [88] F. C. Barbosa, “Chalé de madeira: a moradia popular de Santos.”, São Paulo, 1998.
- [89] CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, “Uso sustentável da madeira na construção civil.” CBCS, ago-2009.
- [90] F. S. Garcia, M. S. Guernieri, G. F. Pereira, e S. Weihermann, *Arquitetura em madeira: uma tradição paranaense*. Curitiba: Scientia et Labor, 1987.
- [91] I. T. Dudeque, *Espirais de madeira: uma história da arquitetura de Curitiba*. São Paulo: Studio Nobel FAPESP, 2001.
- [92] F. D. Batista, *A casa de madeira: um saber popular*. Curitiba: Arquibrasil, 2001.
- [93] A. C. Zani, *Repertório arquitetônico das casas de madeira de Londrina*, 1<sup>o</sup> ed. Londrina: Antonio Carlos Zani, 2005.
- [94] A. C. Zani, *Arquitetura em Madeira*. Londrina; São Paulo: Eduel Imprensa Oficial, 2003.
- [95] A. N. Yuba, “Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais.”, Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- [96] P. M. P. Partel, “Painéis estruturais utilizando madeira roliça de pequeno diâmetro para habitação social: desenvolvimento do produto”, text, Universidade de São Paulo, 2006.
- [97] C. Laroca, “Habitação social em madeira: uma alternativa viável”, 2002.
- [98] M. F. Hilgenberg Neto, “Estudo de viabilidade técnico / econômica da casa de madeira popular no estado do Paraná.”, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- [99] R. Pedreschi, “Avaliação do desempenho da madeira na habitação utilizando abordagens de sistemas.”, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- [100] C. A. Estuqui Filho, “Durabilidade Da Madeira Na Arquitetura Sob Ação Dos Fatores Naturais Estudo Casos Em Brasília”, Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- [101] T. I. Krambeck, “Revisão de sistema construtivo em madeira de floresta plantada para habitação popular.”, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- [102] F. D. A. Batista, “Tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da casa tradicional à contemporânea.”, Masters dissertation, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- [103] E. N. Giovanni, “Pau pra toda obra: O uso da madeira na arquitetura catarinense”, Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- [104] Gisela de Andrade Brugnara, “Florestas, madeira e habitações. Análise energética e ambiental da produção e uso da madeira como contribuição ao desafio da valorização da Floresta Amazônica”, Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- [105] Setgio Adeodato, Malu Vilela, Luciana Stocco Betiol, e Mario Monzoni, *Madeira de ponta a ponta - o caminho desde a floresta até o consumo*, 1<sup>o</sup> ed. São Paulo: FGV RAE, 2011.



- 
- [106] Marco W. Lentini, Patricia Cota Gomes, e Leonardo Sobral, *Acertando o alvo 3*. Piracicaba/SP: IMAFLORA, 2011.
- [107] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, *Madeira Uso Sustentável na Construção Civil*, 2º ed. São Paulo: IPT, 2009.
- [108] S. Lawson e L. MacFaul, “Chatham House Illegal Logging Indicators Country Report Card - Brazil”. Chatam House, jul-2010.
- [109] Frank Miller, Rodney Taylor, e George White, *Seja Legal. Boas práticas para manter a madeira ilegal fora se seus negócios*. WWF, 2006.

## 2 Vivienda de madera en Brasil

### 2.1 Contenido y objetivo

En este capítulo se pretende caracterizar el escenario de la vivienda brasileña relacionada al uso de materiales, en particular la madera. Para ello, se evaluará la dinámica del parque de viviendas y se discutirán los posibles factores por los que las edificaciones de madera han disminuido porcentualmente durante los últimos cuarenta años. Para el entender el uso temporal de la madera en la vivienda, se han correlacionado factores ambientales, sociales y económicos con la evolución del parque de viviendas de madera, orientándolo a un análisis cualitativo de su desarrollo histórico.

Este trabajo es un estudio inédito que busca, además de caracterizar la problemática de las viviendas de madera, generar información que ayude a entender la dinámica del uso de los materiales en las viviendas brasileñas y ampare políticas públicas sectoriales para el progreso técnico y la comercialización.

### 2.2 Método

El contenido de este capítulo se divide en tres partes: a) presenta la evolución histórica y el escenario actual de las viviendas de madera en Brasil; b) evalúa la parte del parque de viviendas de madera en el sector habitacional brasileño desde 1970 hasta 2011; y c) discute algunos factores sociales, económicos y ambientales que pueden haber influido en la dinámica de las viviendas de madera. Para ello, se ha utilizado la siguiente metodología:

a. *El escenario de las viviendas de madera en Brasil* está basado en la literatura nacional, búsquedas en Internet, entrevistas a empresas y agentes del sector. La información sobre el patrimonio histórico se obtuvo en las páginas oficiales del IPHAN (Instituto del Patrimonio Histórico y Artístico Nacional) de cada uno de los estados brasileños y mediante el intercambio de correos electrónicos con todas las superintendencias de los veintisiete estados brasileños.

b. *La evolución del parque nacional de viviendas de madera en Brasil* desde 1970 hasta 2011 (en números absolutos y relativos) se basa en datos nacionales oficiales del PNAD (Encuesta Nacional por Muestreo de Domicilios) y del IBGE (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística). Los documentos clasifican las viviendas según el material predominante de las

paredes exteriores (albañilería, madera aplanada, tapia, madera reutilizada<sup>1</sup> y otros materiales) y su localización dentro del territorio [2][3].

Los datos de 1970 provienen de las estadísticas habitacionales de los registros del Anuario Estadístico de Brasil [3]. Las informaciones de 1992 a 2011 provienen del PNAD [2]. En 1994 y 2000, no hay información sobre los domicilios unifamiliares permanentes. Y solamente a partir de 2004 se incorporó al banco de datos la zona rural de la región norte de Brasil.

c. Se correlacionaron *factores económicos, sociales y medioambientales* con el parque de viviendas de madera. Los elementos sociales y ambientales evaluados fueron el aumento de la población, la evolución de la deforestación de la selva amazónica y la floresta Atlántica, la superficie de bosque y el consumo de madera per cápita. Los indicadores económicos incluyeron el PIB (Producto Interior Bruto) per cápita brasileño, los ingresos mensuales familiares, la variación de precios de los principales materiales de construcción en el país, así como la madera nativa de la Amazonia, que normalmente se utiliza en la construcción de viviendas. La correlación entre las variables se estableció utilizando el método de los mínimos cuadrados lineales (Excel), expresado por el coeficiente de Pearson ( $r$ ) y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ).

Para analizar los hábitos migratorios de la población brasileña se utilizaron datos del Censo Demográfico (CD), por tipo de hogar, de 1970, 1991, 2000 y 2010 [4], para correlacionarlos con el número de viviendas en Brasil (VB). Dado que no existe información sobre el número de viviendas de los años 1994 y 2000, se compararon datos de 1991 CD con los de 1992 VB, de 2000 CD con 1999 VB y de 2010 CD con 2009 VB.

La información sobre deforestación de la Amazonia Legal<sup>2</sup> proviene de datos satelitales obtenidos por el proyecto PRODES [6] y de la floresta Atlántica, de los informes periódicos de la organización SOS Mata Atlántica [7]. La cantidad de bosques y el consumo de madera aserrada per cápita proceden del análisis de los datos de 2008, obtenidos del informe de la FAO sobre la situación de las florestas en el mundo [8], para lo que se tomó una referencia con el fin de que la base metodológica fuera la misma.

El PIB per cápita está basado en el informe anual del Banco Central de Brasil [9]. Los ingresos mensuales familiares por tipo de vivienda se obtuvieron a través del BME (Banco

---

1 La madera reutilizada es la madera de embalaje, mampara, andamios, etc. [1].

2 La Amazonia Legal comprende los estados de Acre, Amazonas, Pará, Amapá, Rondônia, Roraima, Tocantins (norte), Mato Grosso, parte del Goiás (centro oeste) y parte de Maranhão (nordeste) [5].

Multidimensional de Estadísticas) del IBGE, entre 1983 y 2009 [10]. Los precios medianos de materiales y servicios se adquirieron en el SIDRA (Sistema IBGE de Recuperación Automática) del IBGE, desde 1990 hasta 2010 [11]. El precio de la madera aserrada de la Amazonia, proviene del informe de un instituto independiente de investigación en la Amazonia (IMAZON) [12]. Todos los análisis de precios se realizaron con valores constantes en diciembre de 2011 corregidos por el índice de inflación IGP-DI [13] y el Programa de Corrección de Valores del Banco Central de Brasil (BCB) [14].

También se evaluó el grado de riesgo de deterioro de la madera en diversas regiones de Brasil, calculado según el índice de clima de Scheffer ( $I_s$ ) (Eq. 1). Las informaciones de precipitaciones y temperatura, provienen del banco de datos BDMEP (Banco de Datos Meteorológicos para la Enseñanza e Investigación) del INMET (Instituto Nacional de Meteorología) [15], y los promedios se calcularon por meses desde enero de 2000 hasta diciembre de 2011. Los datos se refieren a las estaciones meteorológicas convencionales ubicadas en las capitales, excepto en el estado de Rondônia y Mato Grosso do Sul que no tienen datos disponibles y, por esta razón, solo se consideraron datos de las estaciones más cercanas: Manicore (Amazonas) e Ivinhema (Mato Grosso do Sul), respectivamente.

$$I_s = \sum_{Ene}^{Dic} [(T - 2)(D - 3)] / 16.7 \quad (\text{Eq. 1})$$

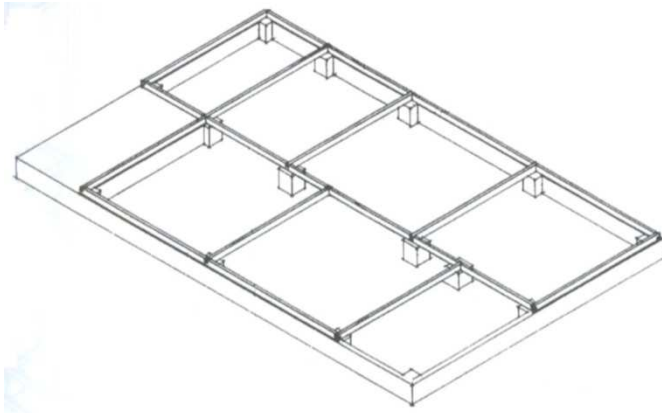
donde: T es la temperatura media mensual (expresada en °C), D es el número medio de días al mes con precipitación de 0,25 mm o más y  $(T - 2) \equiv 0$  si  $T < 2$ .

## 2.3 Resultados y discusión

### 2.3.1 Escenario brasileño de la vivienda en madera: pasado y presente

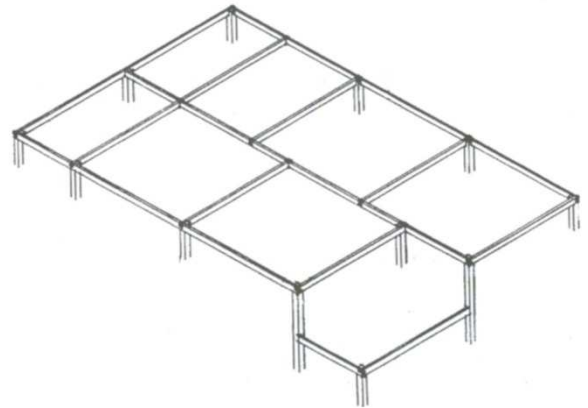
A partir de 1970 la construcción de viviendas de madera se ha estancado y se ha mantenido constante alrededor de 4,1 millones de unidades [2]. Esto indica que el número de viviendas construidas fue prácticamente el mismo que las que llegaron al final de su vida útil. El arquetipo más popular (cierre de tablas y tapajuntas, anclados en estructura leve de entramado de madera) (Fig. 2. 1) no varía significativamente la técnica constructiva entre regiones, con independencia del clima o la condición cultural, lo que lleva a que este tipo arquitectónico se construya totalmente en madera (excepto la cimentación y zonas húmedas: cocina y baño) (Fig. 2. 9) y pueda desarrollarse debido a la existencia de zonas favorables con abundancia de materias primas [16]. Las mayores concentraciones de viviendas de madera están en el sur del país, donde

se encuentra el 52% de las viviendas de madera y se localiza la floresta de las Araucarias<sup>3</sup> (hoy en día prácticamente extinguida); y en el norte, la región de la selva amazónica, donde está el 37% de las viviendas de madera (Fig. 2. 2, Fig. 2. 3).



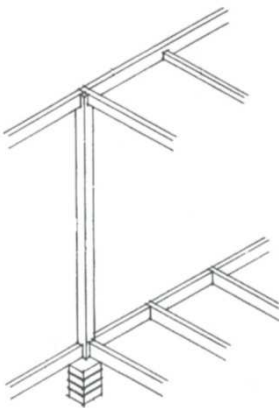
**Cimentación. Entramado de madera inferior sobre pequeños pilares de ladrillo**

Fuente de la ilustración: [18]



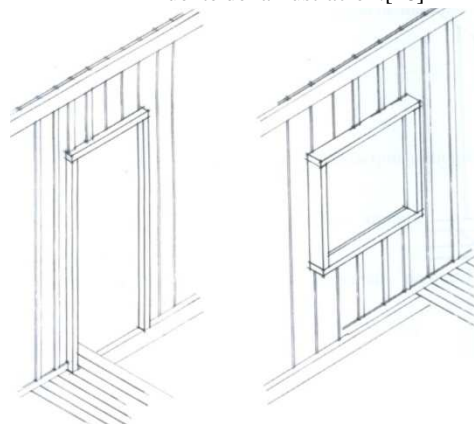
**Estructura de cierre superior. Entramado de madera superior sobre pilares delgados de madera**

Fuente de la ilustración:[18]



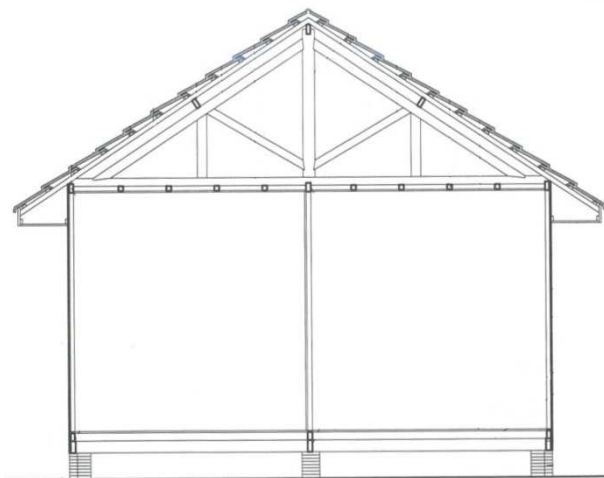
**Detalle de la conexión, por pilar delgado de madera entre el entramado de madera superior e inferior**

Fuente de la ilustración: [18]

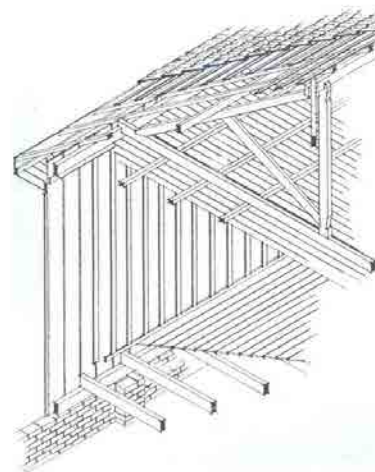


**Detalle del cierre y aperturas**

Fuente de la ilustración: [18]



**Sección transversal**

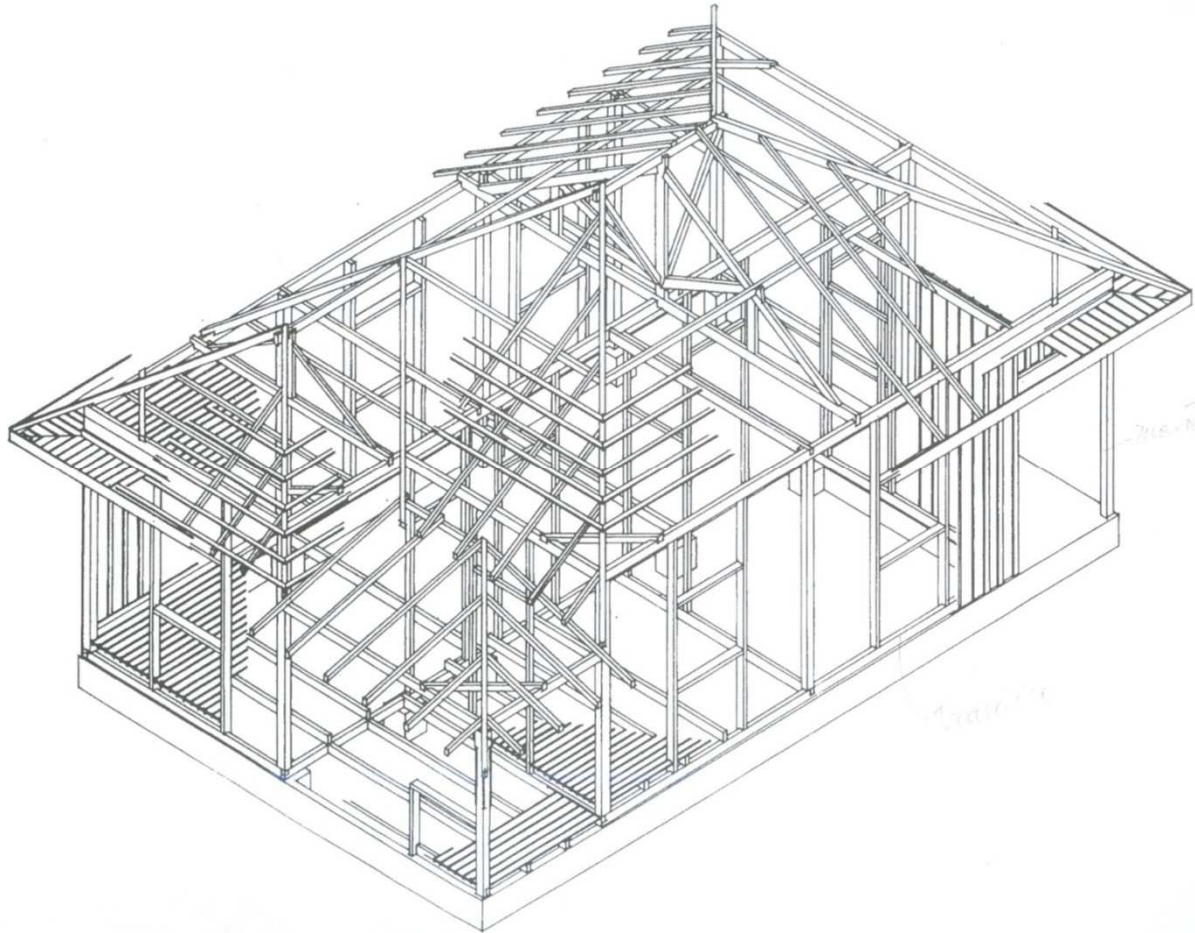


**Sección transversal en perspectiva**

<sup>3</sup> Ecosistema del bioma de la floresta Atlántica [17].

Fuente de la ilustración: [18]

Fuente de la ilustración: [18]



**Perspectiva isométrica**

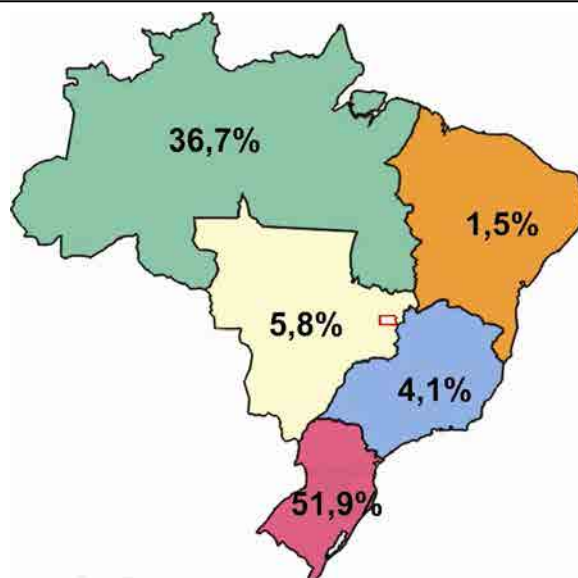
Fuente de la ilustración: [18]

**Fig. 2. 1 - Representaciones figurativas de tipo constructivo conocido como “tapajuntas”**



**Fig. 2. 2 - Mapa de la ocupación original de la mata Atlántica y la selva Amazónica**

Fuente de la información: [19]



**Fig. 2. 3 - Porcentaje de viviendas de madera derivado del total de viviendas de madera de Brasil, por grandes regiones (2011)**

Fuente de la información: [2]

El escenario actual de las viviendas de madera puede dividirse en cuatro expresiones constructivas (excluyendo las viviendas indígenas): 1) las viviendas de tablas y tapajuntas, 2) las viviendas prefabricadas, 3) las viviendas hechas a medida y 4) las chabolas.

### **2.3.1.1 Viviendas de tablas y tapajuntas**

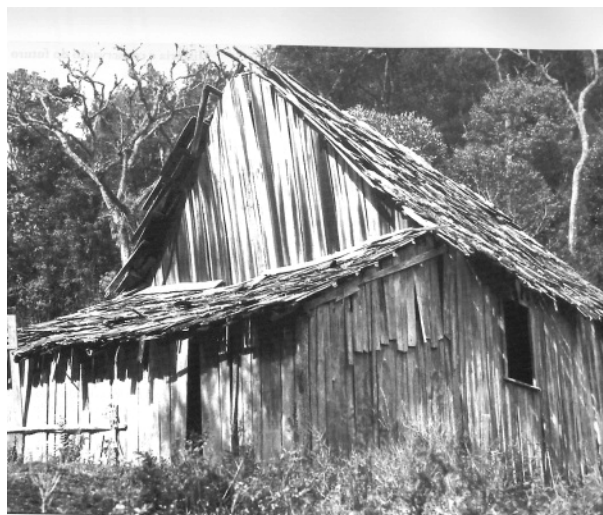
Aunque en la actualidad se encuentran por casi todo el territorio nacional, la literatura señala que su expresión más significativa está en la región sur [18][20][21]. Su perfeccionamiento se dio de manera espontánea y correlacionó factores ambientales, culturales y de salubridad [22]. A finales del siglo XIX y principios del XX, con el incentivo del gobierno brasileño para la inmigración, llegaron a los estados de Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul, alemanes, polacos, eslavos, ucranianos, japoneses, italianos, entre otras nacionalidades, atraídos por las promesas de tierra y prosperidad [20][22][21].

De modo general, el proceso de ocupación del territorio consistía en avanzar sobre zonas de floresta nativa (principalmente la selva de Araucarias), donde, en general, casi el único material accesible para la construcción era la madera o la paja. El primer paso para la construcción, consistía en despejar la superficie donde se iba plantar y se construía una choza con la madera cortada que servía de abrigo y como forma de asegurar la propiedad del terreno [18][21]. La choza se construía con troncos de madera o planchas desplegadas manualmente y se cubría con trozos de madera o paja [18][22][21]. Con el desarrollo local y la mejora de los recursos, las chozas se fueron abandonando o dejando para otros fines, como almacén, o tiempo después, se reformaban y ampliaban para adecuarlas como vivienda familiar. [21][22] (Fig. 2. 4, Fig. 2. 5, Fig. 2. 6, Fig. 2. 7).



**Fig. 2. 4 - Construcción manual de la vivienda de madera**

Fuente de la ilustración: [23]



**Fig. 2. 5 - Chozas que servían como abrigo provisional**

Fuente de la ilustración: [24]



**Fig. 2. 6 - Vivienda de la familia (in)migrante**

Fuente de la ilustración: [21]



**Fig. 2. 7 - Vivienda de la familia (in)migrante**

Fuente de la ilustración: [25]



**Fig. 2. 8 - Pueblo (Londrina/PR) al principio de la colonización, en 1934. Hoy, ciudad, con más de 500.000 habitantes.**

Fuente de la ilustración: [26]



Al principio de la construcción de los pueblos, el paisaje era heterogéneo (Fig. 2. 8), dado que, cada inmigrante construía según sus conocimientos y la técnica vernácula de su país de origen [18][27][22][21]. Con el paso de los años, el contacto con los nativos, el conocimiento de las variaciones climáticas y los condicionantes de salud locales hicieron que la arquitectura fuera ajustándose hasta llegar a un tipo de solución común e identificable [28][22]. Ligera, racional y constituida casi totalmente en madera, excepto los cimientos y las zonas húmedas (cocina y baño, que posteriormente se añadían al cuerpo de la casa [21][20]), tejado en aguas y estructura compuesta por un entramado de madera delgado (Fig. 2. 1, Fig. 2. 9). Su imagen se conecta con la técnica utilizada que consistía en paredes formadas por tablas y pequeños listones verticales de aproximadamente 5 cm de ancho que tapaban las juntas (Fig. 2. 1, Fig. 2. 9). La dureza inherente de la madera (por la especie o la edad: pino de más de cien años) dificultaba el ataque de insectos u otras patologías relacionadas con la densidad del material, ya que prácticamente no había tratamiento químico [21][29][20][22].





**Fig. 2. 9 - Viviendas de madera construidas con la técnica conocida por "tapajuntas". Localizadas en Londrina/PR**

Fuente de la ilustración: archivo del autor

Esta técnica conocida en portugués como *mata-juntas*<sup>4</sup> (o, en español, “tapajuntas”) pudo desarrollarse porque había abundancia de materia prima, principalmente de la especie *Araucaria (Araucaria angustifolia, pino nativo)*, así como conocimiento técnico sobre construcción en madera, que habían traído los inmigrantes europeos, déficit habitacional y mano de obra accesible [18][22]. Se popularizó por la región gracias a la mecanización, el aumento de los aserraderos, la estandarización de los elementos constructivos básicos (estructura y cierre) y por su bajo coste [22]. El uso de la madera no se limitó a las viviendas, también, sirvió de elemento para edificar iglesias, hoteles, comercios, clubes, almacenes y hospitales [20]. De manera general, es una edificación sencilla, aunque en algunas regiones se incorporaron valores estéticos (Fig. 2. 10).

A pesar de esto, poco se ha reconocido como histórico y cultural. De las veintisiete representaciones estatales del IPHAN con las que se entró en contacto, solamente seis contestaron, de las que dos declararon tener algunos ejemplares de arquitectura en madera registrados como patrimonio (2012). Con ello se puede deducir que el tema no es primordial. Aún con el esfuerzo de algunos académicos para identificar el valor de estas construcciones [29][30][31][32][33] y la existencia de un inventario de algunas unidades, solamente se encontraron dos conjuntos arquitectónicos protegidos por la ley: el núcleo histórico del Alto

---

<sup>4</sup> En portugués el término *mata-junta* puede referirse a una pieza delgada de madera que se fija sobre la junta entre dos tablas de madera y que sirve para tajarla o, popularmente, puede referirse a la técnica constructiva que utiliza tapajuntas, que se describe con más detalle en el capítulo 4.

Paraguaçu<sup>5</sup>, en la ciudad Itaiópolis (SC) (Fig. 2. 11), y un conjunto genuino de viviendas de madera en la ciudad de Antonio Prado (RS), con algunas unidades con más de cien años [35] (Fig. 2. 12). De manera general, en las demás localidades, las edificaciones de madera suelen sustituirse por construcciones de albañilería [29].



---

<sup>5</sup> El núcleo histórico está compuesto por varias edificaciones como iglesias, molinos, capillas, fábricas y viviendas, de las cuales algunas son de madera. [34]



**Fig. 2. 10 - Detalles de pilares, goteo**

Fuente de la ilustración:[21]



**Fig. 2. 11 - Algunas edificaciones de madera del Núcleo Histórico del Alto Paraguaçu, en la ciudad de Itaiópolis/SC**

Fuente de la ilustración: [34]



**Fig. 2. 12 - Algunas viviendas protegidas por la ley en la ciudad de Antonio Prado/RS**

Fuente de la ilustración: [35]

Se cree que la disminución del uso de la madera se produjo por la escasez de madera (sur), que fue explotada de forma irracional, lo que disminuyó las reservas naturales y con el consecuente aumento del precio, la llegada de la arquitectura moderna y las restricciones legales urbanas en algunas ciudades, así como la formación de un concepto colectivo de que la madera estaba ligada a edificios provisionales y de bajo coste [30][16][36][27][13][21][22]. En su apogeo las madereras vendían *kits* con piezas precortadas suficientes para la construcción de una vivienda [20][22]. Los carpinteros finalizaban las piezas *in situ* y un equipo de quince personas era capaz de construir una vivienda de aproximadamente 50 m<sup>2</sup> en un día [20]. La vivienda resultante de este tipo de proceso constructivo se encuentra en el mercado de bajo coste hasta hoy (Fig. 2. 13), su precio puede llegar a ser un 50% más bajo que el de una casa de albañilería tradicional, que culturalmente tiene un mayor prestigio.



**Fig. 2. 13 - Viviendas de madera de bajo coste vendidas en *kits* para la autoconstrucción**

Fuente de la ilustración: [37], archivo del autor, [38][39]

### 2.3.1.2 Vivienda prefabricada

Otra expresión de la arquitectura habitacional en madera son las casas prefabricadas. Posteriores a las viviendas de tablas y tapajuntas verticales, son el resultado de una especialización del sistema constructivo. En general, las paredes son de planchas macho-hembra puestas en horizontal, sencillas o dobles y una capa de aislamiento, que es opcional. La hoja se encaja en pilares delgados de madera que se apoyan en piezas provisionales hasta el montaje final de la vivienda (Fig. 2. 14, Fig. 2. 15). Las fabrican y comercializan empresas especializadas que normalmente venden todos los materiales necesarios y ofrecen servicios de construcción (excepto la cimentación). Los proyectos pueden ser estandarizados o hechos según la necesidad del consumidor, dentro de los límites de la técnica constructiva. Su mercado es más expresivo en los rangos de medio y alto poder adquisitivo, como segunda vivienda, sea de campo o playa<sup>6</sup>. Construida mayoritariamente con madera nativa sin tratamiento químico contra la biodegradación, su coste es equivalente a una vivienda de albañilería. Su ventaja está en la estética y velocidad de construcción, alrededor de 2 m<sup>2</sup>/día.

<sup>6</sup> Resultados de la investigación en empresas de casas prefabricadas presentada en los capítulos 3 y 4.

Las viviendas prefabricadas con estructura de entramado en madera y cierre de paneles en madera (*wood frame*) ya consolidadas en América del Norte, todavía no son muy conocidas en Brasil, aunque existe alguna iniciativa a pequeña escala en el sur del país (Fig. 2. 16, Fig. 2. 17). La estética depende del usuario final. En la Fig. 2. 17 se muestran las diferentes expresiones morfológicas entre viviendas de alto y bajo nivel, así como un conjunto habitacional del programa *Minha Casa Minha Vida* del Gobierno federal para la población con escasos recursos económicos.



Pared sencilla (pilar + una placa). Hay diferentes espesores de placas.



Pared doble (pilar + dos placas). Puede ser con o sin capa de aislamiento.



Montaje de la estructura y paredes



Montaje de la estructura y paredes



Pared acabada con apertura, acabada



Montaje de la estructura y paredes

**Fig. 2. 14 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo (macho-hembra) de las viviendas prefabricadas de madera**

Fuente de la ilustración: [40][41], archivo del autor, [42]



**Fig. 2. 15 - Ejemplos de viviendas prefabricadas en madera producidas y comercializadas en Brasil (sistema constructivo macho-hembra)**

Fuente de la ilustración:[43], [44], archivo del autor





Montaje de la estructura de madera

Montaje de la estructura y cierre de paneles de madera

**Fig. 2. 16 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo *wood frame* producido por empresas que trabajan en Brasil**

Fuente de la ilustración: [45][46]



Ejemplo de residencia de clase social alta

Ejemplo de residencia de clase social baja



Residencial Haragano, en la ciudad de Pelotas/ RS

**Fig. 2. 17 - Ejemplo de viviendas con sistema *wood frame* producidas por empresas que trabajan en Brasil**

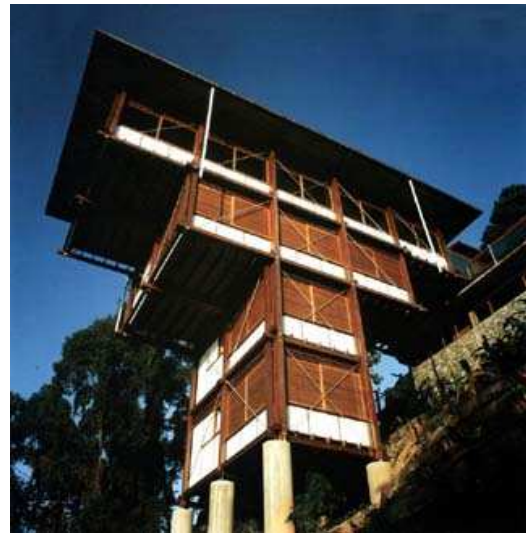
Fuente de la ilustración: [47][48][49]

### 2.3.1.3 Vivienda hecha a medida

Este tipo de construcción proviene de proyectos personalizados sin la restricción de la técnica de piezas prefabricadas estandarizadas. Son parte de un mercado restringido enfocado a un público que goza de un mayor poder adquisitivo. Requiere actuación de profesionales arquitectos e ingenieros especializados en edificaciones de madera.

Pueden utilizar madera nativa o plantada, ya que el tratamiento contra la disminución de la vida útil del material depende de la estrategia estipulada por la constructora o el cliente. La innovación tecnológica y la estética son su mayor atractivo.

Las principales referencias nacionales actuales en este tipo de construcción, con obras publicadas en revistas nacionales e internacionales, son el ingeniero Helio Olga Jr. (Ita Constructora) y el arquitecto Prof. Dr. Marcos Acayaba (Fig. 2. 18).



Residencia unifamiliar. Proyecto y obra: Marcos Acayaba y Helio Olga Jr.



Residencia unifamiliar. Proyecto y obra: Marcos Acayaba y Helio Olga Jr.



Residencia unifamiliar. Proyecto: Marcos Acayaba



Residencia unifamiliar. Proyecto y obra: Beth Haddad y Orbital Estructura

**Fig. 2. 18 - Obras hechas a medida. Residencias unifamiliares de alto estándar económico**

Fuente de la ilustración:[50][51]

#### 2.3.1.4 Chabolas de madera

En el otro extremo están los poblados chabolistas (las llamadas *favelas* en portugués), fruto del crecimiento demográfico y del déficit habitacional [52][53], donde se encuentra una peculiar expresión de vivienda de madera autoconstruida con contrachapados y madera reutilizada (Fig. 2. 19). Es un tipo de vivienda precaria de pequeñas proporciones, que surge de la necesidad intrínseca del acceso habitacional de personas con pocos o ningún ingreso económico. Están ubicadas en sitios menos favorables [53] como colinas, orillas de ríos o zonas

suburbanas. Forman parte del mercado ilegal [54] y su atractivo comercial se halla en la ausencia de impuestos y su ubicación dentro del poblado [55].

Están conformadas por pequeños grupos habitacionales que muchas veces se erradican por fuerzas externas (desalojo forzoso del lugar) o internas (migración) (Fig. 2. 20), o grandes comunidades, que posteriormente se consolidan y algunas veces legalizan las autoridades municipales. También se conocen por el término portugués “favela” (Fig. 2. 21, Fig. 2. 22). Cuando hay una garantía de propiedad del terreno, las chabolas suelen sustituirse por viviendas de albañilería [56], de mayor prestigio y sensación de solidez. El valor de las viviendas en el mercado ilegal de las *favelas* está formado por una conjunción de factores, como la localidad, los intereses económicos, la proximidad a una red de solidaridad (familiares, amigo, &c), la calidad de la edificación y el material, entre otros. El estudio de Baltrusis (2008) [55] muestra que las viviendas de madera son menos valoradas.



**Fig. 2. 19 - Vivienda autoconstruida con madera reutilizada**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Fig. 2. 20 - Pequeño pueblo chabolista**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Fig. 2. 21 - Favela Jaguaré, en São Paulo**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



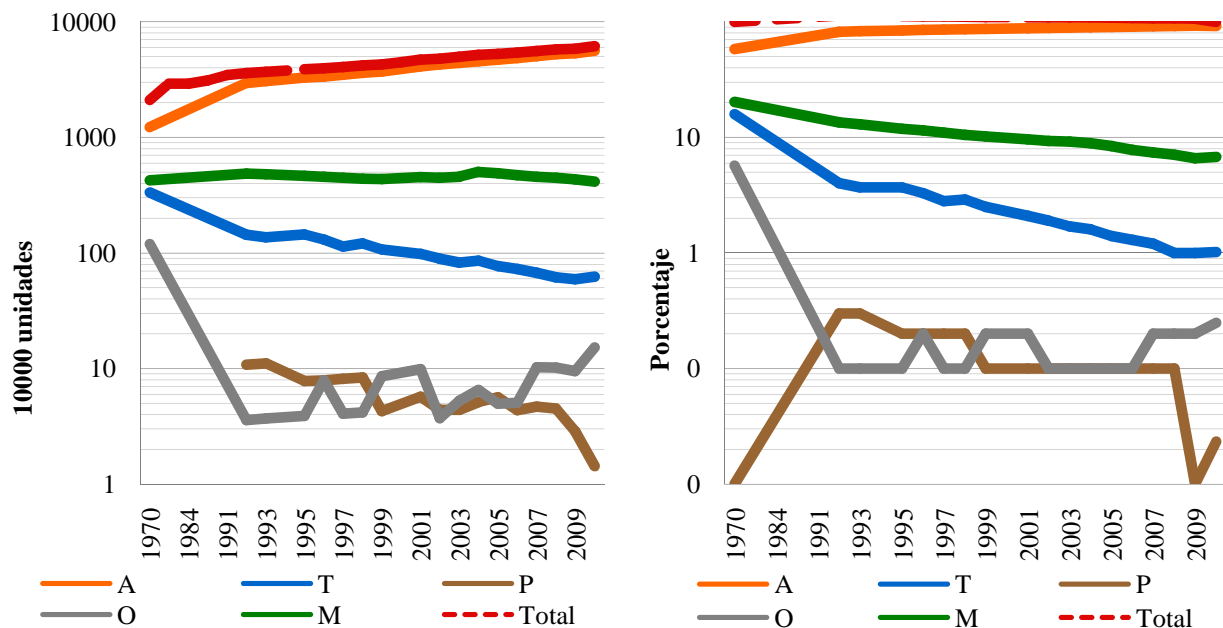
**Fig. 2. 22 - Favela San Remo, en São Paulo**

Fuente de la ilustración: archivo del autor

### 2.3.2 Viviendas de madera y la dinámica del parque de viviendas

Entre 1970 y 2011, el parque de viviendas en Brasil aumentó de aproximadamente 21 millones a más de 61 millones de unidades. Durante el mismo período, el número de viviendas de madera permaneció prácticamente constante, alrededor de 4,1 millones [2]. Lo que puede indicar que, durante este período el número de viviendas de madera construidas fue equivalente al de aquellas que llegaron al final de su vida útil (Gráf. 2. 1).

En consecuencia, el porcentaje de viviendas de madera respecto al total de viviendas brasileñas decreció sensiblemente de un 20,2%, en 1970, a un 6,8%, en 2011 (Gráf. 2. 2). Aunque con este dato se revele el número de viviendas, no es posible obtener más conclusiones al respecto de la evolución de la construcción durante este periodo. La caída porcentual no fue exclusiva de la madera, pero sí de las técnicas que utilizan tierra (tapia), paja y otros materiales diversos. Casi todo el incremento de unidades habitacionales en el parque de viviendas en Brasil fue reemplazado por la albañilería (Gráf. 2. 1, Gráf. 2. 2).



Legenda de los códigos: A-albañilería, T-tapia, P-paja, O-otros, M-madera.

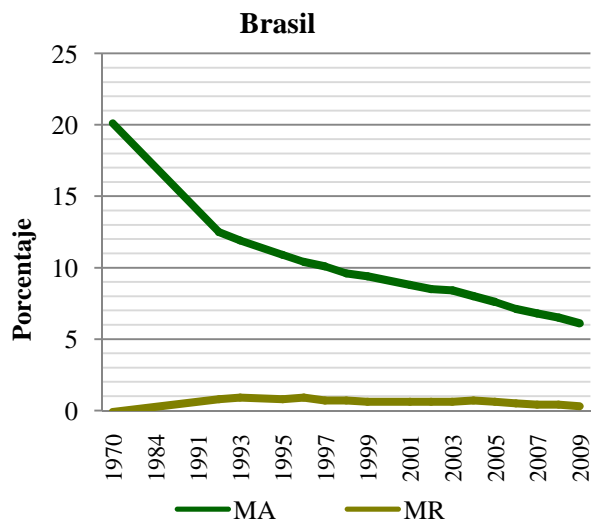
**Gráf. 2. 1 - Unidades de domicilios particulares permanentes en Brasil, clasificados según el material predominante en las paredes externas del edificio**

**Gráf. 2. 2 - Porcentaje de domicilios particulares permanentes de Brasil, clasificados según el material predominante en las paredes externas del edificio**

La reducción de viviendas de madera también se produjo en los poblados chabolistas (Gráf. 2. 3). En la ciudad de São Paulo, el número de viviendas de albañilería creció del 1,3%, en 1973, al 74,2%, en 1993 [57], con lo que no es un hecho puntual. Con el tiempo las viviendas de madera suelen sustituirse por albañilería [54], aparentemente motivadas por mejoras urbanas y

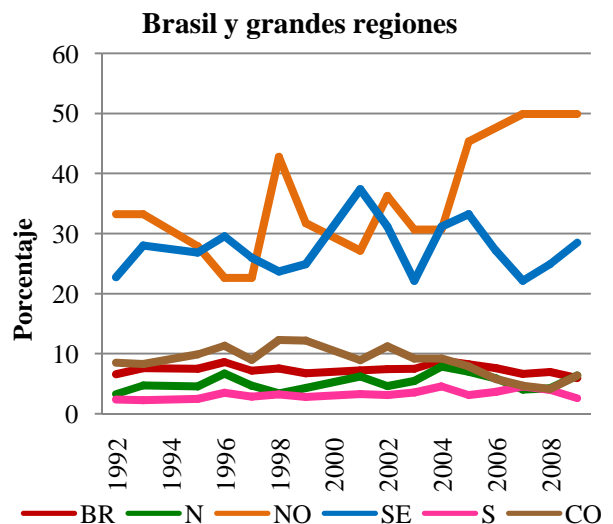
con el objeto de garantizar la propiedad permanente [56]. Las construcciones de madera parecen implicar un carácter provisional, no solo en los pueblos chabolistas, sino en localidades donde la madera se utilizó como material accesible para la edificación o como primer abrigo temporal [29][30][36]. En el sudeste y nordeste de Brasil, el 28% y el 35%, respectivamente, de las viviendas de madera (2011) se construían con materiales reutilizados (Gráf. 2. 4), lo que genera en las personas del lugar una experiencia negativa con relación al uso de la madera para la edificación de viviendas. Sobre todo, los datos confirman que en estos cuarenta años, los brasileños prefieren viviendas de albañilería.

En la región norte (Amazonia) y en el sur, donde el parque de viviendas de madera es expresivo, el porcentaje de estas viviendas decreció de forma constante entre 1992 y 2011, del 47,5% al 34,3%, en el norte, y del 48,9% al 23,1%, en el sur (Gráf. 2. 5). Durante muchos años, la madera fue el principal material de construcción en la región amazónica, por ser de rápido y fácil acceso. La falta de industrias de materiales y unas vías de comunicación precarias hacían que la utilización de otros materiales constituyentes de la tradicional técnica de albañilería fuera de difícil acceso y limitada. En el sur, la arquitectura en madera se expandió a regiones donde existía la floresta Araucaria [58], donde la *Araucaria angustifolia* y otras especies nativas eran abundantes y baratas. Sumándose a esto, hubo un incremento de viviendas de madera se dio como consecuencia de la llegada de inmigrantes europeos de países tradicionalmente madereros [20]. Por lo tanto, construir con madera era la opción más conveniente.



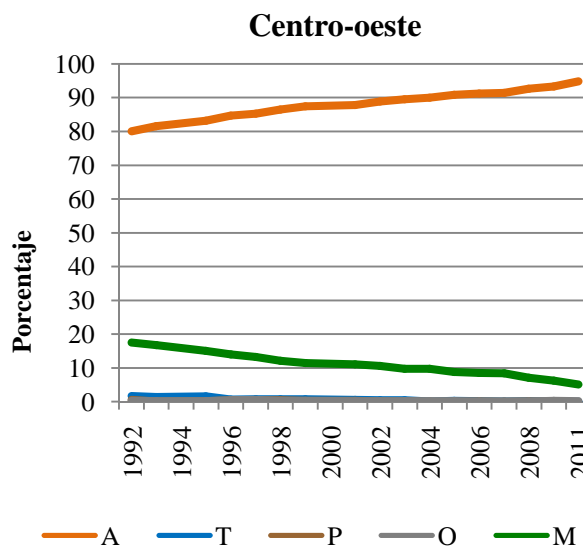
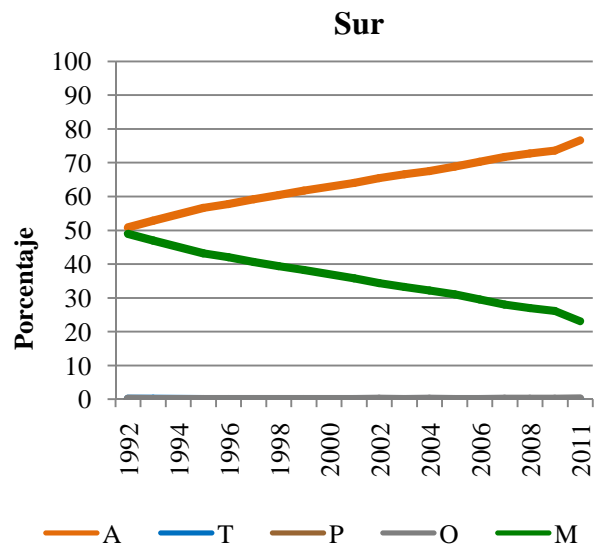
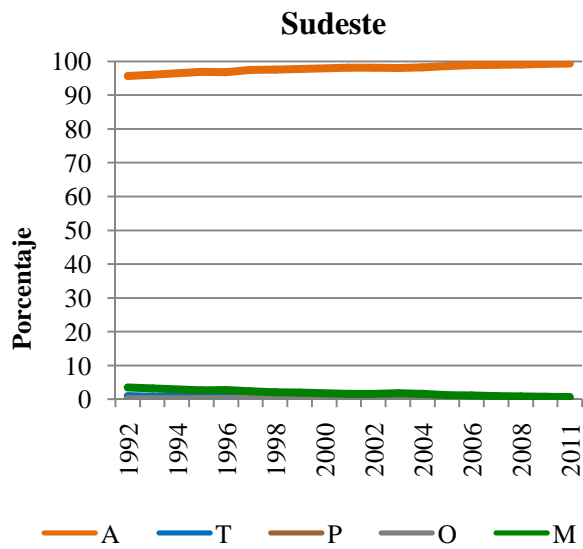
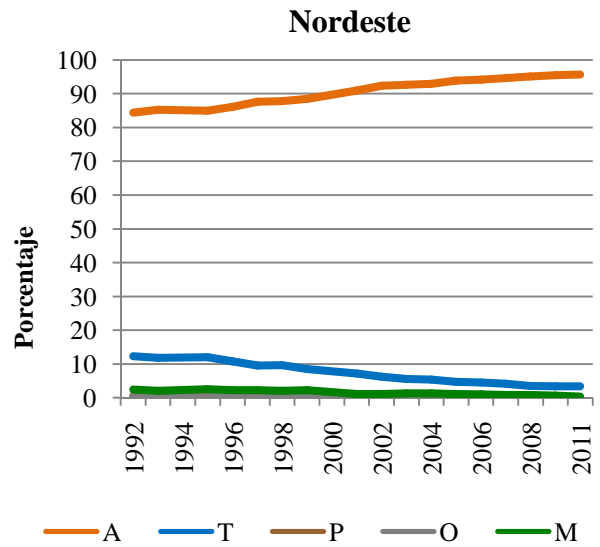
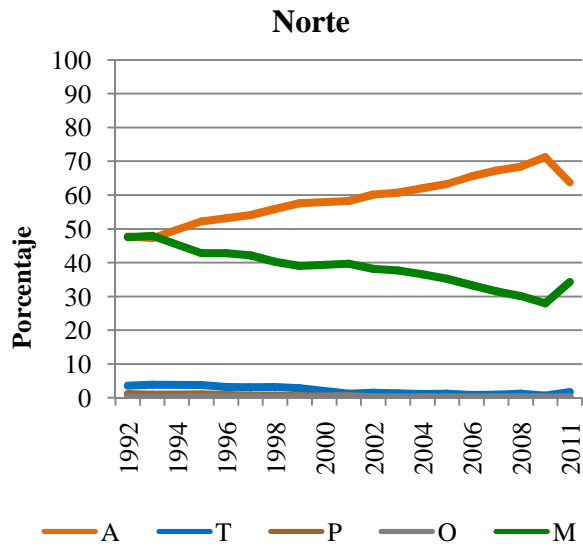
Leyenda: MA- madera aplanaada, MR-madera reutilizada

**Gráf. 2. 3 - Porcentaje domicilios particulares permanentes (DPP) con pared en madera respecto al total de DPP de Brasil**



Leyenda: BR – Brasil, N – norte, NO – nordeste, SE – sureste, S – sur, CO – centro-oeste

**Gráf. 2. 4 - Porcentaje domicilios particulares permanentes (DPP) con pared en madera reutilizada respecto al total de DPP de madera (reutilizada + aplanaada), por grandes regiones y Brasi**



Legenda: A-albañilería, T-tapia, P-paja, O-otros, M-madera

**Gráf. 2. 5 - Porcentaje de domicilios particulares permanentes, por grandes regiones, clasificados según el material predominante en las paredes externas**

Tanto en estas regiones como en las demás, no se puede precisar exactamente el momento en que las viviendas de madera empezaron a disminuir porcentualmente en el parque de viviendas brasileño. Sin embargo, algunas posibles explicaciones de este hecho son la escasez de madera nativa debido a la deforestación casi que total de la floresta Atlántica (y Araucaria) [59][20], el concepto popular que vincula las viviendas de madera a construcciones pobres y provisionales o de personas con poco poder adquisitivo [29] (que puede haberse generado por el bajo precio de estas prácticas en las épocas de abundancia [16] o por las chabolas construidas en un primer momento en lugares desfavorables [60]), la implementación de la arquitectura modernista que provocó un rechazo a otros tipos arquitectónicos y materiales, que generó la intención de algunas administraciones municipales de construir una imagen vanguardista, cuyo resultado fueron leyes que prohibieron las construcciones en madera en ciertas zonas de la ciudad [61][27], la seguridad habitacional [36], la durabilidad, unida a la necesidad de mantenimiento constante, el alto riesgo de incendio<sup>7</sup> y la susceptibilidad al ataque de insectos y hongos en la mayoría de las regiones del país.

El coste de mantenimiento puede influir a la hora de elegir otros materiales para la constitución de casa propia. Es el caso de la Vila dos Ferroviários en Rio Grande do Sul (Fig. 2. 23), compuesta por 164 casas de madera de las décadas de 1940 y 1950, inventariada por el EPAHC (Equipo del Patrimonio Histórico y Cultural, Porto Alegre/RS). Su valoración histórico-patrimonial no es suficiente para que los habitantes estén de acuerdo en su preservación, pues aspiran a tener nuevas viviendas (que no sean de madera). El caso lleva a un debate en el seno de los órganos responsables de la viabilidad de la preservación de viviendas populares de madera sin que haya partidas de presupuesto público para incentivarlo [31].

La FAO relaciona la intensidad del uso de la madera en construcción con hechos históricos y la disponibilidad de florestas en el país [8]. Esta premisa podría aplicarse mejor en países como Japón y Canadá, que conservan respectivamente el 45% y el 90% de su parque de viviendas de madera [8]. Sin embargo, se ha visto que en Brasil no es una deducción aplicable. Un porcentaje relativamente alto de viviendas de madera en el pasado (el 20,2%, en 1970) y una gran cantidad de madera nativa no fue suficiente para afectar el mercado de la vivienda en Brasil, cuya participación en el parque de viviendas es del 6,8% de viviendas de madera, en 2011 (Gráf. 2. 2).

---

<sup>7</sup> Resultados del estudio de mercado presentado en el capítulo 3.





**Fig. 2. 23 - Viviendas de madera de la Vila dos Ferrovários en la ciudad de Porto Alegre/RS, construidas en las décadas de 1940 y 1950**

Fuente de la ilustración:[51][31]

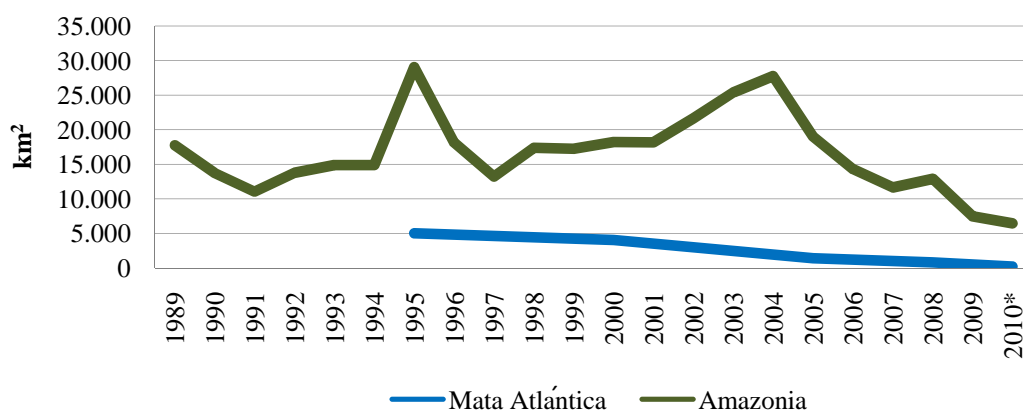
### **2.3.3 Posibles factores que influenciaron la dinámica del parque de viviendas**

Entre 1970 y 2010, la población de Brasil creció de 94 a 190 millones de habitantes [4]. El incremento demográfico provoca una ampliación de zonas urbanas e infraestructuras, cambios del uso del suelo, la expansión de las actividades del sector primario y un avance sobre las zonas de selva nativa.

La superficie de Mata Atlántica se ha reducido de forma constante desde el comienzo de la colonización (siglo XVI), debido a la fundación y crecimiento de las ciudades litorales (y sus actividades de soporte) que hoy ocupan casi la totalidad de la costa brasileña. De la superficie original queda aproximadamente entre el 5% y el 7% [17][62]. En el sur, el avance más tardío de la colonización, el sistema agropecuario y la exportación de madera, principalmente en periodos de guerras mundiales, consumieron casi la totalidad de la floresta Araucaria (parte integrante de la Mata Atlántica) [62]. Alrededor de 1940, ya se notaba la escasez de algunas especies nativas.

En la actualidad, el principal proveedor de madera nativa para el mercado interno es la Amazonia Legal (región norte). En los últimos años, se redujo la tasa de deforestación de la selva amazónica de alrededor de 28.000 km<sup>2</sup>/año, en 2004, a 7.000 km<sup>2</sup>/año, en 2009 [6]. La mayor parte de la deforestación no está incentivada por la extracción de troncos para el suministro de la madera aserrada para la construcción, sino por la apertura de espacios para la ganadería y la agricultura [63][64][65]. Una gran parte de la deforestación es ilegal y los datos sobre el tamaño real de las zonas afectadas no son fiables, aunque, teniendo en cuenta que solo el 22% de la destrucción de los bosques está precedido de la explotación selectiva forestal [63], se podría concluir que la demanda de madera probablemente lograría cubrirse con una mejor gestión de los bosques existentes.

Se recondujo la correlación ( $r^2$ ) entre la deforestación de la Amazonia Legal y la Mata Atlántica con la evolución del porcentaje de casas de madera que alcanzó un índice mayor que 0,9 (de media). Por entender que la deforestación no está relacionada directamente al suministro de madera para la construcción, sino a otras actividades, se descartó este análisis cuantitativo, con el fin de que no prosperaran interpretaciones precipitadas que podrían sugerir que la población brasileña ha dejado de construir con madera como reacción a la deforestación. El estudio cualitativo de estos factores indica que el aumento de la fiscalización y las largas distancias de transporte desde la Amazonia [66] hasta los mercados consumidores internos implican un incremento de los costes de la madera, que junto con la reducción de oferta local (excepto en la región norte) fueron en parte responsables de la disminución de la parte de viviendas de madera en el parque habitacional brasileño.



\* Datos del año 2010 estimados para la Amazonia

**Gráf. 2. 6 - Deforestación anual de la Amazonia y la Mata Atlántica**

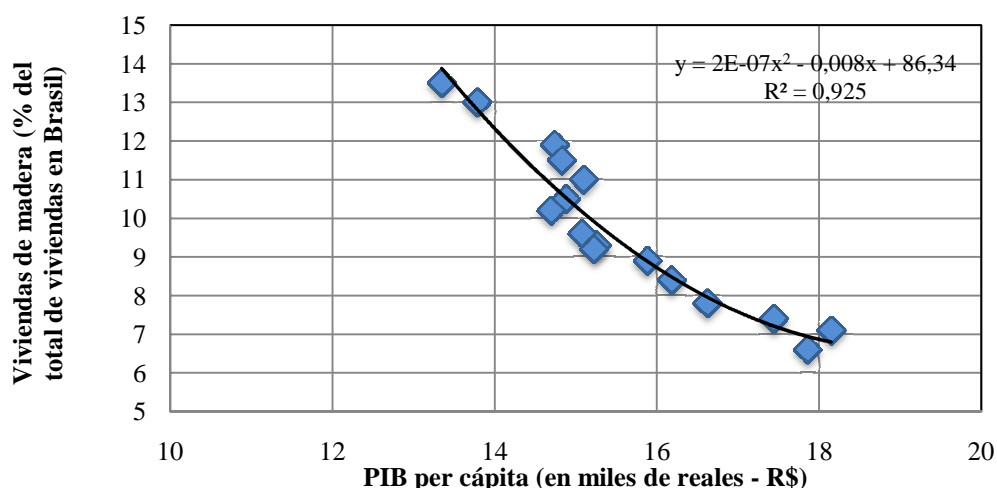
Fuente de la información: [6][7]

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico son algunos de los elementos fundamentales que orientan la dinámica de la construcción [8]. Es perceptible que en Brasil las viviendas de albañilería suelen aparentar un cierto prestigio, mientras que las viviendas construidas con tierra o madera proyectan la imagen de que los propietarios pertenecen a un grupo socioeconómico bajo. Esto se puede observar en la Fig. 2. 24, donde los propietarios utilizan una fachada de albañilería para encubrir el cuerpo de la casa de madera, creyendo que así están aportando algún valor a su inmueble. De forma coherente, se encontró una fuerte correlación entre el PIB per cápita y el porcentaje de viviendas de madera en el parque habitacional brasileño (Gráf. 2. 7).



**Fig. 2. 24 - Viviendas de madera con fachada en albañilería en Londrina/PR**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



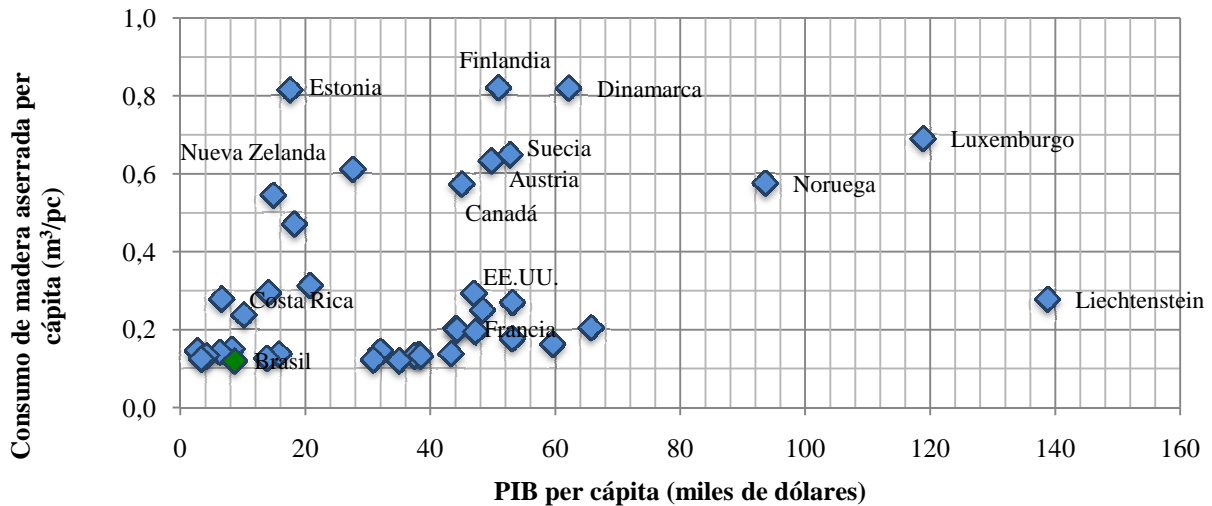
**Gráf. 2. 7 - Correlación del Producto Interior Bruto (PIB) per cápita y el porcentaje de viviendas de madera en el total de las viviendas brasileñas**

Fuentes de la información: [8][67]

Sin embargo, esto parece ser más una regla cultural local que internacional ya que países como Estados Unidos, donde el 90% de las viviendas son en madera, presenta un alto PIB per cápita. Es evidente que el PIB per cápita tiene poca, o ninguna, correlación con el consumo de madera por habitante. Noruega y Australia, por ejemplo, consumen, respectivamente,  $0,58 \text{ m}^3$  y  $0,25 \text{ m}^3$  de madera aserrada per cápita, mientras que Brasil consume  $0,12 \text{ m}^3/\text{pc}^8$  (teniendo en cuenta la misma referencia [8] y el año 2008) (Gráf. 2. 8).

Por otra parte, algunos países que sobresalen en el uso de la madera aserrada por habitante (Finlandia, Dinamarca, Suecia, Austria, Nueva Zelanda, Noruega, Canadá, EE. UU.), además de poseer un alto PIB, se caracterizan por su clima frío, donde es difícil mantener la agricultura y algunas veces casi imposible. En estos lugares hay bosques boreales o templados [68], que se encuentran a más de  $30^\circ$  de latitud. En estos casos, la degradación de la madera por hongos, bacterias e insectos [35] son problemas menores en comparación con países tropicales, lo que permite que la madera sea un material con una buena longevidad. De los veinte países con mayor consumo de madera aserrada por habitante, solo dos, Montserrat y Costa Rica, tienen bosques tropicales [8][68] (Gráf. 2. 8, Gráf. 2. 9).

<sup>8</sup> Datos de los países en el anexo de este capítulo.



**Gráf. 2. 8 - Correlación entre el consumo de madera aserrada per cápita y el Producto Interior Bruto (PIB) per cápita, de los 52 países con mayor consumo de madera aserrada per cápita, en 2008 (Brasil ocupa el puesto 52).**

Fuente de la información:[8]

El índice climático de Scheffer (que indica el riesgo de deterioro de la madera sobre el suelo expuesta a la intemperie) señalado para Brasil demuestra la alta susceptibilidad de degradación de este material en las regiones analizadas (Fig. 2. 25). Los valores van desde 81 a 305, mucho más altos que en Europa (de 10 a 80) [69] o en América del Norte (de 10 a 150) (Tab. 2. 1) [70][71]. Cuanto más alto es el índice, mayor es la susceptibilidad de la madera a descomponerse. En Hilo (Hawái), este índice varía entre 300 y 330 [72][73]. El deterioro se ve facilitado por condiciones climatológicas favorables al desarrollo de hongos (o plantas en general), entre 10°C y 35°C, y donde la madera se encuentre por encima del punto de saturación de la fibra (aproximadamente el 30%) [74]. En Brasil, la temperatura media compensada varía de 16°C a 30°C y la humedad relativa del aire compensada, del 55% a más del 95% (normales climatológicas desde 1961 hasta 1990) [75], condiciones climáticas que favorecen la reducción del período de vida de la madera en estado natural.

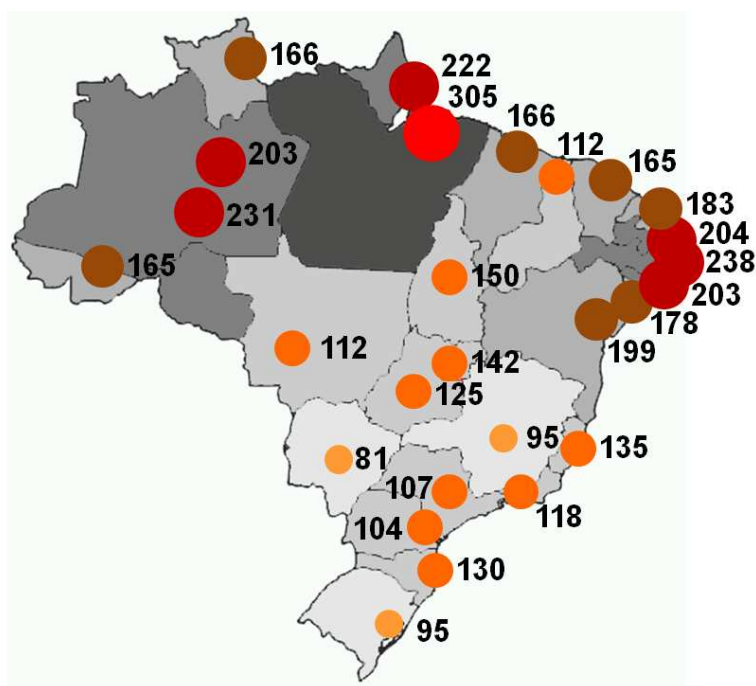


Fig. 2. 25 - Mapa del grado de riesgo de deterioro de la madera para las capitales brasileñas basado en el índice de clima de Scheffer (2000-2011)

Tab. 2. 1 - Índice del Clima de Scheffer de algunos de los principales países importadores [12][76] de la madera de Brasil (2010/2011)

País	Índice Climático de Scheffer	Ref.
Estados Unidos	10 - 150	[70]
Francia	~50 - 80	[69]
China (Beijing, Shanghái, Guangzhou)	~35, 68, 131 (respectivamente)	[72]
Holanda (Ámsterdam)	~65	[73]
Bélgica (Bruselas)	~80	[73]
Portugal	~40 - 60	[73][69]
Reino Unido	~50 - 70	[69]
España	~30 - 60	[69][73]
Alemania	~50 - 60	[69][73]
Italia	~30 - 50	[69][73]

A pesar de presentar, de manera general, un ambiente no propicio para la durabilidad, el tratamiento químico de la madera en Brasil no es muy común. Tan solo un 3% de la madera plantada que se consume<sup>9</sup> en el país recibe tratamiento para su conservación [76][77], de ella entre el 5% y el 10% se destina a la construcción civil [78][79]. El 50% de las empresas de viviendas prefabricadas de madera no suelen utilizar madera químicamente tratada<sup>10</sup>. Gran parte de la madera se conserva con CCA (cobre, cromo y arsénico) [80], cuyo uso en muchos países de Europa y América del Norte [81][82] está regulado o prohibido, por su potencial contaminación del agua y suelos, así como porque perjudica la salud de la población que se encuentra en

<sup>9</sup> Excluyendo la madera plantada para papel, celulosa, carbón y leña.

<sup>10</sup> Resultados presentados en el capítulo 4.

contacto constante con el producto. El tratamiento químico, a pesar de prolongar la vida útil del producto, presenta algunos riesgos, como la contaminación por su toxicidad, el aumento del coste del producto y la disminución de las posibilidades de reciclaje<sup>11</sup>.

Otras herramientas para incrementar la vida útil de la madera son la protección física del material contra la intemperie y las termitas, la resolución técnica óptima para los puntos débiles de la edificación de madera (como intersecciones de las piezas, contacto con el suelo y otros materiales), el control y la comprobación del contenido de humedad y de la especie cuando se recibe la madera en la obra y, por último, la correcta elección de la madera según el tipo de uso. Muchos de estos factores pueden resolverse en la fase de proyecto. Sin embargo, no deja de ser un agravante en un escenario donde el 77% de las viviendas las construyen los propietarios [83] y donde las facultades de Ingeniería y Arquitectura se centran en la tecnología relativa al hormigón armado.

Las normativas de por sí no son suficientes para garantizar la buena calidad y durabilidad de la construcción en madera en Brasil. La gran cantidad de especies nativas dificulta la selección de la madera. La Guariúba (*Clarisia racemosa Ruiz & Pav*), por ejemplo, es adecuada para construcción ligera y de interior, mientras que la Abiu (*Pouteria guianensis Aubl*) se recomienda para la construcción pesada (traviesas, postes) [84]. Su clasificación por grupos según características comunes, usos o resistencia, facilita las decisiones del proyecto, aunque otros factores condicionen el desempeño. Es difícil identificar la especie, especialmente al final de la cadena (por ejemplo, la obra). El análisis puramente visual algunas veces no es suficiente y depende de la capacitación del agente que recibe el material. El apoyo de equipos ayuda en el proceso, pero no es común en a pie de obra.

No hay datos disponibles oficiales sobre las zonas con riesgo de ataque de termitas (como en EE. UU. [85]), esto hace que el análisis sobre el grado de exposición y medidas preventivas dependa de la experiencia de los profesionales.

El control del contenido de humedad de la madera es más frecuente en especies plantadas (blandas), que se secan en estufa. En cambio, esta práctica no suele ser común en caso de maderas nativas (duras), que por lo general se secan al aire libre en el patio del aserradero [86] o durante el trayecto entre este y el mercado consumidor (cerca de 2000 km de distancia [66]). La verificación de la humedad normalmente se hace con un medidor eléctrico y depende de la calibración del equipo, posición correcta de los electrodos y lectura en función de la escala

---

<sup>11</sup> El tema de los conservantes de madera se tratará con más profundidad en el capítulo 5.

empleada, que varía según el tipo de madera [86]. La falta de control del contenido de humedad compromete la calidad y facilita patologías.

Un estudio del IBGE (2009) [87] reflejó, mediante los datos declarados por los encuestados, la existencia de humedad en la cimentación, suelo o paredes de viviendas. En el 24% de las viviendas de madera se declaró que existía esta patología en alguna parte de la casa, mientras que en las construidas con madera reutilizada el porcentaje fue del 51% y en las de madera aplanada fue del 26%. En las viviendas de albañilería este valor fue del 30% (Tab. 2. 2).

**Tab. 2. 2 - Presencia de humedad en partes de la vivienda, por tipo de material predominante en las paredes. Datos de 2009 del IBGE, para Brasil.**

Material de las paredes externas	Presencia de humedad en la cimentación, paredes o suelo	Número de viviendas	Porcentaje por tipo de material
Albañilería	Sí	15.489.193	30%
Albañilería	No	35.666.394	69%
Albañilería	Sin respuesta	857.949	2%
Madera p/ construcción	Sí	1.138.470	26%
Madera p/ construcción	No	3.094.134	72%
Madera p/ construcción	Sin respuesta	64.832	2%
Tapia no revestida	Sí	520.767	62%
Tapia no revestida	No	315.593	38%
Tapia no revestida	Sin respuesta	4.732	1%
Madera aprovechada	Sí	235.713	51%
Madera aprovechada	No	218.696	47%
Madera aprovechada	Sin respuesta	8.722	2%
Paja	Sí	12.237	43%
Paja	No	16.285	57%
Otro material	Sí	67.349	39%
Otro material	No	105.480	61%
Otro material	Sin respuesta	58	0%

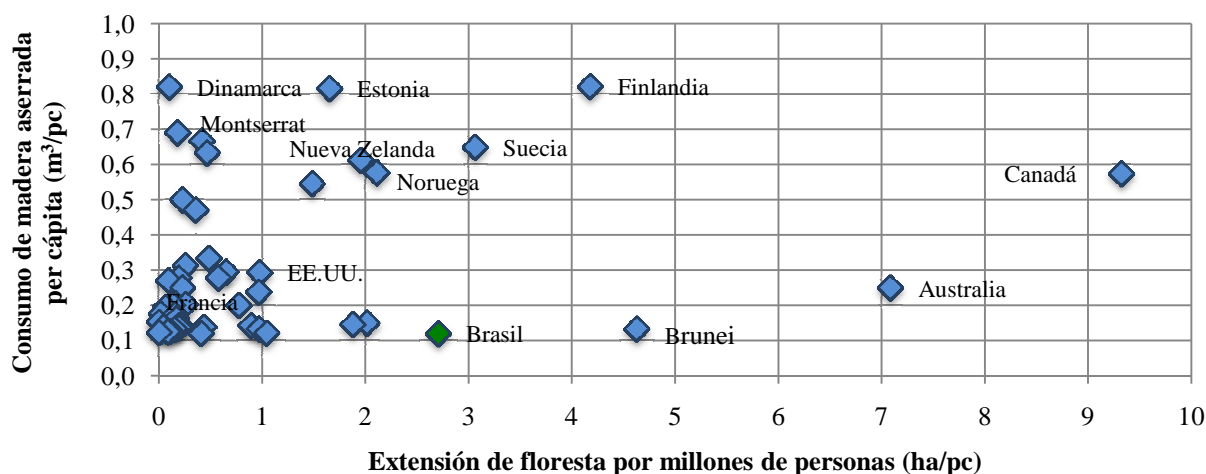
La madera aserrada tampoco tuvo correlación con la superficie de floresta por persona. Dinamarca y Finlandia, que son los mayores consumidores de madera aserrada (0,82 m<sup>3</sup>/pc), tienen solamente 0,1 he/pc y la mayor parte de la madera es importada. Francia y EE. UU., que utilizan más madera aserrada per cápita que Brasil, también presentan menos superficie de floresta por persona: 257 he/pc, 975 he/pc y 2706he/pc<sup>12</sup>, respectivamente [8]. En 2009, importaron el 15,6% y el 24,1%, respectivamente, de la madera producida en la Amazonia Legal [12]. Países con superficies forestales por persona similares, tienen diferentes niveles de uso para la madera aserrada, como Estonia, Venezuela y Sudán, que poseen alrededor de 1.600 he/pc y

<sup>12</sup> Datos de los países en el anexo de este capítulo.



consumen, respectivamente 0,82 m<sup>3</sup>/pc, 0,04 m<sup>3</sup>/pc y 0,003 m<sup>3</sup>/pc<sup>13</sup> de madera aserrada [8] (Gráf. 2. 9). Lo que indica que solamente la existencia de proveedores de materias primas no hace que se haya un mayor uso constructivo de la madera en un país.

Según la FAO, los países menos desarrollados suelen utilizar la madera más para fines energéticos que constructivos [8]. En América del Norte (2008), del 85% al 90% de la madera extraída se destinó a la industria, mientras que en América del Sur, este valor fue del 50%, y en África, del 10% [8]. En Brasil, entre 2008 y 2009, el destino del 38% al 45% de la madera fue para fines energéticos [8][12][88]. De la madera destinada a la construcción<sup>14</sup>, aproximadamente, el 28% se utiliza en encofrados (2001) [89], lo que demuestra que buena parte de la madera está siendo utilizada para fines de corto ciclo de vida, lo que no incrementa las reservas totales de carbono del país.



**Gráf. 2. 9 - Correlación entre el consumo de madera aserrada per cápita y la extensión de floresta per cápita de los 52 países con mayor consumo de madera aserrada per cápita, en 2008 (Brasil ocupa el puesto 52).**

Fuente de la información:[8]

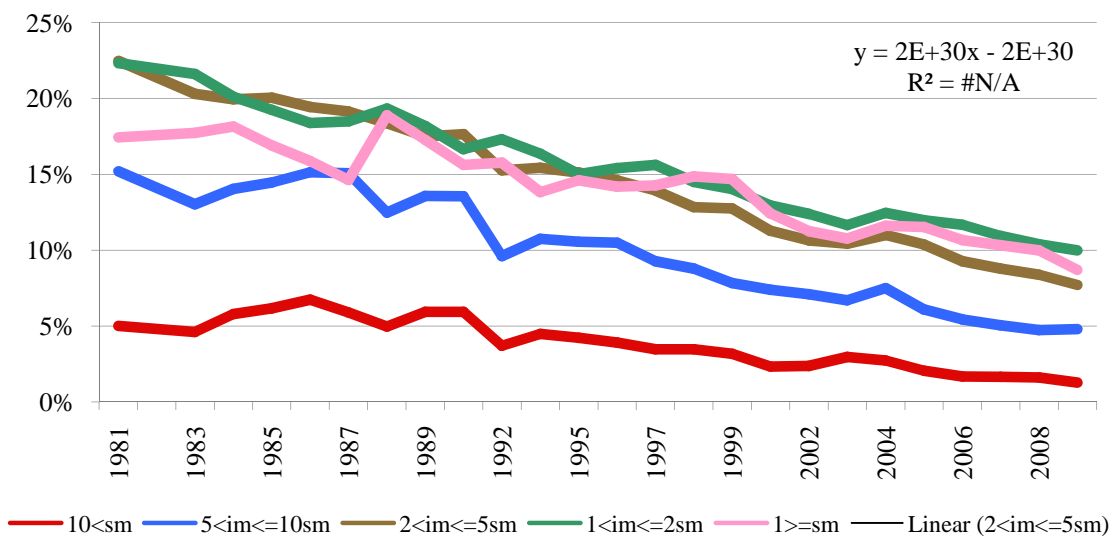
Otra hipótesis considerada fue la interferencia de los ingresos mensuales familiares en la elección del material utilizado para el cierre de la vivienda. Datos del BME revelaron que familias cuyos ingresos eran inferiores a cinco salarios mínimos tenían casi siete veces más de probabilidad de vivir en una casa de madera que familias cuyos ingresos mensuales eran de diez salarios mínimos o más. En 2009, casi todas las familias (el 99%) con altos ingresos vivían en casas de albañilería, un 4% más que en 1983. Por otro lado, en 2009, el 88% de las familias con bajos ingresos (menos de dos salarios mínimos mensuales) vivían en casas de albañilería,

<sup>13</sup> Datos de los países en el anexo de este capítulo.

<sup>14</sup> Madera de la Amazonia que se destinada al estado de São Paulo para casas prefabricadas, pisos, ventanas, puertas, falsos techos, muebles, estructura de tejados y encofrados para hormigón armado.

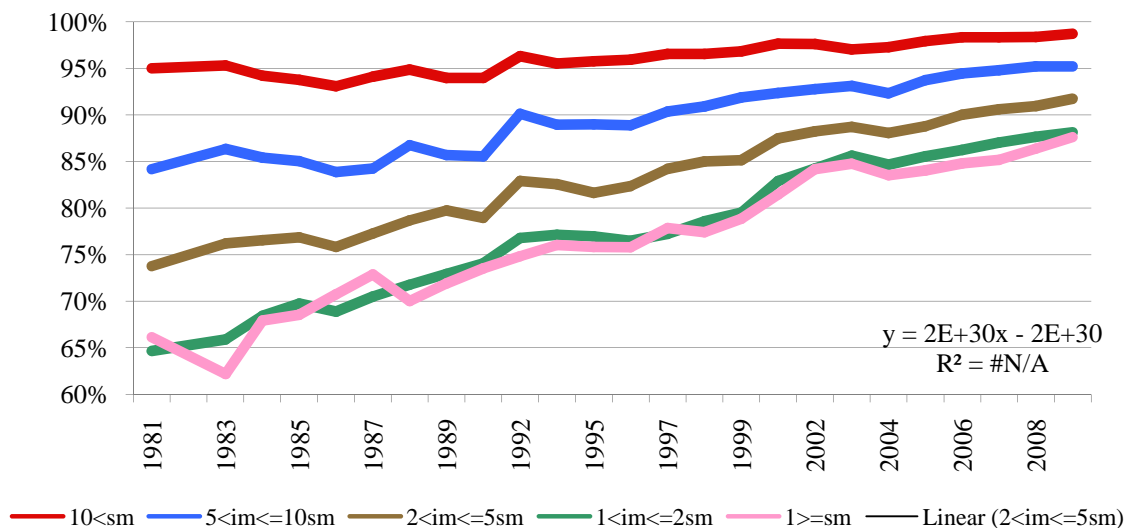
mientras que en 1983 eran el 64%. Está claro que las viviendas de madera son de hecho más populares y accesibles entre las familias de bajo poder adquisitivo. También, son cada vez menos notorias entre las familias cuyo nivel de ingreso es más alto (Gráf. 2. 10, Gráf. 2. 11).

Aunque las cinco regiones presenten diferentes escenarios de uso de materiales para la construcción de viviendas, la tendencia es la misma. En el sudeste, la aplicación de albañilería se acerca al 100% en todos los rangos de ingresos, la madera todavía ocupa una pequeña cuota y, en cuanto otras técnicas, estas son casi inexistentes. En nordeste, la tapia es la segunda técnica más utilizada, mientras que en las otras regiones es la madera (Gráf. 2. 12, Gráf. 2. 13).



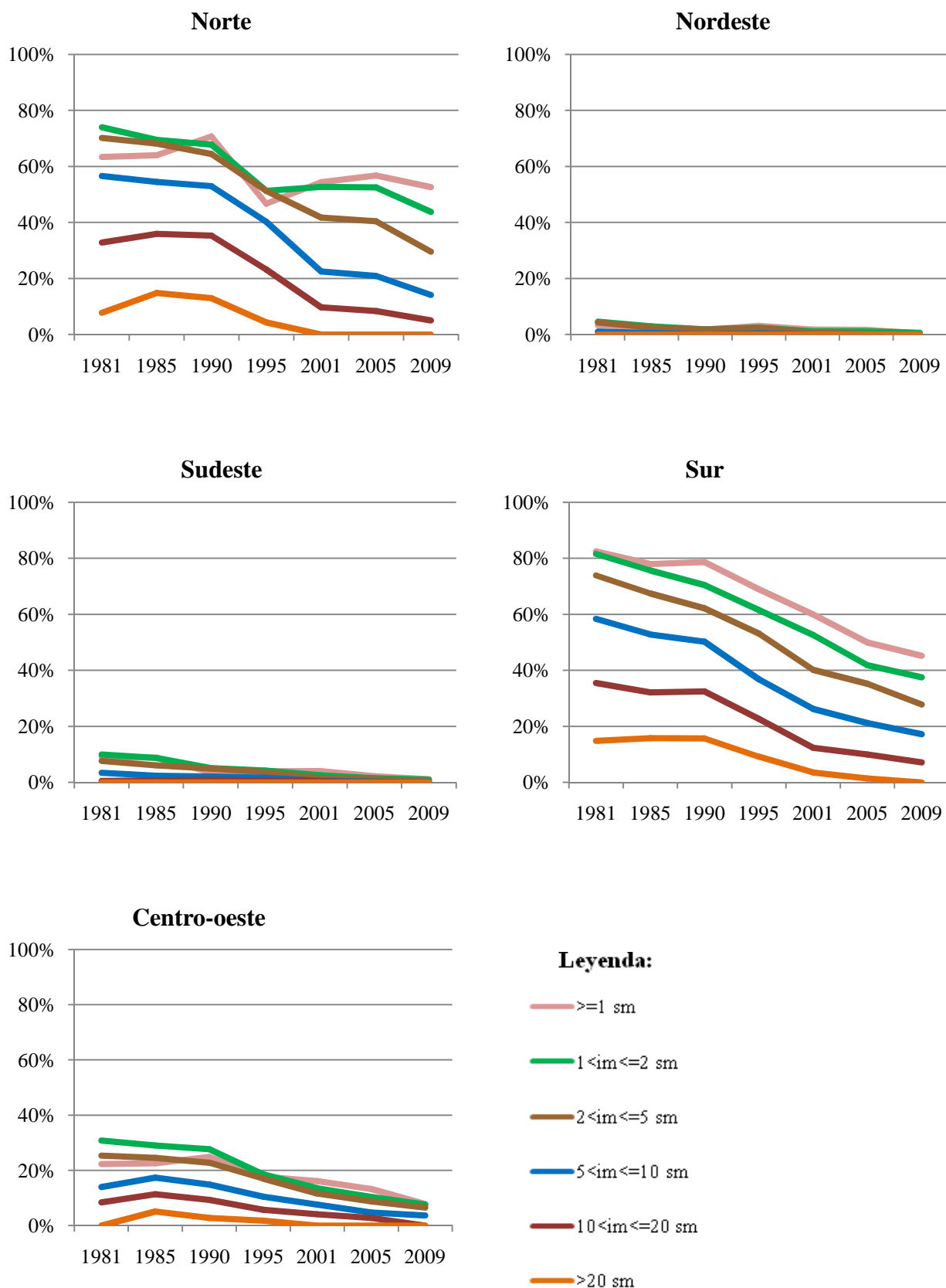
Leyenda de los códigos: sm-salario mínimo, im-ingresos mensuales

**Gráf. 2. 10 - Porcentaje de viviendas de madera según el nivel de ingresos familiares mensuales**



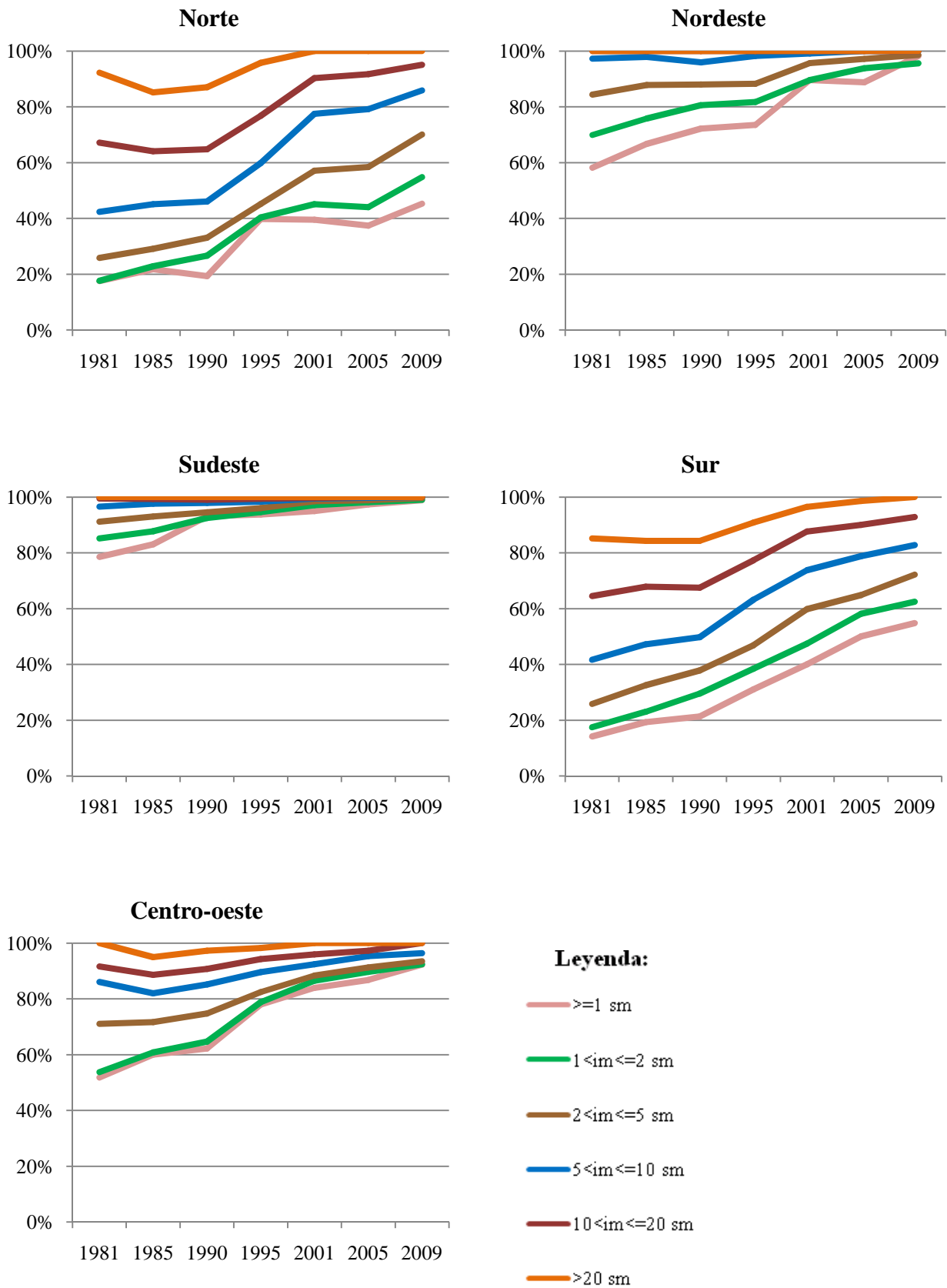
Leyenda de los códigos: sm-salario mínimo, im-ingresos mensuales

**Gráf. 2. 11 - Porcentaje de viviendas en albañilería según el nivel de ingresos familiares mensuales**



Leyenda: sm-salario mínimo, im-ingreso mensual.

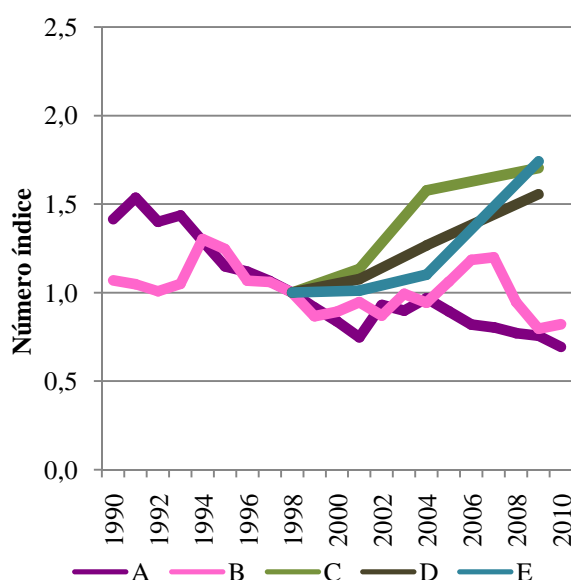
Gráf. 2. 12 - Porcentaje de viviendas de madera según ingresos familiares mensuales y regiones de Brasil



Leyenda de los códigos: sm-salario mínimo, im-ingreso mensual.

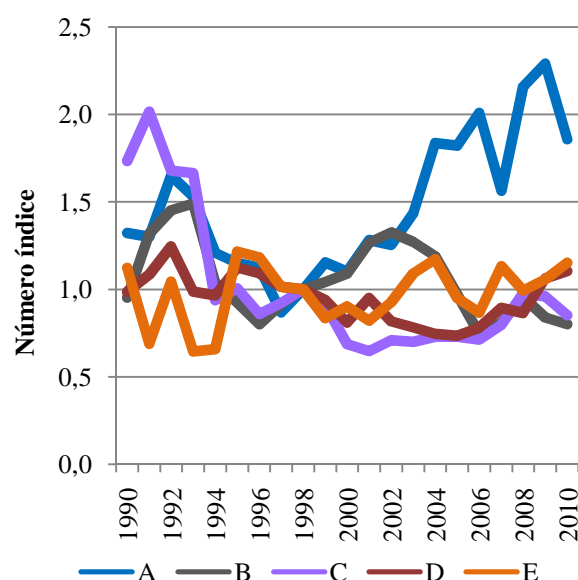
**Gráf. 2. 13 - Porcentaje de viviendas en albañilería según el nivel de ingresos familiares mensuales y regiones de Brasil**

El precio de los materiales también puede haber influido en los cambios producidos en el escenario de la construcción de viviendas. Desde 1990 hasta 2009, los materiales que sufrieron aumento de precio fueron el acero y la madera aplanada de especies nativas. Este último es el material principal para la construcción de viviendas de madera. Sin embargo, la mayoría de los materiales que constituyen las viviendas de albañilería (que tienen estructura y cimentación en hormigón armado) se abarataron (la madera contrachapada para los moldes de hormigón, el cemento y bloques de hormigón) o se mantuvieron prácticamente constantes (ladrillos cerámicos) (Gráf. 2. 14, Gráf. 2. 15). Esto podría explicar, en parte, el aumento del porcentaje de viviendas de albañilería en el total de viviendas en Brasil, ya que el precio parece motivar la elección de los materiales de construcción [37].



Leyenda: A-contrachapado para formas de hormigón 1,0 cm esp., 1,10 x 2,20m (tablero); B-tabla de madera tercera calidad, para formas, 2,5 x 30,0cm (m); C-madera nativa aserrada de alto valor; D-madera nativa aserrada de valor mediano; E-madera nativa aserrada de bajo valor.

Gráf. 2. 14 - Evolución de los precios de los productos de madera



Leyenda: A-barra de acero, C.A. 50, 5/8 (kg); B-cemento Portland común (bolsa); C-bloque de hormigón, 10 x 20 x 40 cm (mil); D-ladrillo cerámico hueco, 10 x 20 x 20 cm (mil); E-ladrillo cerámico macizo, 5,5 x 10,5 x 22,0 cm (mil).

Gráf. 2. 15 - Evolución del precio de los productos de construcción

## 2.4 Discusión

Las viviendas de madera han sido una opción rápida y accesible de provisión habitacional en Brasil. En un primer momento, los inmigrantes y migrantes que se introdujeron en regiones de floresta no tenían mucha más elección que la madera para construir sus viviendas. Después, la madera (incluyendo su reutilización) se convirtió en el material más popular para las construcciones de la población con pocos ingresos. En ambas situaciones, ni el confort, ni la

durabilidad ni la estética (con algunas excepciones) eran el objetivo principal. En este mercado, una solución sencilla de entramado estructural de madera y cierre de tablas, parecía una respuesta rápida y natural a la necesidad existente de vivienda. De esta manera, las soluciones de bajo coste para la vivienda están en su mayoría asociadas a la imagen de una casa de madera, aunque el precio de la madera nativa haya subido en los últimos años.

La reutilización de madera (generalmente contrachapados) para la construcción de viviendas en pueblos chabolistas y los constantes incendios que se producen en ellos (en la ciudad de São Paulo<sup>15</sup>, entre 2008 y 2012 [90][91], hubo entre 530 y 540 incendios) forman un retrato desvirtuado de la vivienda de madera que está unido a la idea de inseguridad. Esta idea es más frecuente entre grupos de bajo poder adquisitivo<sup>16</sup>.

La deforestación y el alto grado de ilegalidad también contribuyen a empeorar la imagen del sector maderero. Debido al bajo grado de atención, nacional e internacional, que recibe la selva amazónica, la población en general acaba conociendo más estos temas que otros como los impactos ambientales, los problemas laborales, el retraso técnico y el alto grado de ilegalidad de la industria de la “cerámica roja” [93][94][95] (bloque cerámico, ladrillo, teja, etc.) que es uno de los materiales más utilizados en la construcción en Brasil [93]. Además, la producción de cerámica roja utiliza la madera nativa como principal fuente de energía para los hornos [93].

Otro agravante es la durabilidad. Las viviendas de madera aserrada, en su mayoría, se construyen con especies nativas sin ningún tipo de tratamiento de preservación (antihongos o insectos). Aunque en países con clima caliente y húmedo, estas especies tropicales de alta densidad y valor de mercado sean menos susceptibles a estos problemas, esto no significa que estén exentas de ellos. Además, en Brasil, no es obligatorio equipar las viviendas con detectores de humo y extintores de incendios. Teniendo en cuenta que la mayor parte de las personas está preocupada con la durabilidad y seguridad de su hogar [54], estas limitaciones no promueven que se opte por la madera.

El grado de desarrollo tecnológico no ha añadido valor a las construcciones de madera. En Brasil, las viviendas vernáculas se construyen de la misma forma que hace cien años, además, ingenieros y arquitectos no están preparados para trabajar con madera, ya que facultades se

---

<sup>15</sup> En la ciudad de São Paulo se sospecha que los incendios pueden haber sido motivados por intereses inmobiliarios en zonas de mayor valorización de mercado [90][91][92].

<sup>16</sup> Este tema se trata con más profundidad en el capítulo 3.

centran en construcciones de hormigón armado, bajo la residual y resistente influencia de la arquitectura modernista o del estilo internacional<sup>17</sup>.

Aunque existan iniciativas científicas nacionales que incentiven el uso de la madera como material de construcción a largo plazo, su promoción debe considerar la capacidad de suministro, el aumento de la legalidad, el manejo sostenible o plantaciones, el desarrollo tecnológico que incluya mejoras en la durabilidad, mantenimiento, confort térmico y seguridad, la formación de recursos humanos y los incentivos para reducir el coste de la solución durante su ciclo de vida. Estos factores no pueden orientarse sin políticas públicas ni la asociación público-privada.

## 2.5 Conclusiones del capítulo

Las principales conclusiones de este capítulo son:

- A pesar de contar con una de las mayores reservas de madera nativa del mundo, la proporción de viviendas de madera en el parque habitacional brasileño ha disminuido de forma constante durante los últimos cuarenta años, pasando del 20,2% al 6,8%. Incluso el número de viviendas de madera en los barrios pobres parece ser cada vez menor. El número de domicilios de madera sigue siendo el mismo y casi todo el crecimiento se ha producido en la albañilería.
- La preferencia por viviendas de madera ha disminuido en todos los rangos de ingresos familiares. Se ha encontrado una fuerte correlación entre la disminución del parque de viviendas de madera y el crecimiento del PIB, lo que podría sugerir que poseer una vivienda de madera en Brasil está, en parte, relacionado al poder adquisitivo de la población.
- La disminución del parque de viviendas de madera también puede estar relacionada al precio de los materiales. En los últimos doce años, el coste de la madera nativa aplanada no ha dejado de incrementarse, mientras que la mayoría de los materiales utilizados en las construcciones convencionales de albañilería (cemento, bloque de hormigón y contrachapados para formas de hormigón armado) disminuyeron o se mantuvieron constantes (ladrillos cerámicos).

---

<sup>17</sup> Con "estilo internacional" se refiere a la aplicación más rígida de los métodos racionalistas y de simplificación de la forma. No considera características locales o culturales, por lo que no tiene fronteras [96].

- La opinión pública general sobre la durabilidad, el mantenimiento y la seguridad son factores que pueden influir en la decisión de usar la madera para la construcción del hogar.
- En un país donde existe una dificultad natural para el aumento de la vida útil de la madera, el incremento en la producción de vivienda de madera exigirá desarrollo tecnológico, formación de profesionales técnicos y mano de obra especializada, además de mejorar el confort y la seguridad, reducir los costes e incentivos financieros promovidos por políticas públicas y la asociación público-privada.

## 2.6 Referencias (capítulo 2)

- [1] IBGE, “Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio.” 2006.
- [2] IBGE, “PNAD - Pesquisa Nacional por amostras de Domicílios.”, 2013. [Online]. Disponible en: <http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/default.asp>. [Consultado: 15-set-2010].
- [3] IBGE, “Estatísticas do século XX. Estatísticas populacionais, sociais, políticas e culturais. Habitação e Infra-estrutura. Prédios, por tipo de material da cobertura, segundo a situação do domicílio e o material das paredes e do piso — 1970.”, 2011. [Online]. Disponible en: [http://www.ibge.gov.br/seculoxx/arquivos\\_xls/habitacao\\_infra.shtm](http://www.ibge.gov.br/seculoxx/arquivos_xls/habitacao_infra.shtm). [Consultado: 06-jun-2011].
- [4] IBGE, “População nos censos demográficos por situação de domicílio.”, 2011. [Online]. Disponible en: IBGE. População nos censos demográficos por situação de domicílio. <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1288&z=t&o=25>. [Consultado: 05-jul-2011].
- [5] MMA, “Florestas do Brasil em Resumo 2010”, Ministério do Meio Ambiente - Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, 2010.
- [6] INPE, “PRODES - Taxas anuais de desmatamento Amazonia Legal entre 1988 e 2010.”, 2011. [Online]. Disponible en: [http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes\\_1988\\_2010.htm](http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2010.htm). [Consultado: 30-jun-2011].
- [7] INPE e SOSMA, “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. Períodos 1995/2000, 2000/2005, 2005/2008, 2008/2010.”, INPE, SOSMA, São Paulo, 2009, 2008, 2002 2010.
- [8] FAO, “State of the World’s Forests 2011”, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2011.
- [9] BCB, “Boletim do Banco Central do Brasil. Relatório 2010. Cap. 01 A economia brasileira.”, 2010. [Online]. Disponible en: <http://www.bcb.gov.br/?BOLETIM2010>. [Consultado: 06-jun-2011].
- [10] IBGE, “BME”, 2012. [Online]. Disponible en: <http://www.bme.ibge.gov.br/index.jsp>. [Consultado: 10-abr-2012].
- [11] IBGE, “Preços medianos, por materiais e serviços.”, 2011. [Online]. Disponible en: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?ti=1&tf=99999&e=c&p=SI&v=52&z=t&o=14>. [Consultado: 05-jul-2011].
- [12] D. Pereira, D. Santos, M. Vedoveto, J. Guimarães, e A. Veríssimo, *Fatos florestais da Amazônia - 2010*. Belém-PA: Imazon, 2010.
- [13] IPEA, “IGP-DI”, 05-jul-2011. [Online]. Disponible en: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>.
- [14] BCB, “Correção de valores. Índice para correção IGP-DI.”, 2011. [Online]. Disponible en: <http://www4.bcb.gov.br/Pec/Correcao/corrige.asp?idpai=correcao>. [Consultado: 30-jun-2011].
- [15] INMET, “BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa”, 2012. [Online]. Disponible en: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. [Consultado: 08-jun-2012].
- [16] I. T. Dudeque, *Espirais de madeira: uma história da arquitetura de Curitiba*. São Paulo: Studio Nobel FAPESP, 2001.
- [17] SOSMA, “Mata Atlântica”. 06-jun-2011.



- [18] A. C. Zani, *Repertório arquitetônico das casas de madeira de Londrina*, 1º ed. Londrina: Antonio Carlos Zani, 2005.
- [19] IBGE, “Mapa de Biomas e de Vegetação”. [Online]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. [Consultado: 07-ago-2013].
- [20] A. C. Zani, *Arquitetura em Madeira*. Londrina; São Paulo: Eduel Imprensa Oficial, 2003.
- [21] J. Larocca-Jr., P. L. Larocca, e C. de A. Lima, *Casa Eslovo-Paranaense: Arquitetura de madeira dos colonos poloneses e ucranianos do sul do Paraná.*, 1º ed. Ponta Grossa: Larocca Associados, 2008.
- [22] G. Weimer, *Arquitetura Popular Brasileira*, 1a ed. São Paulo: Martins Fontes, 2005.
- [23] A. Berriel, *Tectônica e poética das casas de tábuas*. Curitiba: Arquibrasil, 2011.
- [24] M. R. G. Imaguire, *A casa de Araucária*. Curitiba: Arquibrasil, 2011.
- [25] C. Bozelli, *Arquitetura de madeira na zona rural de Londrina: nas décadas de 30/40*. Londrina: (do autor), 2001.
- [26] J. Liasch, “Londrina História”, 14-maio-2011. [Online]. Disponível em: <http://londrinahistorica.blogspot.com.br/2011/05/o-centro-de-londrina-em-outros-tempos-i.html>. [Consultado: 08-jun-2012].
- [27] H. Yamaki, *Lembranças e deslembranças: álbum Londrina 1941*, 1º ed. Londrina: Edições Humanidades, 2008.
- [28] H. Yamaki, *Lições de arquitetura: manuais e recomendações aos imigrantes japoneses nos anos 20-30*, 1º ed. Londrina: Edições Humanidades, 2008.
- [29] A. Claro, “A produção de casas de madeira em Santa Catarina”, São Paulo, 1991.
- [30] F. C. Barbosa, “Chalé de madeira: a moradia popular de Santos.”, São Paulo, 1998.
- [31] R. Possamai, SMC - Secretaria Municipal da Cultura, e Prefeitura Porto Alegre (RS), “Casas de madeira. Patrimônio histórico.”, 09-fev-2011.
- [32] F. S. Garcia, M. S. Guernieri, G. F. Pereira, e S. Weihermann, *Arquitetura em madeira: uma tradição paranaense*. Curitiba: Scientia et Labor, 1987.
- [33] F. D. Batista, *A casa de madeira: um saber popular*. Curitiba: Arquibrasil, 2001.
- [34] Secretaria Municipal de Cultura, Turismo, Esporte e Lazer e Prefeitura de Itaiópolis/SC, “Núcleo Histórico de Alto Paraguaçu”, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.itaioplis.sc.gov.br/turismo/item/detalhe/9944>. [Consultado: 26-jun-2012].
- [35] Antonio Prado, “Patrimônio Histórico - Acervo”. [Online]. Disponível em: <http://www.antonioprado.com.br/acervo.php>. [Consultado: 12-set-2011].
- [36] C. O. Suginoara, “A habitação em madeira no norte do Mato Grosso: propostas e resultados experimentais”, São Paulo, 1990.
- [37] Industrial Gaúcha de Madeiras Lda, “Kit casa popular simples”, <http://casasgaucha.com.br/>, 29-maio-2012. [Online]. Disponível em: <http://casasgaucha.com.br/>. [Consultado: 29-maio-2012].
- [38] Meu Lar, “Casas Pré-cortadas”, [http://meularcasas.com.br/?page\\_id=70](http://meularcasas.com.br/?page_id=70), 29-maio-2012. [Online]. Disponível em: [http://meularcasas.com.br/?page\\_id=70](http://meularcasas.com.br/?page_id=70). [Consultado: 29-maio-2012].
- [39] J. Baron, “Kit Casa Madeira”, <http://www.jbaron.ind.br/promocoes.php>, 30-maio-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.jbaron.ind.br/promocoes.php>. [Consultado: 30-maio-2012].
- [40] Bassouto Casa de Madeira, “Sistema construtivo”. [Online]. Disponível em: <http://www.bassoutocasademadeira.com.br/paredes.htm>. [Consultado: 08-ago-2013].
- [41] “Nossa casa de madeira”. [Online]. Disponível em: <http://nossacasademadeira.blogspot.com.br/2010/04/montagem-da-casa-1.html>. [Consultado: 08-ago-2013].
- [42] Madeira ambiente, “A sustentabilidade das edificações em madeira”. [Online]. Disponível em: <http://madeirambiente.com.br/files/2012/05/2.jpg>. [Consultado: 08-ago-2013].
- [43] Culturamix, “Características das casa pré fabricadas.” [Online]. Disponível em: <http://imoveis.culturamix.com/blog/wp-content/uploads/2013/02/Caracter%C3%ADsticas-Das-Casas-Pr%C3%A9-fabricadas.jpg>. [Consultado: 08-ago-2013].
- [44] Pré Casas, “Pré Casas. Casas pré-fabricadas em Madeira.” [Online]. Disponível em: <http://www.precasas.com.br/>. [Consultado: 07-ago-2013].

- [45] Casas Brazil, “Sistema wood frame.” [Online]. Disponível em: <http://www.casasbrazil.com.br/novidades/ver/id/12>. [Consultado: 08-ago-2013].
- [46] LP Building Products Brasil, “Sistema Wood Frame”, <http://www.lpbrasil.com.br/sistemas/wood-frame.html>, 29-maio-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.lpbrasil.com.br/sistemas/wood-frame.html>. [Consultado: 29-maio-2012].
- [47] Go-to-idee, “Prêmio Planeta Casa”, <http://www.go-to-idee.com.br/noticias/vermais/projeto-articulado-pelo-sistema-fiep-e-finalista-do-premio-planeta-casa>, 01-out-2010. [Online]. Disponível em: <http://www.go-to-idee.com.br/noticias/vermais/projeto-articulado-pelo-sistema-fiep-e-finalista-do-premio-planeta-casa>. [Consultado: 29-maio-2012].
- [48] Embafort, “Embafort. Casa Ecológica.” [Online]. Disponível em: <http://embafort.com.br/construtivos/produtos.php?id=23>. [Consultado: 07-ago-2013].
- [49] S. Lima, “Avançam obras do Residencial Haragano”, *Prefeitura Municipal de Pelotas*. [Online]. Disponível em: [http://www.pelotas.com.br/noticias/detalhe.php?controle=MjAxMi0wOS0yNw%3D%3D&codnoticia=32214&fb\\_action\\_ids=324730970986436&fb\\_action\\_types=og.likes&fb\\_source=timeline\\_og&action\\_object\\_map=%7B%22324730970986436%22:480137212008211%7D&action\\_type\\_map=%7B%22324730970986436%22:%22og.likes%22%7D&action\\_ref\\_map=%5B%5D](http://www.pelotas.com.br/noticias/detalhe.php?controle=MjAxMi0wOS0yNw%3D%3D&codnoticia=32214&fb_action_ids=324730970986436&fb_action_types=og.likes&fb_source=timeline_og&action_object_map=%7B%22324730970986436%22:480137212008211%7D&action_type_map=%7B%22324730970986436%22:%22og.likes%22%7D&action_ref_map=%5B%5D). [Consultado: 12-ago-2013].
- [50] Marcos Acayaba Arquitetos, “Marcos Acayaba - Projetos e Obras”, <http://www.marcosacayaba.arq.br/lista.projetos.chain>, 29-maio-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.marcosacayaba.arq.br/lista.projetos.chain>. [Consultado: 29-maio-2012].
- [51] “Orbital Estruturas”. [Online]. Disponível em: <http://www.orbitalestruturas.com.br/portfolio/interna/22>. [Consultado: 08-ago-2013].
- [52] A. P. de Queiroz Fl., “Sobre as origens da favela”, *Mercator*, vol. 10, n° 23, p. 33–48, dez. 2011.
- [53] J. P. de O. C. Volpato, “A construção da casa digna: algumas reflexões sobre o desenvolvimento urbano como desenvolvimento humano”, *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, vol. 16, n° 18+19, 2009.
- [54] J. de S. e Silva, *O que é favela, afinal?* Rio de Janeiro: Observatório de favelas, 2009.
- [55] IPPUR e UFRJ, “Cadernos IPPUR/UFRJ”, *IPPUR/UFRJ*, vol. Ano XXII, n° 1, p. 245, 07-2008.
- [56] R. S. Gonçalves, “Política, o direito e as favelas do rio de Janeiro: um breve olhar histórico.”, *previous published in Anthropologues (2006, n° 104- 105)*, p. 1–23, 2006.
- [57] M. M. Valença, *Cidade (i)legal*. Mauad Editora Ltda, 2008.
- [58] F. D. A. Batista, “Tecnologia construtiva em madeira na região de Curitiba: da casa tradicional à contemporânea.”, Masters dissertation, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- [59] A. J. Macpherson, M. D. Schulze, D. R. Carter, e E. Vidal, “A Model for comparing reduced impact logging with conventional logging for an Eastern Amazonian Forest”, *Forest Ecology and Management*, vol. 260, p. 2002–2011, nov. 2010.
- [60] L. Valladares, “The genesis of the Rio de Janeiro favela. The pre-social science production”, *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, vol. 15, n° 44, p. 05–34, out. 2000.
- [61] C. R. M. Meirelles, H. Dinis, M. L. Segall, e S. S. S. Anna, “Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais”, *III Fórum de Pesquisa FAU Mackenzie*. 2007.
- [62] D. M. Rambaldi e D. A. S. de Oliveira, *Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas*. Brasília: MMA/SBF, 2003.
- [63] C. Cederberg, U. M. Persson, K. Neovius, S. Molander, e R. Clift, “Including carbon emissions from deforestation in the carbon footprint of brazilian beef”, *Environmental Science and Technology*, vol. 45, n° 5, p. 1773–1779, 2011.
- [64] S. Rivero, O. Almeida, S. Ávila, e W. Oliveira, “Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia”, *Nova Economia*, vol. 19, n° 1, p. 41–66, abr. 2009.
- [65] P. M. Fearnside, “Deforestation in Amazonia: dynamics, impacts and control”, *Acta Amazonica*, vol. 36, n° 3, p. 395–400, jan. 2006.
- [66] É. F. Campos, K. R. G. Punhagui, e V. M. John, “Emissão de CO<sub>2</sub> do transporte da madeira nativa da Amazônia”, *Ambiente Construído*, vol. 11, n° 2, p. 157–172, jun. 2012.

- [67] WB, “GDP per capita”, 2011. [Online]. Disponível em: [http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?order=wbapi\\_data\\_value\\_2008+wbapi\\_data\\_value&sort=asc](http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?order=wbapi_data_value_2008+wbapi_data_value&sort=asc). [Consultado: 08-nov-2011].
- [68] UN, *Vital forest graphics*. Nairobi Kenya: UNEP, 2009.
- [69] B. Brischke, E. F. Hansson, D. Kavurmaci, e S. Thelandersson, “Decay hazard mapping for Europe”, Queenstown, New Zealand, IRG/WP 11-20463, 12.05 2011.
- [70] C. G. Carll, “Decay Hazard (Scheffer) Index Values Calculated from 1971–2000 Climate Normal Data”, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory., Madison, General Technical Report FPL-GTR-179., 2009.
- [71] S. Cornick e W. A. Dalglish, “A Moisture Index to Characterize Climates for Building Envelope Design”, *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, vol. 27, n° 2, p. 151–178, jan. 2003.
- [72] J. Wang, C. Ni, e Z. Jiahua, “Ensure Durable Wood-Frame Construction in Shanghai.” FPInnovation Forintek, 2012.
- [73] J. V. Acker, “Service life prediction and creation of a Euro decay index - exterior applications out of ground contact.”, apresentado em COST Action E22: Environmental Optimization Of Wood Protection, Zagreb, 23.09-2003.
- [74] C. A. Clausen, *Wood Handbook. Chapter 14: biodeterioration of wood*. Madison, Wisconsin: Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture Forest Service, 2010.
- [75] INMET, “Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990)”, [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br), 1990-1961. [Online]. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. [Consultado: 18-jun-2012].
- [76] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2012.
- [77] Agência Amazônia, “O uso da madeira tratada na construção civil.”, 14-jan-2011. [Online]. Disponível em: <http://www.apreflorestas.com.br/noticias/construcao-civil/132/o-uso-da-madeira-tratada-na-construcao-civil>. [Consultado: 15-jun-2013].
- [78] Jenifer Rosa, “Associação cria selo para expandir o uso de madeira tratada”, <http://noticias.terra.com.br>, 25-jul-2012. [Online]. Disponível em: <http://noticias.terra.com.br/ciencia/sustentabilidade/900939160467b310VgnCLD200000bbccce0aRCRD.html>. [Consultado: 25-jun-2013].
- [79] EcoD, “Mercado de madeira reflorestada já movimentada R\$ 600 milhões por ano no Brasil”, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2012/julho/mercado-de-madeira-tratada-ja-movimentada-r-600>. [Consultado: 25-jun-2013].
- [80] J. de C. Silva, “Madeira preservada – Os impactos ambientais”, *Revista da Madeira*, n° 100, nov-2006.
- [81] O. of P. P. US EPA, “CCA Guidance - Questions and Answers”, 2012. [Online]. Disponível em: [http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/cca\\_guidance\\_q\\_a.htm#5](http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/cca_guidance_q_a.htm#5). [Consultado: 25-jun-2013].
- [82] J. S. L. Appel, V. Terescovaa, V. C. B. Rodriguesa, e V. M. F. Vargas, “Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão”, *Revista Brasileira de Toxicologia*, vol. 19, n° 1, p. 33–47, 2007.
- [83] CGEE e ABDI, “Estudo Panorma Setorial da Construção Civil. Relatório Prospectivo Setorial: 2009.”, CGEE, Brasília, jun. 2009.
- [84] Amata, “Amata. Guia de madeiras.” Amata.
- [85] US Forest Service, “Termite Infestation Probability Zones Map”. [Online]. Disponível em: <http://www.termites.com/information/statistics/tip-zone/>. [Consultado: 07-ago-2013].
- [86] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, *Madeira Uso Sustentável na Construção Civil*, 2° ed. São Paulo: IPT, 2009.
- [87] IBGE, “POF - Pesquisa de Orçamentos Familiares”, 2009. [Online]. Disponível em: <https://www.bme.ibge.gov.br/app/adhoc/index.jsp>. [Consultado: 02-maio-2012].
- [88] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2011 ano base 2010”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2011.
- [89] L. Sobral, J. A. de O. Veríssimo, T. Azevedo, e R. Smeraldi, *Acertando o alvo 2: Consumo da madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo*. Belém: Imazon, 2002.

- [90] L. Nassif, “Incêndios em favelas e valorização imobiliária | Brazilianas.Org”, *Advivo*, 11-set-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.advivo.com.br/blog/luisnassif/incendios-em-favelas-e-valorizacao-imobiliaria>. [Consultado: 09-ago-2013].
- [91] A. Scarso, “Incêndios sistemáticos em favelas”, *Brasil de fato*, 05-dez-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.brasildefato.com.br/node/10821>. [Consultado: 09-ago-2013].
- [92] N. Soares, “CPI na Câmara de São Paulo vai investigar incêndios em favelas da cidade.”, *Rede Brasil Atual*, 14-abr-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.redebrasilatual.com.br/blogs/desafiosurbanos/2012/04/cpi-na-camara-de-sp-vai-investigar-incendios-em-favelas-da-cidade>. [Consultado: 09-ago-2013].
- [93] MDIC, “Subsídios para a elaboração do plano de desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva da indústria de cerâmica vermelha”. 2011.
- [94] Sebrae, “Cerâmica Vermelha. Estudos de Mercado ESPM. Relatório Completo.” 2008.
- [95] M. David, “Revista da ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica”, n° 51.
- [96] S. Colin, *Uma introdução à arquitetura.*, 5<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro: UAPÊ, 2000.

## **3 Percepción social y de los agentes del sector de la construcción del uso de la madera en viviendas**

### **3.1 Contenido y objetivo**

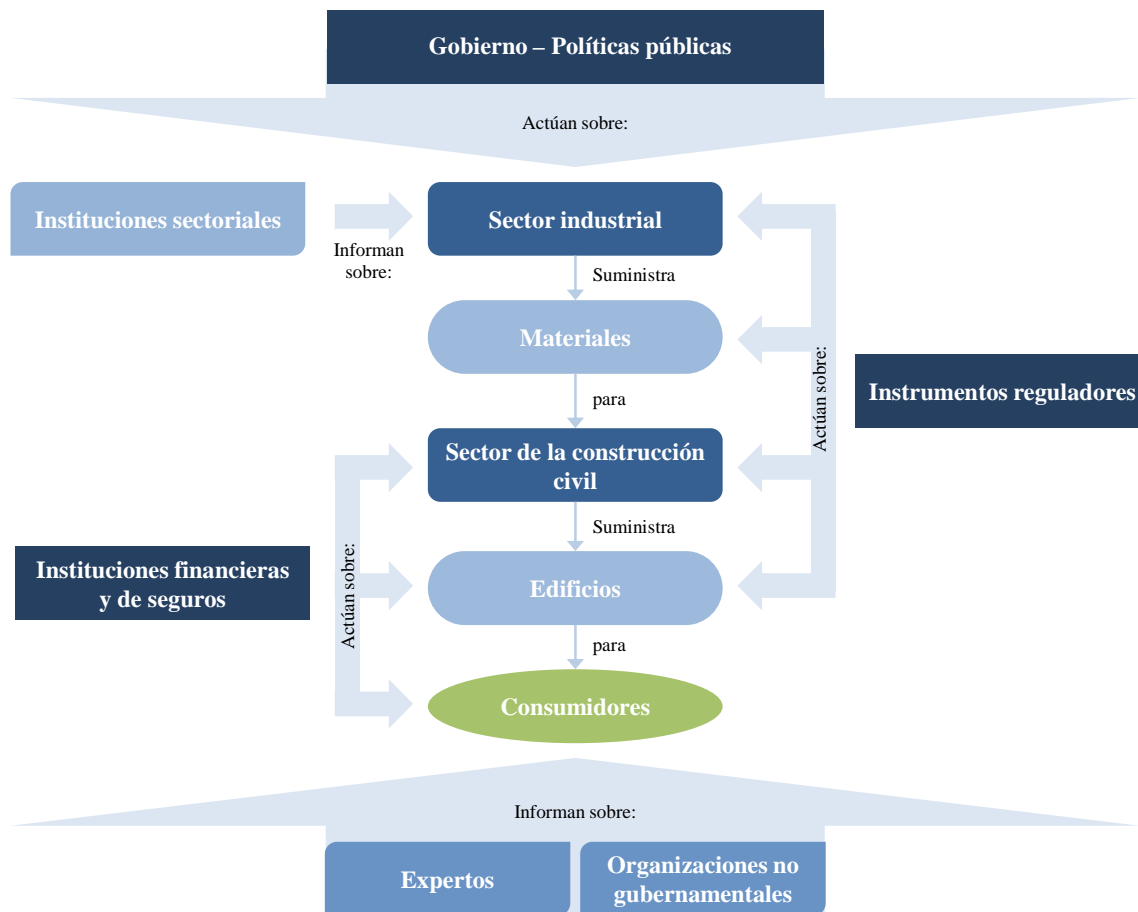
El objetivo de este capítulo es evaluar las perspectivas para la arquitectura de madera en Brasil desde el punto de vista de la sociedad. Se ha estudiado la opinión pública sobre la madera para la construcción de viviendas. Se consultó o estudió a consumidores, profesionales (arquitectos e ingenieros), expertos, constructores, industriales, gobierno, instituciones (sectoriales, de investigación y no gubernamentales), bancos y agencias de seguros. La finalidad fue conocer la opinión de estos agentes sobre el tema y delinear un escenario donde se pudieran identificar los elementos facilitadores y obstáculos en toda la cadena de producción y comercialización de viviendas de madera.

Se considera que investigar el mercado y entender su dinámica son elementos claves para los planes de desarrollo sectorial. No se ha encontrado contenido público semejante en estudios sobre arquitectura en madera en Brasil, lo que será la aportación original de este apartado.

### **3.2 Método**

Para entender las posibilidades de la arquitectura de madera dentro del mercado actual, según la opinión de la sociedad, se identificaron los agentes que participan en las actividades de producción y comercialización de inmuebles, desde el suministro del material para la construcción hasta la financiación (hipoteca) y seguro de los edificios. Los agentes se han clasificado según sus actividades y, en el estudio, se han descartado aquellos que no tenían influencia directa sobre el empleo de la madera en la construcción. De esta selección inicial se mantuvieron los consumidores, los profesionales de arquitectura e ingeniería, los constructores, los industriales, el gobierno, los órganos reguladores, los bancos y las agencias de seguros (Fig. 3. 1).

Para complementar la información y entender la problemática de manera amplia también se buscó la opinión de especialistas y representante de una organización no gubernamental vinculada al tema de la producción de madera, además de datos sobre el sector maderero en documentos de institución sectorial y de investigación, así como leyes y normativas que interfieren en el uso de la madera para construcción (Fig. 3. 1).

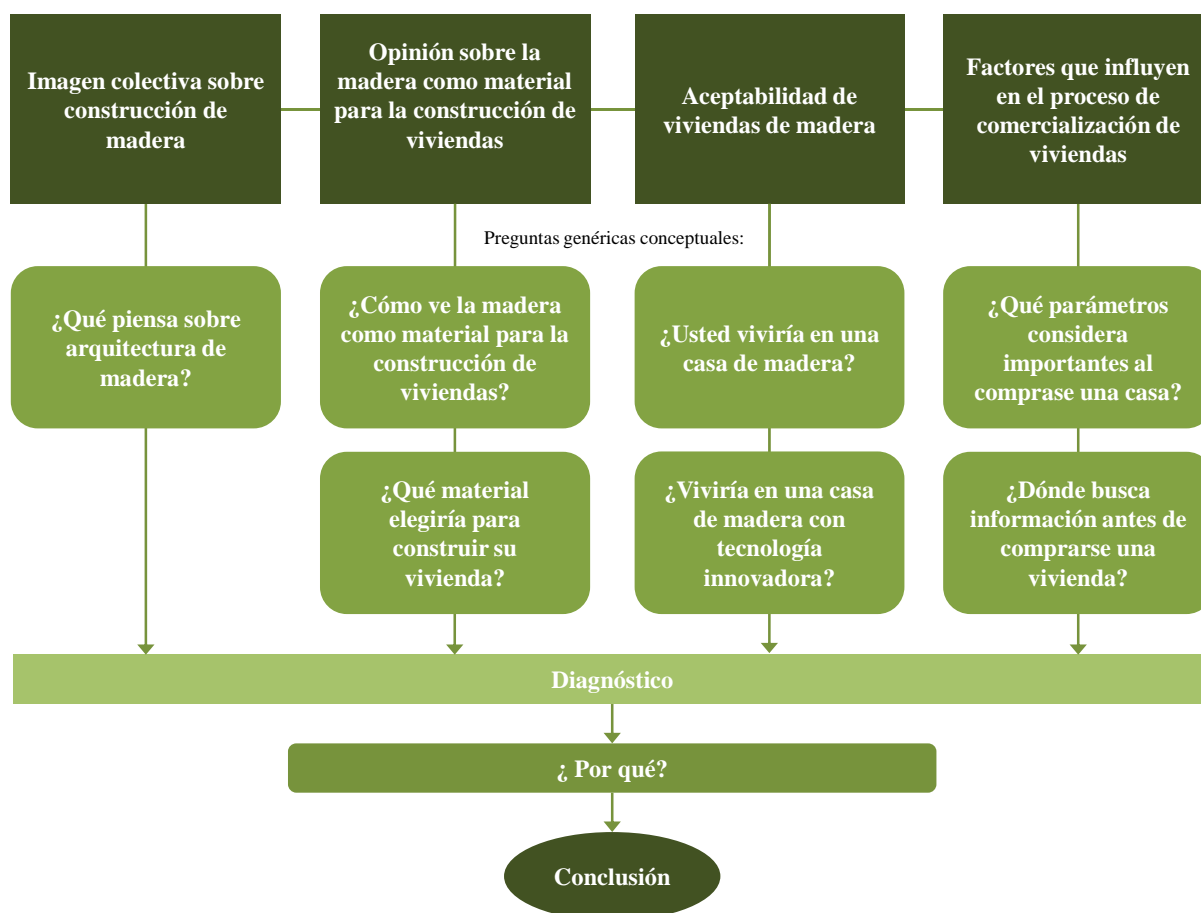


**Fig. 3. 1 - Diagrama sintético de la cadena de suministro de vivienda de madera considerada en este estudio**

Cada elemento suministrador de información requirió un método distinto de enfoque. Por ello, **se dividió la investigación en dos etapas**: 1) referente a los **consumidores**; 2) relativo a los otros **agentes** que participan o se relacionan con la cadena de producción de arquitectura de madera. El análisis general se fundamentó en el contenido constituido por las informaciones primarias y secundarias. La metodología aplicada a cada una se describe a continuación:

### 3.2.1 Investigación con el consumidor

El objetivo general de la investigación con el consumidor fue conocer el concepto que las personas tienen sobre la arquitectura de madera, los puntos débiles y los fuertes de este material cuando se utiliza en la edificación, el grado de aceptación de la madera en la construcción de viviendas, los parámetros considerados importantes sobre los materiales y la adquisición de vivienda propia (Fig. 3. 2).



**Fig. 3. 2 – Diagrama de los puntos claves estudiados con relación al consumidor**

La investigación se ha desarrollado en tres etapas enlazadas de manera complementaria según los resultados de la etapa anterior. En cada etapa se consultó un sector distinto de consumidores potenciales de viviendas. El objetivo de la primera fue acercarse al tema, el de la segunda, complementar el contenido y regularizar la muestra anterior, y el de la tercera, perfeccionar las etapas anteriores y ampliar la muestra, además de profundizar en el asunto. Todas fases se basaron en encuestas estructuradas, con preguntas predefinidas que fueron codificadas para el tratamiento estadístico [1][2]. Se eligió este método debido al número de encuestados que se pretendía lograr, el mantenimiento de un estándar, la disminución de desviaciones en la aplicación de los cuestionarios, la interpretación de las respuestas y la facilidad del análisis cuantitativo. En todas las fases se realizó una prueba de los cuestionarios.

### 3.2.1.1 Primera etapa

El objetivo de la primera encuesta fue acercarse al tema e identificar puntos de interés para profundizar en las etapas siguientes. El cuestionario<sup>1</sup>, estructurado con preguntas objetivas y

<sup>1</sup> En el apéndice de este capítulo.

cerradas, se dividía en tres partes, a saber, la primera (preguntas 1-2) se dirigía a conocer la imagen existente en el inconsciente colectivo al respecto de la arquitectura en madera, sobre la existencia de experiencia previa con viviendas hechas con este material y su aceptabilidad; la segunda (preguntas 3-6) buscaba especular sobre parámetros relacionados con el material, como, por ejemplo, la estética, la durabilidad, el confort, el valor económico e histórico, el mantenimiento, la construcción y las instalaciones, entre otros; por último, la tercera (pregunta 7) servía para identificar el perfil del encuestado, delimitando su edad, el nivel educacional, su sector profesional, sus ingresos mensuales y la localidad donde creció.

La investigación se llevó a cabo utilizando el *Survey Monkey*, un sistema de encuestas por Internet. Se eligió esta encuesta porque facilitaba el acceso a los encuestados en la etapa preliminar de desarrollo del estudio. Los cuestionarios se enviaron por correo electrónico a los contactos de la autora, quienes los transmitieron a contactos secundarios. Se obtuvieron 426 respuestas válidas. Por esta razón, la muestra no se consideró ni aleatoria ni representativa, incluso porque se limita a personas que tienen acceso a Internet. Sin embargo, fue útil desde el punto de vista de experiencia metodológica y para definir los parámetros de trabajo de la etapa siguiente.

Los datos se procesaron utilizando recursos del programa Excel y considerando valores unitarios, porcentuales y diferencias perceptuales entre valores extremos. Los resultados se mostraron en porcentaje de respuestas válidas y se interpretaron mediante un análisis cualitativo.

### **3.2.1.2 Segunda etapa**

Como la primera muestra se centró en una población que tiene un alto nivel de escolaridad e ingresos mensuales, el segundo muestreo se enfocó en la población cuyos ingresos mensuales eran mínimos y tenían un bajo nivel escolar. Estos representan la mayoría de la población brasileña y de la demanda de vivienda y no aparecen en los otros muestreos. El objetivo del cuestionario<sup>2</sup> fue comparar los resultados con la primera muestra e incorporar al contenido anterior preguntas cerradas y abiertas sobre preferencia de materiales de construcción, madera nativa y plantada, así como usos de la madera en vivienda.

La encuesta se llevó a cabo en colaboración con el Grupo de Investigación en Sostenibilidad en el Ambiente Construido de la Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, por intermedio de la Profa. Dra. Andrea Naguissa Yuba, debido a intereses comunes en el tema de la arquitectura en madera (y tierra) e intercambio de resultados entre grupos de muestreo

---

<sup>2</sup> En el apéndice de este capítulo.



diferentes. La muestra total estaba integrada por dos grupos: 1) con 113 encuestados (válidos), pertenecientes a la comunidad Assentamento Santa Mônica<sup>3</sup>, localizada en la zona rural del pueblo de Terenos, en las cercanías de la capital del estado de Mato Grosso do Sul; 2) con 543 encuestados (válidos), trabajadores de las compañías externalizadas encargadas de la limpieza y la seguridad del campus central de la ciudad universitaria Armando Salles de Oliveira de la Universidade de São Paulo y residentes en la ciudad de São Paulo. La población para el análisis fue seleccionada considerando el perfil definido para esta etapa y el acceso a los encuestados que se ofreció a los investigadores.

En el Assentamento Santa Mônica, el equipo de investigadores realizó el cuestionario de manera presencial e individual (persona a persona); y en la Universidade de São Paulo, se utilizaron dos métodos que consideraban el perfil de los encuestados (presencia de analfabetismo) y la logística de trabajo existente (posibilidad de responderlo en el lugar de trabajo). Así, el cuestionario se realizó tanto de manera presencial e individual, durante una reunión de los trabajadores de cada edificio, como no presencial e individual. En este caso, el investigador entregó el cuestionario al jefe directo del encuestado que se los distribuyó a los interesados, quienes los devolvieron cumplimentados entre dos y tres días después.

Los datos se evaluaron utilizando recursos del programa Excel considerando valores unitarios y porcentuales. Las respuestas abiertas se organizaron por conceptos y se codificaron. Los resultados se presentaron por porcentaje de respuestas válidas y se interpretaron utilizando un análisis cualitativo.

### **3.2.1.3 Tercera etapa**

Este muestreo fue más completo y buscó perfeccionar y profundizar el contenido anteriormente investigado, además de ampliar el alcance de la muestra para que tuviera una mejor distribución del perfil del encuestado. El objetivo principal fue comprender los criterios de toma de decisión de esta porción de los brasileños al escoger un material para la estructura y la pared o la técnica de construcción de su vivienda. Otra meta fue conocer la opinión pública sobre viviendas de madera y las consideraciones de los consumidores referentes a las potencialidades y deficiencias de la construcción en madera. Para ello, se compararon los principales materiales de construcción en Brasil y se probó la aceptabilidad de tecnologías en madera no usuales en el país. Los resultados buscaron identificar los puntos y las personas claves en la promoción de construcciones o viviendas de madera en el país.

---

<sup>3</sup> El Assentamento Santa Mônica está integrado por cerca de 715 familias que fueron alojadas por el INCRA (Instituto Nacional de Colonización y Reforma Agraria) y recibieron aproximadamente de seis a siete hectáreas de tierra cada una [3][4].

La encuesta se desarrolló en colaboración con la empresa Stora Enso Wood Products Oy Ltd. (SE), por intermedio de la gerente de innovación Julia Ahvenainen, debido a intereses comunes en el estudio del mercado para la construcción en madera en Brasil. La autora y la SE, por medio de su representante, decidieron el objetivo, el contenido, la metodología y el alcance de la investigación. Se contrató a la empresa Quanti - Pesquisa de Mercado para llevar a cabo la encuesta por Internet, prestar asesoramiento especializado y entregar los datos primarios en Excel a la autora que desarrolló los trabajos de análisis estadístico. El uso de Internet como instrumento de recolección de datos fue definido considerando el alcance deseado, el control del perfil del entrevistado ofrecido por el banco de datos de la empresa subcontratada y el coste de ejecución.

La investigación, que consiste en una muestra no representativa de 2.000 respuestas válidas con un nivel de confianza del 95% y un intervalo de confianza de  $\pm 2,2$ , se llevó a cabo en las cinco grandes regiones de Brasil (norte, nordeste, sudeste, sur y centro-oeste), dividida proporcionalmente según la población regional, con personas mayores de edad de cinco clases económicas<sup>4</sup>.

El cuestionario<sup>5</sup> estructurado contenía preguntas cerradas y abiertas y estaba dividido en tres partes: 1) caracterización del perfil del entrevistado, 2) identificación del repertorio y tipo de vivienda de los entrevistados y 3) criterio para la toma de decisiones. Las dos primeras partes del cuestionario tenían como objetivo identificar el perfil del encuestado, sus experiencias previas con viviendas, la imagen existente en el inconsciente colectivo sobre la vivienda de madera, sus conocimientos sobre otras técnicas de construcción y el tipo de vivienda de los entrevistados. La tercera, pretendió conocer los criterios de decisión de compra de una vivienda, elección de los materiales o técnicas para la construcción de su casa.

La caracterización del perfil del encuestado (parte 1), identificación del repertorio y tipo de sus viviendas (parte 2) llevó en consideración el género, la edad, el lugar dónde creció, el nivel de escolaridad (según el sistema educativo nacional [5]), la estructura familiar, la clase económica (según el CCEB-Criterio de Clasificación Económica Brasil [6] de la ABEP-Asociación Brasileña de Estudios Operacionales, en este parámetro, se descartaron las dos clases económicas más bajas al considerarse que no son un mercado potencial), la renta personal mensual, basada en el salario mínimo de aproximadamente 252,00 €<sup>6</sup> y distribuida con criterios

---

<sup>4</sup> La clase económica considera otros aspectos además de los ingresos.

<sup>5</sup> En el apéndice de este capítulo.

<sup>6</sup> Importes convertidos según el cambio de diciembre de 2012, conforme a la información obtenida en la página web del Banco Central de Brasil [7], consultado en mayo de 2013.

equivalentes a los utilizados en la Encuesta Nacional por Muestreo de Domicilios (PNAD, según sus siglas en portugués) [8] del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), el tipo de vivienda (casa o piso), el material utilizado en la vivienda y la propiedad del inmueble.

El estudio de los criterios de decisión (parte 3) estaba orientado a conocer quiénes son los agentes más influyentes, si es costumbre buscar ayuda profesional o familiar a la hora de comprar una vivienda, los medios de comunicación más consultados para obtener información comercial y, principalmente, cuáles son los parámetros determinantes y deseables cuando se opta por un inmueble, material o tecnología de construcción.

Los factores determinantes y deseables a la hora de comprar una vivienda se identificaron por medio de una pregunta abierta, donde la persona pudo enumerar los parámetros considerados importantes, y otra pregunta cerrada, donde se podría escoger el grado de importancia entre algunos parámetros dados. La preferencia por un material fue estudiada considerando la experiencia previa de los entrevistados con relación a sus residencias actuales y la elección hipotética de técnicas de construcción presentadas en la encuesta. Los entrevistados utilizaron las preguntas cerradas y abiertas para informar sobre los materiales utilizados en sus viviendas, la persona que los escogió y las razones de la elección.

La investigación acerca de la aceptación de nuevas tecnologías consideró las siguientes técnicas de construcción en madera: entramado ligero de madera o *woodframe* (WF) y madera laminada cruzada o *cross laminated timber* (CLT), que se compararon con las técnicas de construcción convencionales de albañilería encontradas en el país, basadas en el uso del hormigón armado, ladrillo o bloque de hormigón. Se utilizaron preguntas cerradas y abiertas para saber cuál es la técnica preferida y la razón de la preferencia. Para probar el grado de aceptación y preferencias declaradas se formularon preguntas de análisis comparativos entre técnicas de construcción, para ello, se presentaron parámetros como ahorro de energía, confort, velocidad de construcción, facilidad para reformar y producción de residuos en obra.

Las preguntas comparativas se organizaron en dos grupos: 1) casas y 2) edificios verticales. En el primero se compararon XxY, XxW y WxY, donde X es vivienda de entramado ligero de madera<sup>7</sup>, Y es vivienda de bloque de hormigón<sup>8</sup>, y W es vivienda de ladrillo<sup>9</sup>. En el

---

<sup>7</sup> X: Estructura de entramado ligero de madera tratada contra termitas y moho, paredes externas de material decorativo y duradero, aislamiento y pladur, así como paredes internas de pladur con aislamiento.

<sup>8</sup> Y: Estructura, paredes internas y externas de bloque de hormigón recubierto con mortero interna y externamente.

<sup>9</sup> W: Estructura de hormigón armado, con paredes internas y externas de ladrillo recubierto con mortero interna y externamente.

segundo grupo, se compararon  $ZxY$ ,  $ZxW$ , y  $WxY$ , donde  $Z$  es edificio de madera laminada cruzada<sup>10</sup>,  $Y$  es edificio de bloque de hormigón y  $W$  es edificio de ladrillo.

Las técnicas constructivas convencionales ( $Y$  y  $W$ ) se definieron según la PNAD [8] del IBGE, que señala que el 92% de las construcciones de viviendas en Brasil se hacen de albañilería (2011). Mediante observación se pudo diagnosticar que el hormigón armado con ladrillo y el bloque de hormigón son los materiales de construcción más comunes en la albañilería.

Se analizó el concepto general sobre construcción de madera mediante el método intuitivo de la libre asociación [9][10], en el que los encuestados señalaban las tres primeras palabras que pensaron cuando se les expuso el tema “construcción de madera”. Se hicieron relaciones semánticas para comprender las impresiones personales sobre el tema. La primera parte del cuestionario (perfil del encuestado) se desarrolló con preguntas estructuradas, cerradas y objetivas. Las partes segunda y tercera (identificación del repertorio y tipo de vivienda de los encuestados y criterio para toma de decisiones) consideraron, en su caso, el método de preferencia declarada y revelada [11][12][13], y se utilizaron preguntas cerradas y abiertas, con escalas de valores, comparativas y uso de imágenes, en su caso.

Para analizar las respuestas abiertas, se extrajeron las principales palabras de las respuestas descriptivas con ayuda del *Word Clouds*, herramienta disponible en Internet<sup>11</sup>. Se realizó una selección de palabras válidas mediante la investigación de las respuestas, cada palabra se contaba y agrupaba según el concepto y se clasificó de acuerdo con el porcentaje de casos.

Las respuestas objetivas cerradas se analizaron considerando los valores unitarios y se utilizaron las proporciones y métodos estadísticos según el caso. Se utilizó la comparación proporcional en todas las respuestas cuantitativas. El promedio ponderado, las calificaciones *top-two-box*<sup>12</sup> y *top-four-box*<sup>13</sup> se aplicaron en las preguntas en las que los encuestados debían indicar la importancia/peso de cada parámetro dado. La multiplicidad de las respuestas se calculó para las preguntas de opción múltiple.

La posibilidad de que se produjera un evento se estimó calculando un número índice (NI) basado en la media ponderada que consideró la totalidad de las probabilidades subjetivas de cada factor. La probabilidad de ocurrencia de un evento siguió la escala sugerida por Reichheld

---

<sup>10</sup>  $Z$ : Estructura de tablero macizo de madera laminada cruzada, paredes externas de ladrillo, aislamiento, tablero macizo de madera laminada cruzada y paredes internas de pladur.

<sup>11</sup> Sitio [www.wordle.net](http://www.wordle.net), consultado en abril/mayo de 2013.

<sup>12</sup> TTB (*top-two-box*) es el porcentaje añadido a los dos valores más altos (respuestas favorables) en una escala de cinco puntos.

<sup>13</sup> TFB (*top-four-box*) es el porcentaje añadido a los cuatro valores más altos (respuestas favorables) en una escala de diez puntos.

(2003) [14], donde en una escala de 10 puntos, 9 y 10 son consumidores motivados, 7 y 8 son pasivos y de 0 a 6 son no motivados. Esta fue la escala escogida por ser más conservadora que la Escala de Juster sobre la probabilidad de compra [15], comúnmente utilizada en este tipo de análisis.

Para encontrar un perfil de consumidor para la construcción de madera, se hicieron análisis discriminantes, comparaciones de promedios y proporciones utilizando el SPSS<sup>14</sup> (*software* de estadística), que con frecuencia se utiliza para el análisis social estadístico y estudios de mercado. Los resultados del análisis discriminante se expresaron en términos del coeficiente de función discriminante, donde los valores absolutos cerca del 1 (uno) presentan una alta relación entre los parámetros y cerca del 0 (cero), una baja relación.

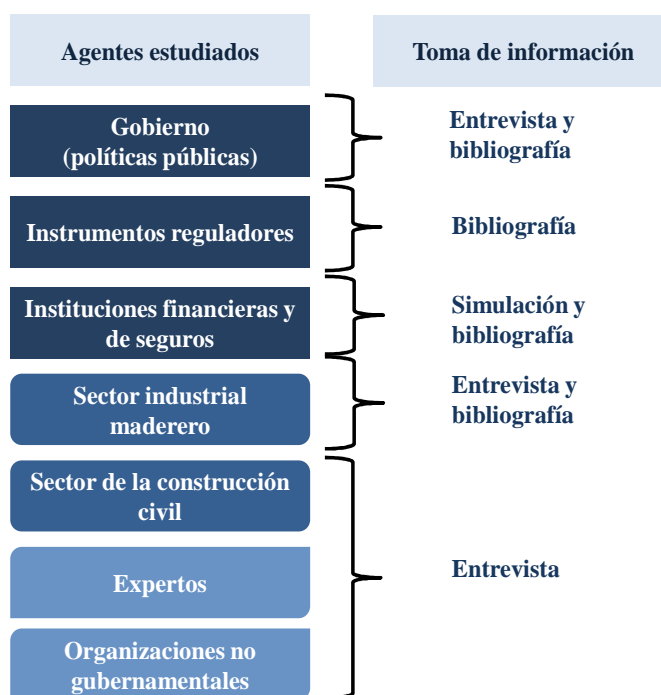
### **3.2.2 Investigación entre agentes de la cadena de construcción de madera**

La investigación entre otros agentes se refiere a todos los actores de la cadena de producción y comercialización de viviendas de madera, excluidos los consumidores (que se estudian de forma separada). El objetivo fue aumentar el conocimiento general sobre las actividades que influyen en el suministro de vivienda de madera, desde la producción de materiales hasta su comercialización. Se buscó identificar los principales obstáculos existentes en este ámbito y los puntos que podrían desarrollarse para facilitar la oferta de viviendas de madera en Brasil.

Para iniciar el estudio se hizo un sondeo de los agentes que, directa e indirectamente, participan en la cadena de producción de viviendas de madera, entre los que se incluyen desde profesionales independientes hasta organizaciones federales. Se discutió el grado de influencia de los actores señalados y se hizo una selección de aquellos que serían de mayor interés o podrían suministrar información de utilidad. Con ello, se definieron los agentes objeto del estudio, a saber, gobierno (por medio de sus políticas públicas), empresas e instituciones vinculadas al sector industrial maderero, empresas (constructoras) y profesionales (ingenieros y arquitectos) del sector de la construcción civil, bancos y agencias de seguros de vivienda, instrumentos reguladores (normativas y otras herramientas), organizaciones no gubernamentales (ONG) que discutieron cuestiones sobre la madera de utilidad para esta investigación y expertos en el sector maderero o la construcción en madera (Fig. 3. 3).

---

<sup>14</sup>El nombre original era Paquete Estadístico para Ciencias Sociales y el nombre actual es IBM SPSS.



**Fig. 3.3 – Esquema representativo de los agentes estudiados y del modo de recolección de la información utilizado para cada grupo**

El método general utilizado para la recolección de informaciones fue el estudio de literatura especializada e informes sectoriales, la verificación de normativas, entrevistas estructuradas y no estructuradas [1][2] con expertos, pues estos pueden proporcionar contenidos de amplio alcance, entrevistas semiestructuradas [1][2] con los demás agentes, para que se pudiera alcanzar los datos preestablecidos de interés y otros complementarios y una encuesta con ingenieros y arquitectos.

Las entrevistas fueron individuales y las realizó personalmente la autora, siempre que fue posible, o por teléfono o Skype, cuando no lo fue posible de otro modo. Las entrevistas duraron entre una y dos horas, se grabaron cuando hubo autorización y las transcripciones se enviaron a los encuestados para que autorizaran la divulgación del contenido en este estudio o para fines científicos. La autora y su codirector garantizaron la protección de la identidad del entrevistado o del órgano representado en todas las instancias. Se analizaron las transcripciones de modo cualitativo buscando identificar la información pertinente para la discusión de este capítulo. Se realizó un mapa conceptual [16][17] de estudio para entender las relaciones entre los datos obtenidos y los agentes. La recolección de información de los **agentes** se llevó a cabo según se describe a continuación:

La influencia del **gobierno** se estudió considerando la política pública de vivienda social. En el ámbito federal, se estudió el programa *Minha Casa Minha Vida* (MCMV)<sup>15</sup> por medio de documentación oficial disponible en la página web de la Caixa Econômica Federal (CEF)<sup>16</sup> [19][20] y se entrevistaron a dos gerentes ejecutivos de esta institución con cuestionarios abiertos que se les enviaron por Internet en abril de 2012. Se incluyó en el estudio a la Compañía de Desarrollo Habitacional y Urbano (CDHU) del estado de São Paulo, por haber dejado de utilizar madera en las viviendas, y en julio de 2013 se realizó una entrevista personal no estructurada a un representante, que ocupaba un cargo de gerencia. Se estudiaron instrumentos reguladores según el contenido de normativas y herramientas ordenadoras aplicadas al sector maderero o al de la construcción [21][22][23].

Se recolectaron datos generales sobre el **sector maderero** del informe de la ABRAF (Asociación Brasileña de Productores de Forestas Plantadas) para madera plantada, y un documento del instituto de investigación IMAZON, para madera nativa. Se hizo una entrevista no estructura al consultor en ingeniería forestal Ing. Evaristo Francisco de Moura Terezo y los datos transmitidos al respecto del sector industrial se complementaron con las declaraciones de un representante de una empresa maderera<sup>17</sup>, en una visita hecha para la recolección de datos de producción.

En el análisis del **sector de la construcción** participaron los siguientes agentes: **grupo a)** tres constructoras de gran tamaño que actúan en el ámbito nacional de la construcción de viviendas (entre las tres construyeron cerca de ~14,7 millones de metros cuadrados en 2012 [24]), por medio de representantes del sector técnico, desarrollo y suministros; **grupo b)** dos constructoras que edificaron el primer conjunto habitacional de entramado ligero de madera dentro del programa MCMV, por medio de sus directores; **grupo c)** dos empresas que producen o venden casas prefabricadas de madera, por medio de sus representante comercial y directores; **grupo d)** dos empresas que estudiaban implantar nuevos sistemas de construcción de madera en Brasil (una nacional de pequeño tamaño llamada en este estudio empresa “C” y otra multinacional de grande tamaño denominada empresa “S”), por medio de sus directores; **grupo e)** una empresa especializada en construcción de madera de alto estándar que es referencia

---

<sup>15</sup> El programa *Minha Casa Minha Vida* pretende disminuir el déficit habitacional. Subvenciona la adquisición de casa en propiedad a familias con una renta mensual de hasta 1.600,00 R\$ (782,97 USD), así como facilita las condiciones de acceso a inmuebles a familias con una renta mensual de hasta 5.000,00 R\$ (2.446,78 USD). Funciona en asociación con los estados, los municipios, las empresas y las organizaciones no gubernamentales. La primera fase construyó un millón de viviendas y la segunda pretende suministrar dos millones de casas hasta 2014 [18][19]. Obs.: la conversión de moneda se basa en los tipos de cambio de diciembre de 2012 [7].

<sup>16</sup> Institución responsable de la gestión del programa [18].

<sup>17</sup> Empresa 10 del capítulo 5.

nacional, cuyas obras se publican en revistas nacionales e internacionales (llamada empresa “I”), por medio de su director; **f**) y un arquitecto brasileño también de referencia nacional en construcción de madera (denominado arquitecto “A”). En los tres primeros grupos (a, b, c) se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas y en los tres últimos (d, e, f), entrevistas no estructuradas.

Se realizó una encuesta a **ingenieros y arquitectos** que operan en el mercado, así como a alumnos del curso de posgrado “Gestión de proyectos de sistemas estructurales” de la Escola Politécnica de la Universidade de São Paulo, participantes de la asignatura obligatoria “Dimensionamiento de estructuras de madera”, con la intención de entender las motivaciones que les llevaron a matricularse en un curso que trata, entre otras cosas, de estructuras de madera, conocer sus intenciones al respecto del trabajo con el material y comparar algunos resultados encontrados en artículos que tratan de la opinión de profesionales técnicos al respecto del uso de la madera para la edificación. El cuestionario contaba con treinta y dos preguntas (abiertas y cerradas) que trataron de la formación del encuestado, su experiencia profesional y su opinión al respecto de los materiales de construcción. La encuesta se realizó durante una clase sobre madera, en octubre de 2013, y se obtuvieron veintidós cuestionarios válidos.

Se seleccionaron once **bancos y agencias de seguros**<sup>18</sup> según su soporte e importancia en el escenario nacional. La posibilidad de financiar o asegurar una vivienda de madera se evaluó por medio del estudio de los contratos genéricos disponibles en los sitios web oficiales, así como a través de una simulación. Esta trató de enviar propietarios o compradores ficticios a las entidades (o sus representantes) para intentar asegurar o financiar la compra de una vivienda de madera. La simulación se realizó en los estados de Paraná (ciudad de Londrina) y São Paulo (ciudad de São Paulo), en agosto de 2012, y permitió entender el funcionamiento de aquellos procesos, así como averiguar las dificultades y diferencias entre los contratos genéricos y la realidad, así como las posibles distinciones entre regiones. Cabe señalar que las entidades no tenían conocimiento previo de la simulación.

Los **expertos** del sector forestal entrevistados fueron: 1) el Prof. Dr. Edson José Vidald da Silva de la Esalq - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz de la Universidade de São Paulo; 2) el Prof. Dr. João Olegário Pereira de Carvalho de la UFRA - Universidade Federal Rural da Amazônia; y de la vivienda social de madera, 3) la Prof. Andrea Naguissa Yuba de la UFMG - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Los dos primeros fueron entrevistados

---

<sup>18</sup> Fueron elegidos cinco bancos: Bradesco, Itaú, Caixa Econômica Federal, Banco do Brasil y Santander; y seis aseguradoras: Porto Seguro, Mapfre, Sul America, Liberty Seguros, Maritima Seguros y Allianz Brasil.



con ayuda de un cuestionario semiestructurado como guión, al primero de manera personal, en agosto de 2012, y al segundo por Skype, en diciembre de 2012, a la tercera se le envió un cuestionario con preguntas abiertas por correo electrónico, en noviembre de 2013.

La **organización no gubernamental** considerada fue Greenpeace. Se realizó una entrevista no estructurada a un activista de Greenpeace responsable de temas relativos a la Amazonia.

### **3.3 Resultados y discusión**

Los resultados se presentan y discuten en dos partes: la primera referente a la contribución de los consumidores y la segunda, al contenido aportado por los agentes de la cadena de construcción de madera. Las deducciones relativas a las encuestas hechas con los consumidores se presentan por asunto de interés.

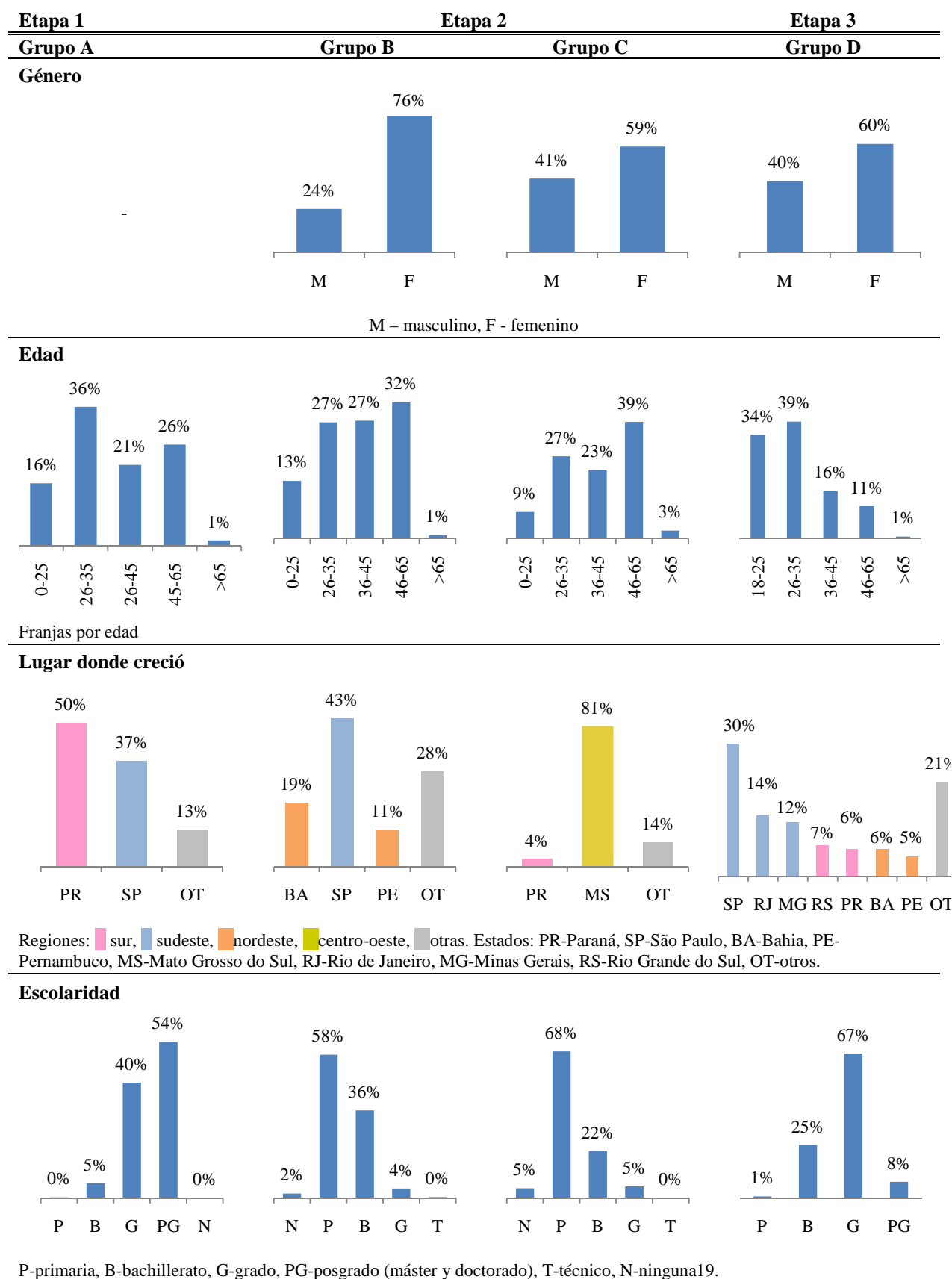
#### **3.3.1 Opiniones del consumidor**

##### **3.3.1.1 Perfil de los encuestados**

Con carácter previo, se presenta el perfil de los participantes para que se puedan entender los resultados obtenidos y las discusiones al respecto de las diferentes posiciones según el grupo del muestreo. Hubo cuatro agrupaciones de perfiles distintos (Tab. 3. 1):

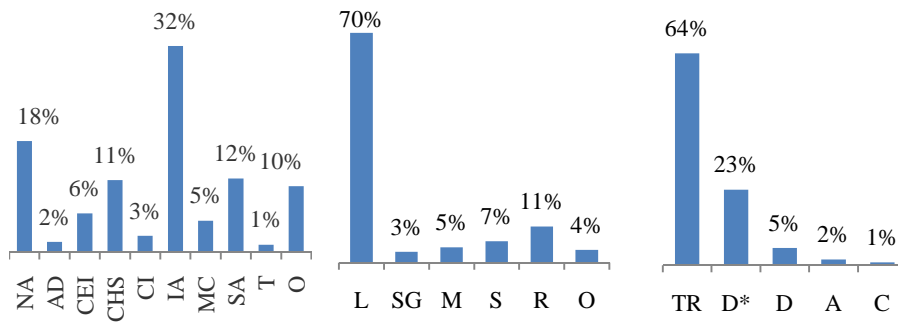
- El grupo A (encuestados de la etapa 1) estaba formado por personas de clases económicas más altas y con mayor nivel de escolaridad, procedentes en su gran mayoría del sudeste (de estado de São Paulo-SP) y sur (del estado de Paraná-PR).
- El grupo B (encuestados de la etapa 2) estaba integrado por personas con un menor nivel de escolaridad y pertenecientes a clases económicas de la base social, procedentes en su mayoría del sudeste (SP) y nordeste (del estado de Bahia-BA y Pernambuco-PE) y residentes en zona urbana.
- El grupo C (encuestados de la etapa 2) estaba formado por personas con menor nivel de escolaridad y pertenecientes a clases económicas de la base social, procedentes en su mayoría del centro-oeste (estado de Mato Grosso do Sul – MS) y residentes en la zona rural.
- El grupo D (encuestados de la etapa 3) compuesto por personas mejor distribuidas entre los niveles sociales, pero aún concentradas en la clase económica media-alta, la mayoría con estudios universitarios y procedentes del sudeste del país.

Tab. 3. 1 - Tabla de comparación del perfil de los respondientes de las muestras



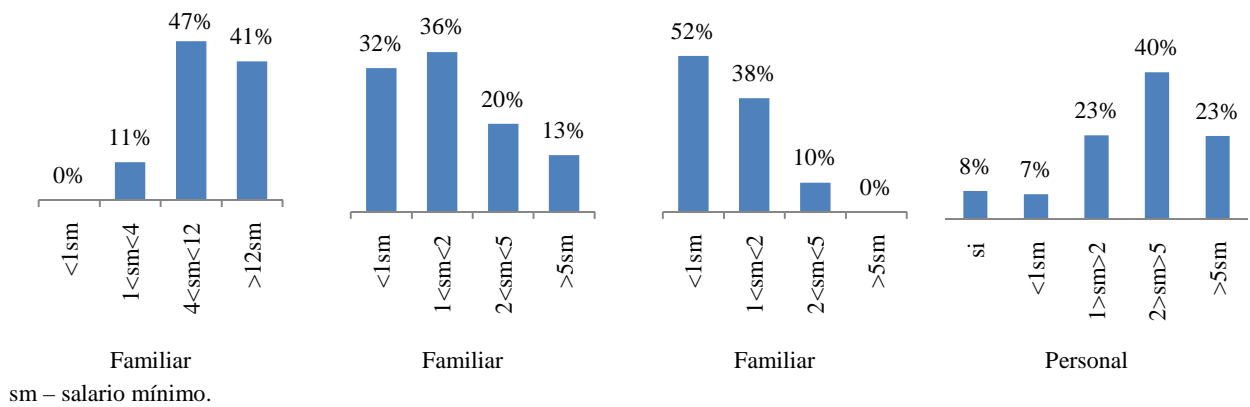
<sup>19</sup> Según equivalencia aproximada entre el sistema educativo brasileño y español [25][26].

**Profesión**



NA-negocios y administración, AD-artes y diseño, CEI-ciencias exactas e informática, CHS-ciencias humanas y sociales, CI-comunicación e información, EA-ingeniería y arquitectura, MC-medio ambiente y ciencias agrarias, SA-salud, T-técnicos, L-limpieza, SG-servicios generales, M-mantenimiento, S-seguridad, R-restauración, TR-trabajador rural, D\*-desempleado (ocupación doméstica), D-desempleado (sin empleo), A-autónomo, C-comercio, O-otros.

**Ingresos mensuales**



**3.3.1.2 Imagen colectiva de la construcción de madera en Brasil**

La imagen encontrada en el inconsciente colectivo de los encuestados fue diferente según el grupo estudiado. Los grupos A y C relacionaron la construcción de madera con edificaciones en tapajuntas y prefabricadas (el 50% y el 63%, respectivamente), el grupo B, con chabolas y palafitos (el 48%) (Fig. 3. 4).



**Vivienda de madera (tapajuntas)**  
Fuente de la ilustración: [27]



**Vivienda de madera (prefabricada)**  
Fuente de la ilustración: [28]



**Chabolas**

Fuente de la ilustración: [29]



**Palafitos**

Fuente de la ilustración: [30]

**Fig. 3. 4 – Imágenes más recordadas por los encuestados acerca de viviendas de madera**

No se encontró correlación entre la imagen y la clase económica o el lugar de procedencia del encuestado. Lo que supone que hay una conexión entre la imagen de construcción de madera, la experiencia vivida y la cultura local. El grupo A, por ejemplo, está concentrado en las regiones sudeste (SP) y sur (PR). En la primera región, las viviendas de madera no son muy comunes en las ciudades y están más asociadas a inmuebles de veraneo (principalmente las prefabricadas). La ciudad de Campos do Jordão (en el estado de São Paulo) es un ejemplo donde la madera se utiliza con fines turísticos, incluso las construcciones en albañilería utilizan falsas estructuras de madera para crear un ambiente pintoresco (Fig. 3. 5). En la segunda región, las viviendas de madera (principalmente tapajuntas) se ven comúnmente tanto en las ciudades como en el campo y su imagen se ha convertido en algo común. El contacto con una vivienda de tapajuntas se produce de manera espontánea sin que el tipo constructivo o el material produzcan extrañeza (Fig. 3. 6). Además, por tratarse de personas de clase social alta (grupo A), las chabolas, presentes principalmente en las grandes ciudades, pueden haber recibido menos atención, ya que no es una opción de vivienda para este grupo.



Fuente de la ilustración: [31]



Fuente de la ilustración: [32]

**Fig. 3. 5 - Imágenes de la ciudad de Campos do Jordão, estado de São Paulo**



Fuente de la ilustración: [33]



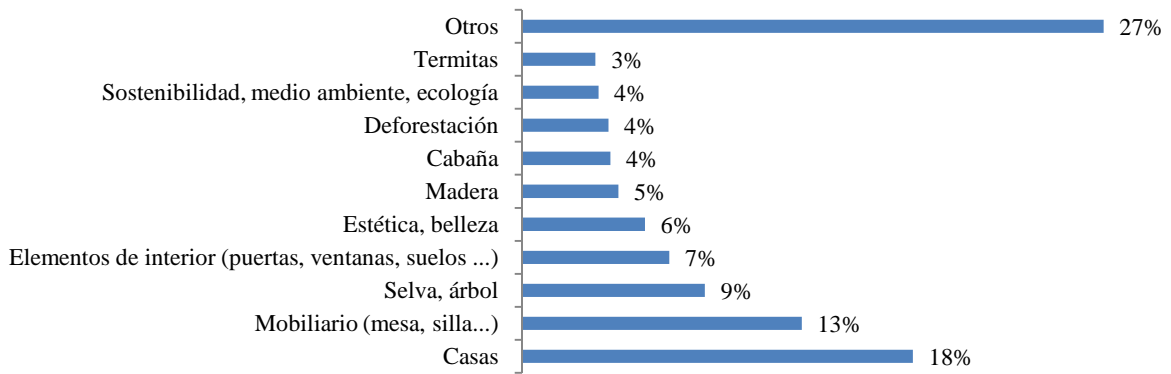
Fuente de la ilustración: [34]

**Fig. 3. 6 - Casas de madera (tapajuntas) en la zona urbana de la ciudad de Curitiba, estado de Paraná**

El grupo C, concentrado en el estado de Mato Grosso do Sul, aunque en una clase económica más baja, relató el mismo tipo de imagen recordado (tapajuntas y prefabricados), que puede estar relacionado con la cultura local formada, en parte, por migrantes de las regiones sur y sudeste e inmigrantes europeos [35][36]. El vínculo con chabolas y palafitos apuntado por el grupo B, puede estar asociado con el lugar de residencia o procedencia. Durante la encuesta se observó el relato de personas que declararon que viven en “favelas” (o poblados chabolista) y alguna que perdió su vivienda en incendios. Los palafitos no son muy comunes en São Paulo (procedencia de la mayoría de los encuestados de este grupo) pero pueden encontrarse más en el estado de Bahia (nordeste del país), de donde proceden cerca del 19% de este grupo.

Si se comparan el porcentaje de viviendas construidas con madera reaprovechada (chabolas) de los principales estados de las muestras A, B y C, que son Paraná, São Paulo y Bahia, se nota que en el primero solamente un 2% de las viviendas de madera están hechas con material reutilizado, mientras que en los dos otros estados son un 20% y un 73%, respectivamente (datos de 2009) [8]. Esto podría explicar, en parte, el tipo de imagen recordada. Cuando preguntados a las muestras B y C qué tipo de vivienda aparenta más riqueza, entre el 84% y el 87% respondieron que la albañilería en detrimento de la madera. Julin [37] expone que la relación de la madera con construcciones pobres es un concepto ampliamente difundido.

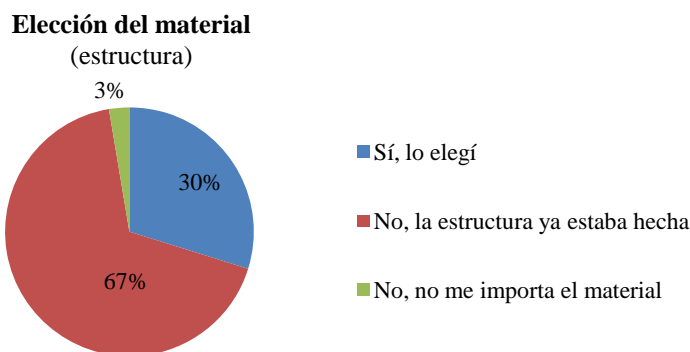
Al grupo D no se le pidió relacionar construcción de madera con una imagen sino con una idea. Los dos conceptos más citados fueron casa (18%) y mobiliario (13%). Los demás no tuvieron relación entre sí, variando entre significaciones generales, como ecología, y específicas, como cabaña. La deforestación se refirió porcentualmente un poco más que la sostenibilidad, pero ninguna se encontraba entre las significaciones más recordadas. Percepciones negativas, como degradación o incendio, por ejemplo, no alcanzaron porcentajes considerables (excepto termitas, con un 3% de las respuestas) (Gráf. 3. 1).



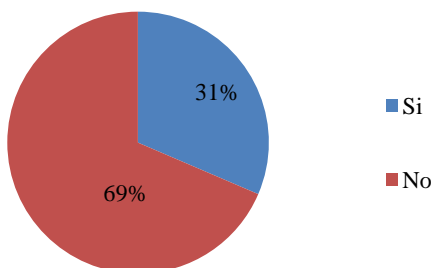
Gráf. 3. 1 - Conceptos relacionados a construcción de madera

### 3.3.1.3 Opiniones sobre la madera como material para la construcción de viviendas

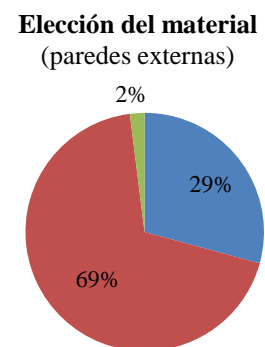
De manera general, las personas del grupo D no tienen la oportunidad de elegir los materiales utilizados en su vivienda. Entre el 67% y el 69% no pudieron decidir el material de la estructura o las paredes externas de su domicilio, pues estos ya estaban contruidos cuando se adquirió el inmueble. La mayoría de ellos está satisfecho con los materiales de su vivienda, aunque entre al 31% y 38% le gustaría cambiarlo si fuera posible. (Gráf. 3. 2, Gráf. 3. 3)



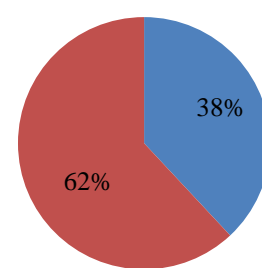
Deseo de cambiar el material (estructura)



Gráf. 3. 2 - Elección de los materiales de la estructura del domicilio actual

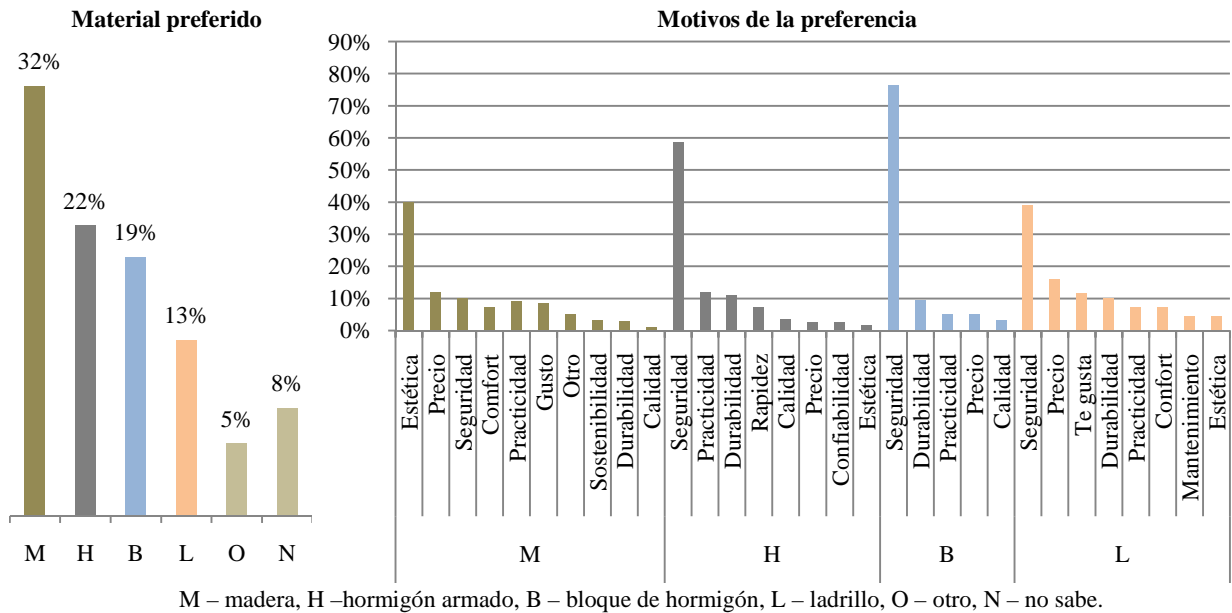


Deseo de cambiar el material (paredes externas)

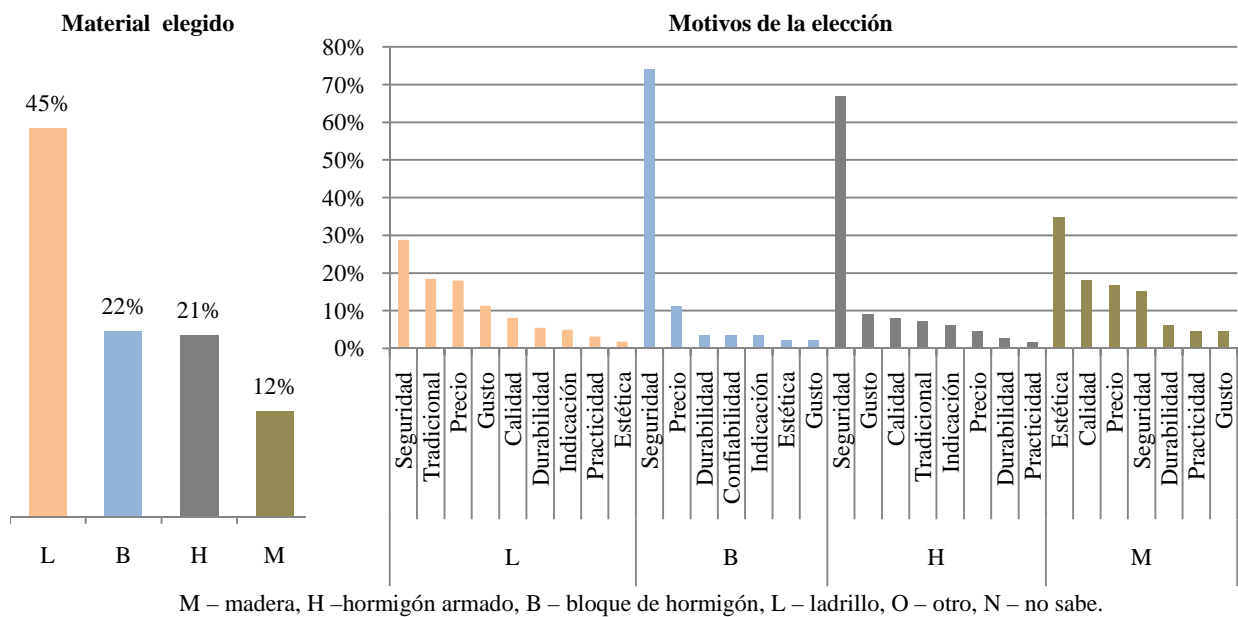


Gráf. 3. 3 - Elección de los materiales de las paredes externas del domicilio actual

Los que querían cambiar el material de la estructura (31%), declararon que lo harían por madera (32%), hormigón armado (22%) y bloque de hormigón (19%), entre otros. La elección de la madera se basaba esencialmente por razones estéticas y de precio; del hormigón armado y el bloque de hormigón, en la seguridad (resistencia del material) (Gráf. 3. 4). Las personas que pudieron elegir el material de la estructura de su vivienda (30%) prefirieron el ladrillo porque les parecía seguro, barato y convencional; el bloque de hormigón u hormigón armado, por seguridad; y la madera, por estética, calidad y precio (Gráf. 3. 5).

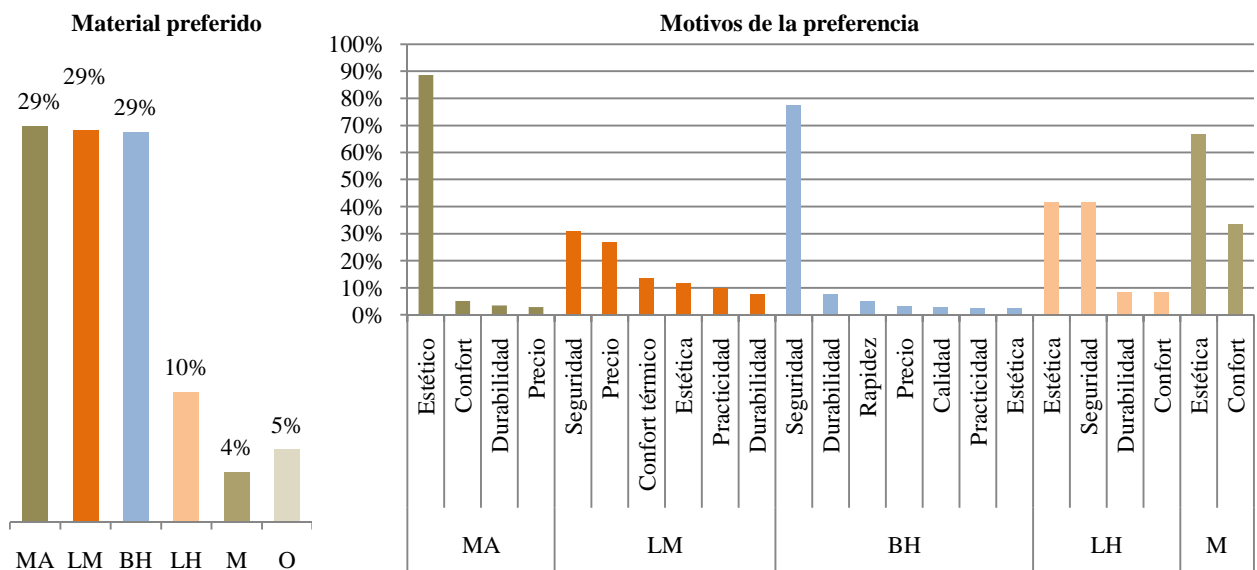


Gráf. 3. 4 - Elección hipotética del material para la estructura de la vivienda



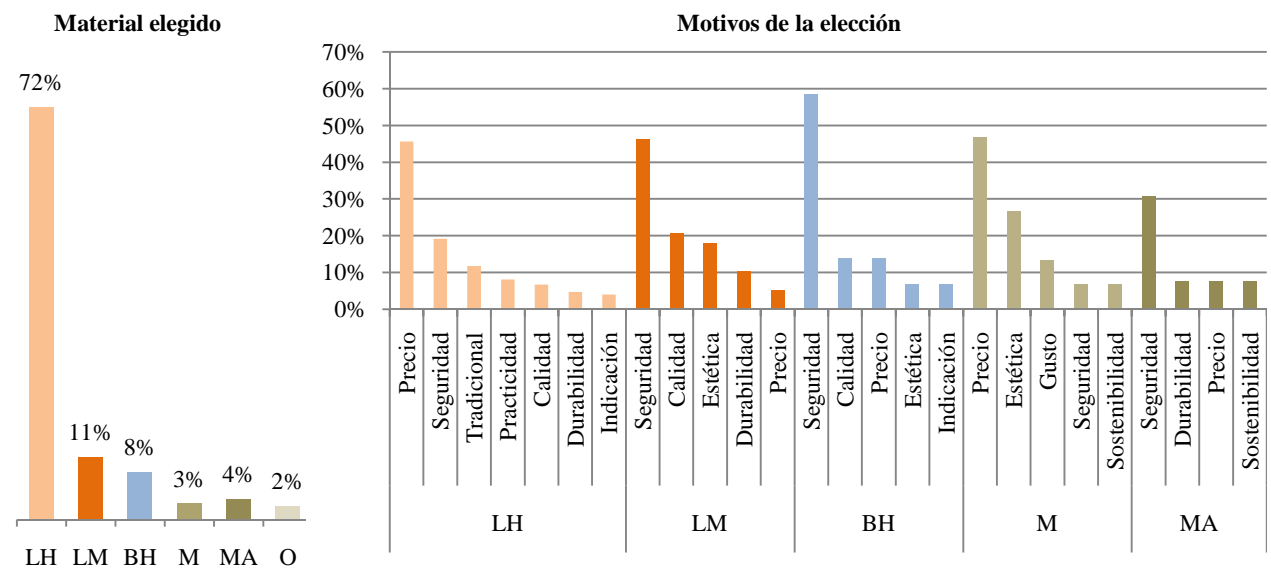
Gráf. 3. 5 - Elección real del material para la estructura de la vivienda

Como se ha visto, la elección revelada (o real) difiere de la declarada. Lo mismo pasa con los materiales de las paredes. En una situación hipotética de elección, los encuestados a los que les gustaría cambiar el material de la pared exterior de su vivienda (38%) declararon que preferían la madera aplanada por una razón de estética, el bloque de hormigón, por seguridad y el ladrillo, por seguridad y precio (Gráf. 3. 6). De aquellos que pudieron efectivamente elegir el material de las paredes externas, un 83% prefirió el ladrillo por razones de seguridad y precio. En los dos casos de preferencia revelada se nota que **seguridad y precio** son los factores que han influenciado más fuertemente las decisiones reales (Gráf. 3. 7).



MA-madera aserrada aplanada, LM-ladrillo macizo, BH-bloque de hormigón, LH-ladrillo hueco, M-madera aserrada, O-otro.

Gráf. 3. 6 - Elección hipotética del material para las paredes externas de la vivienda



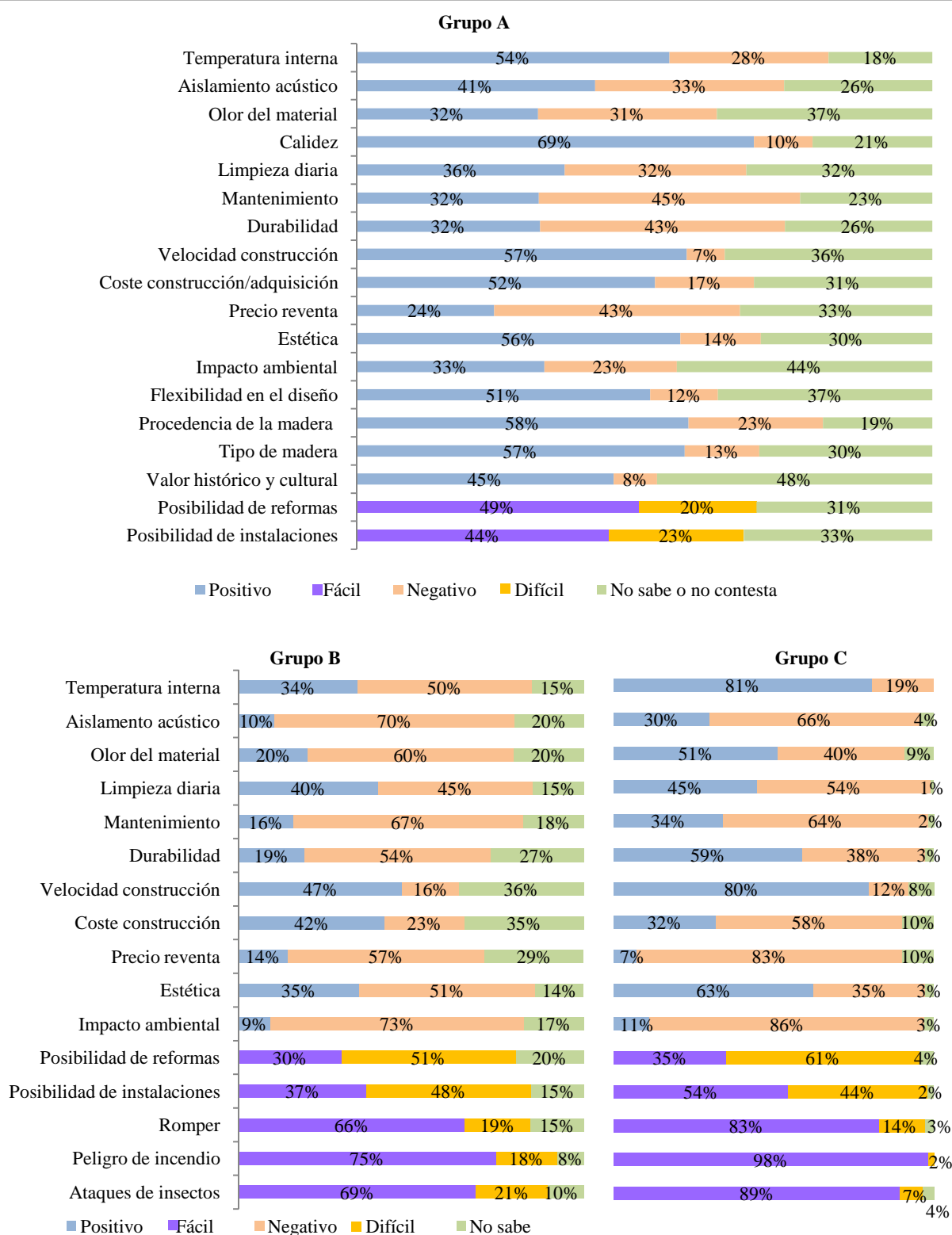
MA-madera aserrada aplanada, LM-ladrillo macizo, BH-bloque de hormigón, LH-ladrillo hueco, M-madera aserrada, O-otro.

Gráf. 3. 7 - Elección real del material para las paredes externas de la vivienda



La madera, usualmente, no se usa en la construcción de viviendas, pero ha sido citada como opción de material para este fin en todas las pruebas de preferencia declarada. Su elección está fuertemente relacionada con la **estética**, que no es uno de los aspectos identificados que tienen una mayor importancia en el proceso de compra de una vivienda. El Grupo de Trabajo Suizo para la Investigación en Madera reveló que la estética fue el motivo principal de que los promotores inmobiliarios, arquitectos e ingenieros utilizaran la madera ([38] apud [39]). La relación de la madera con la estética en un elevado porcentaje de respuestas puede indicar que las personas no saben mucho sobre el material o no tienen una experiencia previa con él. Esto puede aumentar las dudas sobre el material durante una toma de decisión y dificultar su elección real.

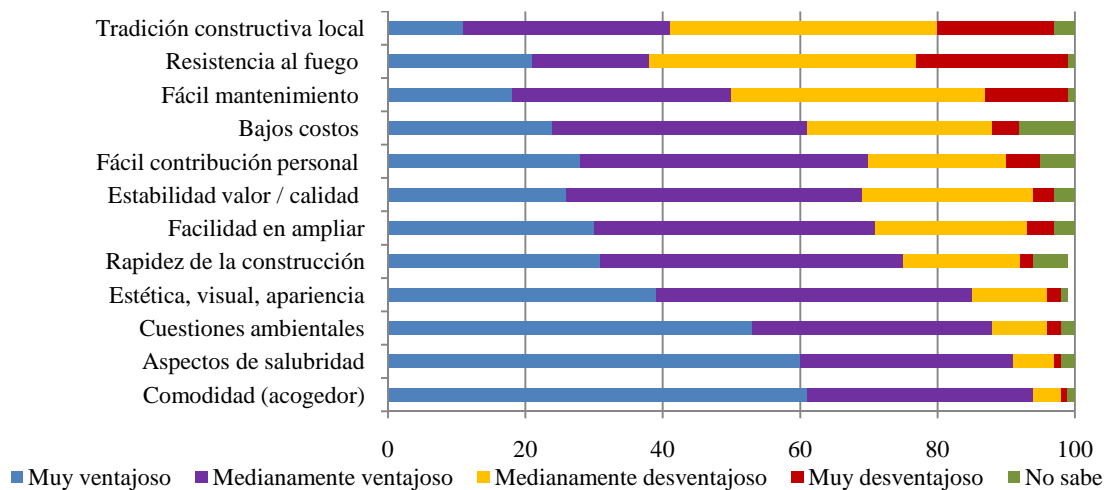
En los grupos A, B y C, los principales puntos negativos comunes encontrados al respecto de la madera fueron la durabilidad, la seguridad, el mantenimiento y el valor de reventa; mientras que los positivos fueron la estética, el confort y la velocidad de construcción (Gráf. 3. 8). En este apartado también hubo diferencias entre las respuestas de los grupos, donde el grupo B no consideró ningún factor positivo de la madera, lo que es comprensible, ya que este grupo relaciona la construcción en madera con chabolas y palafitos y la experiencia de vivir en este tipo de vivienda no puede llevar a tener una experiencia positiva sobre el material. El grupo B presentó más dudas sobre los parámetros dados en comparación con el grupo C, lo que indica que la experiencia puede aumentar el conocimiento del material, ya que en el grupo B, el 55% de las personas habían vivido en casas de madera, mientras que en el C eran el 92% (Gráf. 3. 12). Tal vez este también pueda ser uno de los motivos por el que el grupo C fue el único que apuntó la durabilidad como punto positivo (el 59% de la muestra) (Gráf. 3. 8).



**Gráf. 3. 8 - Opinión sobre parámetros relacionados con la madera como material para la construcción de viviendas (respuesta de los grupos A, B y C)**

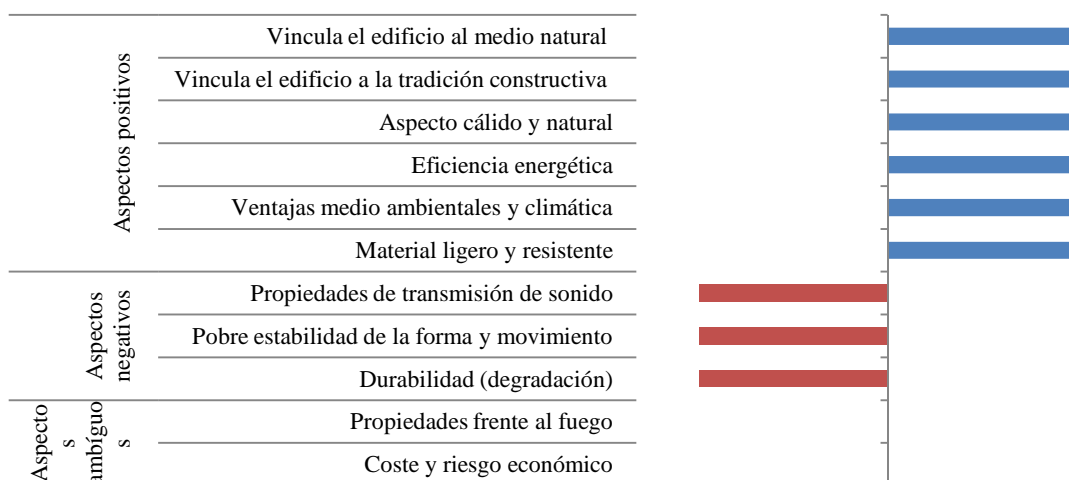
Cerca del 68% del presupuesto de las clases económicas medias-bajas se destina a reformas, mientras que de las clases altas está alrededor del 32% [40], tal vez por ello, el mantenimiento sea un punto de preocupación. Los principales aspectos negativos relacionados con la madera no son exclusivos de la opinión de los brasileños, puesto que en otros países las

preocupaciones al respecto del material son equivalentes. En Reino Unido, la durabilidad fue el principal motivo de inquietud relacionado con las edificaciones de madera [41] (Gráf. 3. 15, Gráf. 3. 16), mientras que, en Alemania, una muestra representativa de consumidores apuntó la resistencia al fuego, la durabilidad y la estabilidad como sus principales debilidades [39] (Gráf. 3. 9). En Suecia, arquitectos e ingenieros estructurales indicaron la inestabilidad, la descomposición del material y la transmisión del sonido como preocupaciones que les hace ser reacios al uso de la madera [42] (Gráf. 3. 10). Como puede verse, la preocupación con durabilidad y la seguridad contra incendios, al contrario de lo que dice Julin [37] que serían conceptos erróneos comúnmente existentes en *países en desarrollo*, son inquietudes que están presentes en diferentes lugares, incluso en aquellos con mayor tradición en construcción de madera y más tecnología.



**Gráf. 3. 9 - Ventajas asociadas a la construcción de madera por parte de una muestra representativa de consumidores en Alemania**

Fuente de referencia de datos: [39]

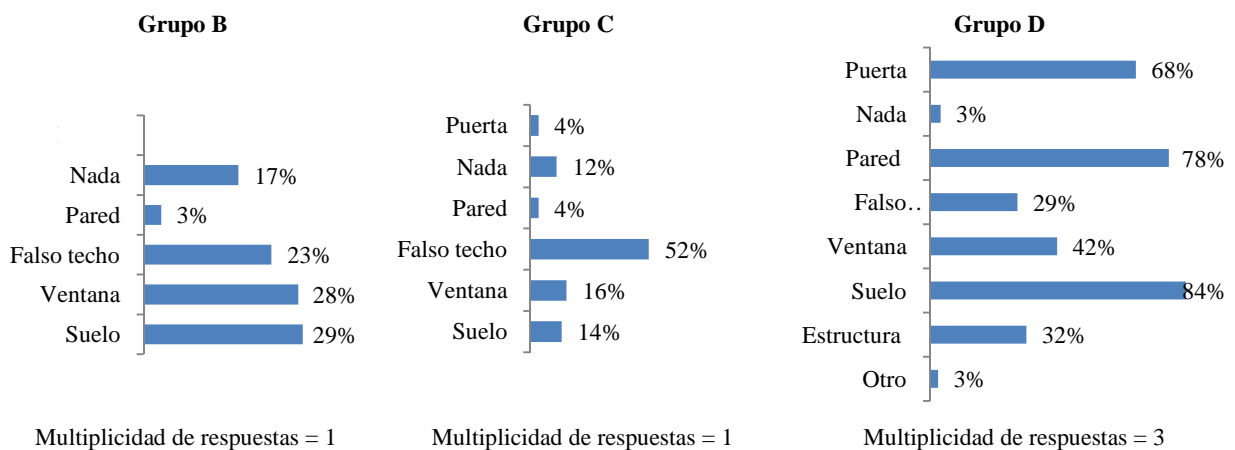


**Gráf. 3. 10 - Opiniones de ingenieros estructurales y arquitectos sobre la estructura de madera para edificios de varias plantas en Suecia**

Fuente de referencia de datos: [42]

Los puntos positivos que señalaron los profesionales suecos fueron los bajos costes, la flexibilidad, el poco peso y el impacto ambiental, así como la oportunidad de utilizar métodos industrializados [42]. La población alemana declaró como ventajas el confort (bienestar), la estética y el respeto al medio ambiente [39]. En otro estudio realizado en Alemania, consumidores que eligieron madera para su vivienda apuntaron el precio y la velocidad de construcción como factores positivos y la necesidad de mantenimiento, el corto periodo de vida y las patologías resultantes del secado insuficiente antes del uso, como factores negativos ([43] apud [39]). Gold (2009) [39] cree que los factores favorables citados son significantes, pero no suficientemente fuertes, por sí solos, para definir la elección del material. Así se constató también en el último muestreo de nuestro estudio, cuando se evaluaron las preferencias declaradas y reveladas.

Cuando se les cuestionó (grupos B, C y D) sobre dónde utilizarían madera en sus viviendas, la mayoría contestó que en las puertas, el suelo, el falso techo y las ventanas (Gráf. 3.11). Se puede percibir que los usos preferenciales se hallan en elementos no estructurales de la vivienda, como pilares, vigas o paredes. De un 3% a un 17% de las personas no utilizarían madera en ningún sitio de su vivienda, lo que muestra que el número de personas que rechaza la madera totalmente es minoritario. Bysheim y Nyrud (2010) ([44] apud [45]), en un estudio realizado en Noruega, sugirieron que el uso de la madera como material de construcción en zonas urbanas debería empezar por las partes más familiares de la edificación y los tipos relacionados con la construcción clásica de madera con el fin de evitar los riesgos percibidos. Es decir, esta sería una propuesta de (re)introducir la madera en construcción con fines de largo plazo de forma gradual.



**Gráf. 3.11 - Lugares preferidos para utilizar madera en una vivienda (respuesta de los grupos B, C y D)**

Así, se analizó la preferencia por el tipo de madera. En la muestra A, el 70% de las personas declararon que este factor puede influir en la decisión. En el grupo B, un 57% contestó que no cambiaría una madera nativa (tropical dura) por una plantada (exótica blanda, como pino y eucalipto); mientras que un 69% del grupo C, sí la cambiaría. Esta diferencia entre las muestras puede deberse a la influencia del INCRA, que muestra la silvicultura como una oportunidad de negocio para las familias establecidas en las tierras que la institución reparte [3]. Los datos obtenidos no fueron suficientes para concluir una preferencia por un tipo de madera, pero se pudo observar que hay diferencias de elección y que la información puede ser un factor influyente.

Sobre los impactos ambientales de la madera, las muestras B y C piensan que usarla es negativo para el medio ambiente. La muestra A, aunque revele que la procedencia de la madera importa, no mostró un consenso sobre si las emisiones de CO<sub>2</sub> son un factor positivo (33%) o negativo (23%). Estos resultados indican que puede haber adoctrinamiento unilateral o falta de información sobre aspectos de la sostenibilidad y cambio climático relacionados con la madera (Gráf. 3. 8).

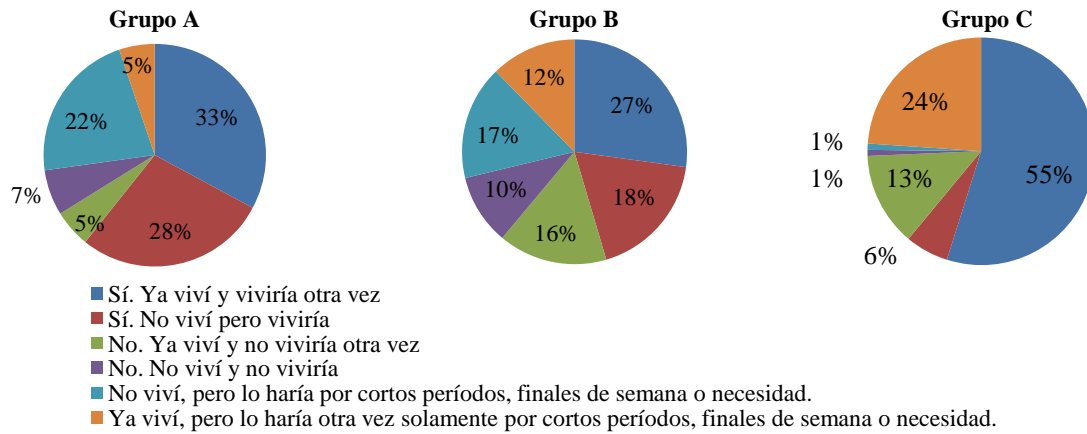
#### **3.3.1.4 Aceptabilidad de viviendas de madera**

Según la PNAD [8], la mayoría de las personas viven en viviendas de albañilería y el porcentaje tiende a aumentar en todas las regiones de Brasil y entre todas las clases económicas. El número de viviendas de madera se mantiene prácticamente constante desde 1970 (cerca de 4,1 millones de unidades viviendas) pero su porcentaje ha bajado constantemente (hasta llegar al 6,8%, en 2011 [8]). Las viviendas de madera se concentran en la región sur (52%) y norte (37%), mientras que las demás distribuidas se encuentran en el centro-oeste (6%), sudeste (4%) y nordeste (1%) (2011) [8].

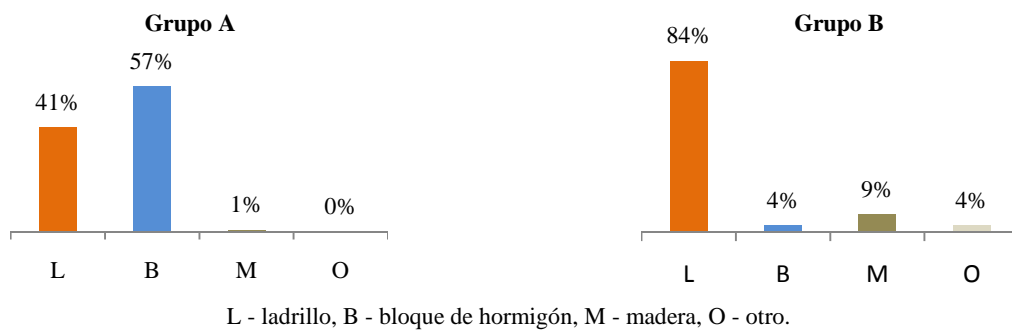
La reducción de aquel mercado no parece ser un hecho exclusivo de Brasil, países con una cultura favorable a la construcción de madera también mostraron su preferencia por la albañilería. En Alemania, las viviendas multifamiliares de madera han estancado en el 2%, en los últimos diez años, y aunque las viviendas unifamiliares de madera hayan aumentado del 9% (1993) al 14% (2007), la mayor parte de las viviendas siguen construyéndose en albañilería [46].

En los muestreos A, B y C, del 43% al 92% de los encuestados declararon que han vivido en una casa de madera. De estos, entre el 49% y el 77% afirmaron que lo harían de nuevo y, entre el 12% y el 29%, no lo harían (Gráf. 3. 12). Es importante tener presente que el hecho de que declaren que vivirían de nuevo en una vivienda de madera no es una afirmación de preferencia, sino de posibilidad, puesto que algunos encuestados comentaron verbalmente que si

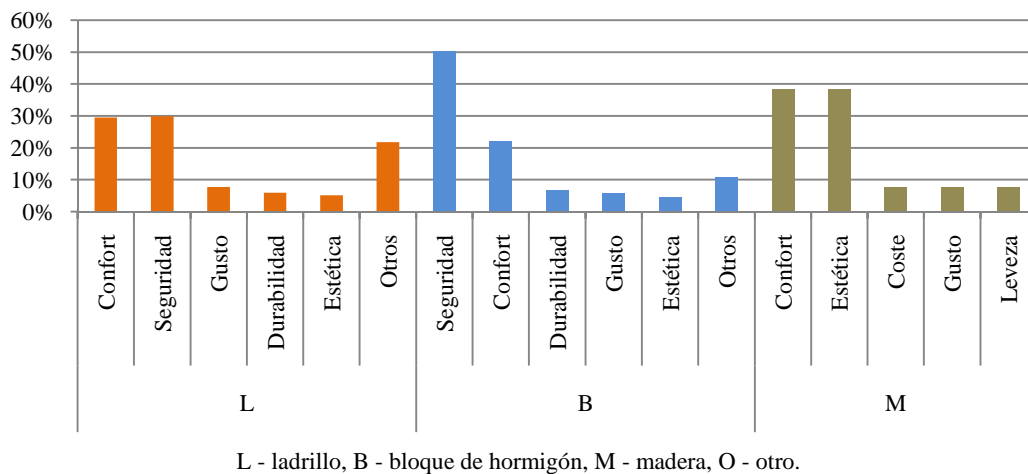
fuera necesario o no hubiera otra opción vivirían ahí, pero que prefieren otro tipo de construcción. Cuando se les preguntó (grupo B y C) en qué tipo de vivienda prefieren residir, entre el 88% y el 98% declararon que en vivienda de albañilería<sup>20</sup>, por la seguridad y el confort (Gráf. 3. 13, Gráf. 3. 14).



Gráf. 3. 12 - Posibilidad de vivir en una vivienda de madera (respuesta de los grupos A, B y C)



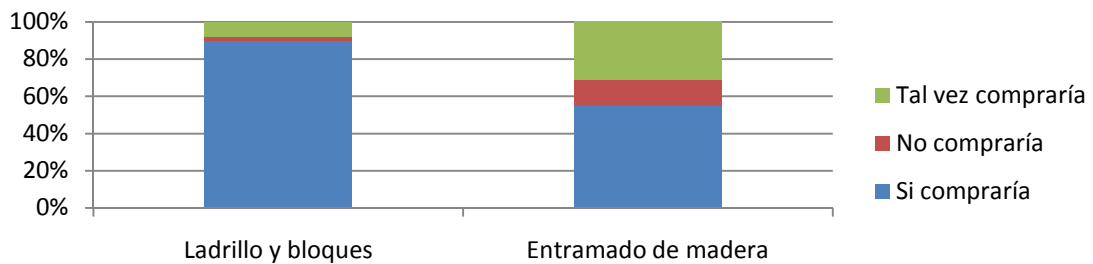
Gráf. 3. 13 - Declaración de preferencia por una técnica de construcción para su vivienda (respuesta de los grupos A y B)



Gráf. 3. 14 - Motivos declarados para la preferencia por una técnica de construcción para su vivienda (respuesta de los grupos A y B)

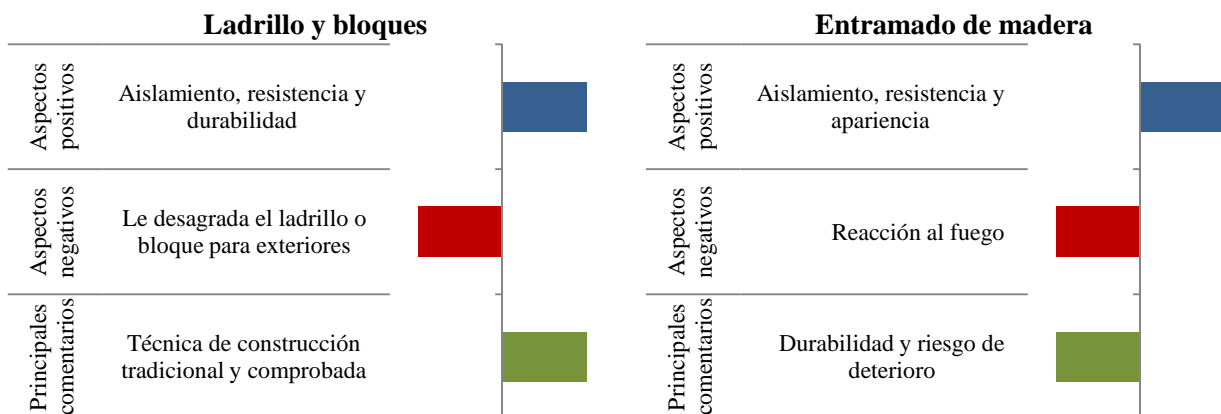
<sup>20</sup> Basada en hormigón armado y ladrillo o bloques de hormigón.

Incluso en países con un mayor porcentaje de construcciones de madera que Brasil, como Reino Unido (Gráf. 3. 15, Gráf. 3. 16) y Alemania, se observa una preferencia por la albañilería [41]. En Canadá, un estudio realizado entre compradores de viviendas en urbanizaciones y comunidades de propietarios mostró la preferencia por el hormigón frente a la madera (2003) [47]. En China, donde existe una tradición milenaria de construcción de madera, su uso ha disminuido debido a la industrialización y la escasez de materias primas, en cambio, el hormigón y el acero han tenido un papel dominante [45].



**Gráf. 3. 15 - Grado de aceptabilidad de técnicas constructivas por parte de posibles compradores de vivienda en Reino Unido**

Fuente de referencia de datos: [41]



**Gráf. 3. 16 - Motivos que influyen en la aceptación de técnicas constructivas por parte de posibles compradores de vivienda en Reino Unido**

Fuente de referencia de datos: [41]

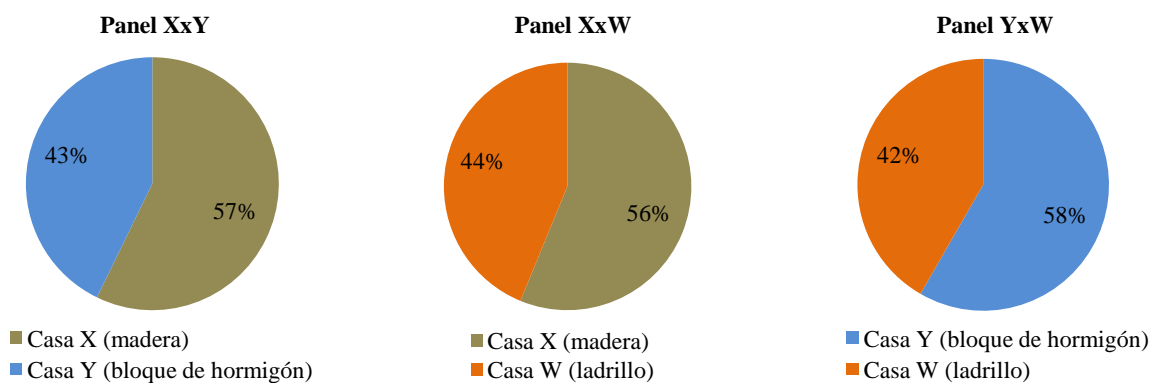
El IBGE [48] señaló algunas condiciones de vida relacionadas con la vivienda, entre ellas, las patologías según el material que se utiliza para la construcción. Se pudo verificar que las viviendas de madera reaprovechada, con frecuencia, presentan humedad en el 51% de los casos, mientras que las de madera aplanada, en el 26% y las de albañilería, en el 30%. La presencia de elementos deteriorados (puertas, suelos, ventanas) se produjo en el 48% y el 69% de las viviendas de madera (aplanada y reaprovechada, respectivamente) y en el 23% de las de albañilería. Además, las viviendas de madera se encuentran en condiciones más desfavorables, pues del 15% al 20% se sitúan en lugares susceptibles de sufrir inundaciones, mientras que solo un 9% de las viviendas de albañilería se encuentran en una situación semejante.

Es evidente que el índice de patologías es mayor en viviendas de madera reaprovechada. También que la probabilidad de generar una arquitectura de madera de baja calidad aumenta cuando se consideran aquellas situaciones en las que existe un considerable índice de autoconstrucción, problemas de control de calidad del material e identificación de especies, así como el hecho de que la formación de ingenieros y arquitectos se centra en el hormigón.

Del 8% al 57% de los encuestados (muestras A, B, C) nunca habían vivido en una casa de madera. De estos, entre el 40% y el 75% declararon que vivirían en una vivienda de madera, y entre el 12% y el 22%, no lo haría. Los porcentajes entre quienes consideran la madera una opción o la rechazan son semejantes al grupo que ya ha vivido en este tipo de residencia (Gráf. 3. 12).

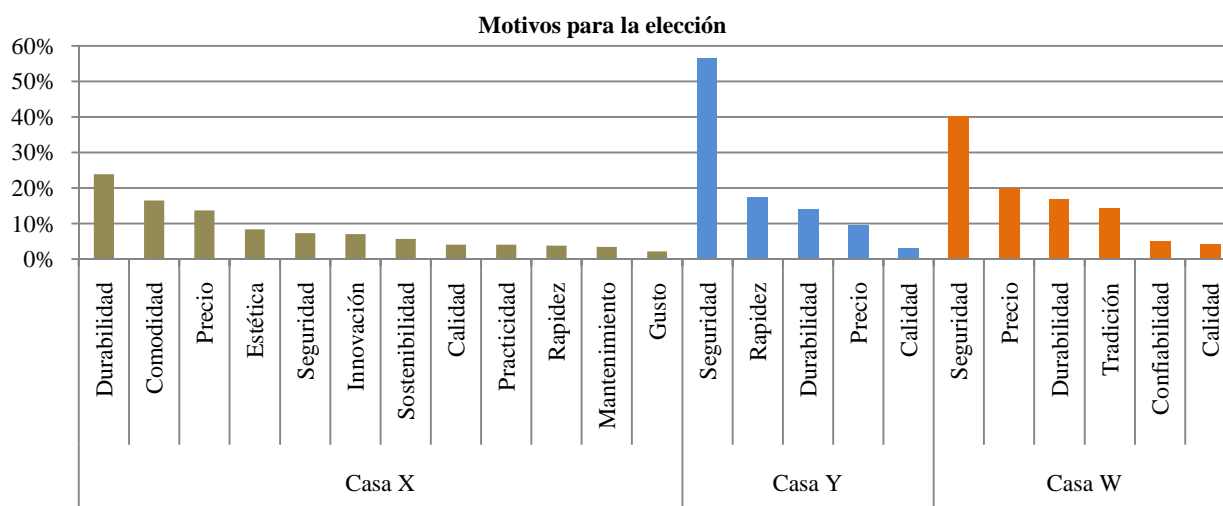
En el grupo D, la aceptación de vivienda de madera se estudió por medio de una prueba de elección entre técnicas de construcción convencionales y en madera no usuales en Brasil. Se hicieron tres paneles donde en uno se comparaba la madera con el bloque de hormigón; en otro, con ladrillo; y en un tercero se compararon el bloque y el ladrillo. Con ello, se pudo observar la preferencia declarada de los entrevistados.

Un 57% de las personas aceptaron el sistema de entramado ligero de madera para casas (Gráf. 3. 17). Sin que se les suministrara ninguna información adicional, los entrevistados justificaron su elección en la durabilidad (24%), el confort (16%) y el precio (14%). Los que escogieron la casa con bloques de hormigón lo hicieron por razones de seguridad (56%), y los que prefirieron casa con estructura de hormigón armado y paredes de ladrillo, lo hicieron por la seguridad (40%) y el precio (20%), como los principales atractivos (Gráf. 3. 18).



Gráf. 3. 17 - Elección entre técnicas de construcción para casa





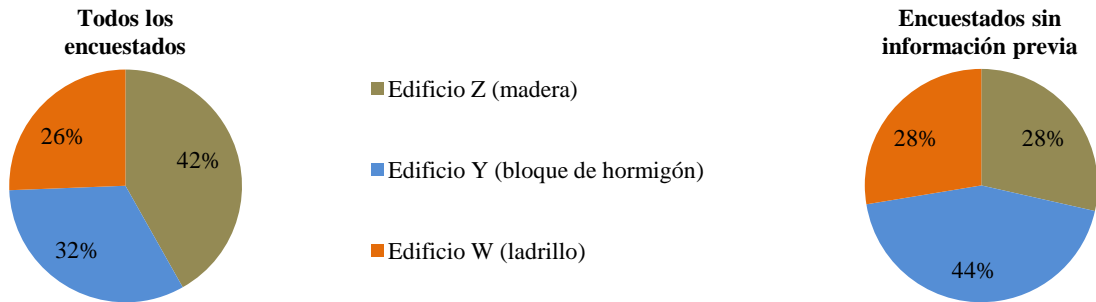
**Gráf. 3. 18 - Motivos para la elección entre técnicas de construcción para casa**

Se comparó la velocidad de construcción, el consumo de energía, el aislamiento térmico y acústico, la facilidad de reforma y la producción de residuos en la construcción entre las tres técnicas de construcción para comprobar si el desempeño de estos factores podría generar un cambio en la elección. En el panel casa X (madera) frente a Y (bloque de hormigón), el 98% de las personas que habían elegido la construcción de madera mantuvieron su elección, y entre quienes habían escogido el bloque de hormigón, el 45% cambiaron de opinión, probablemente debido al consumo de energía y al aislamiento. En el panel que comparó la casa X frente a W (ladrillo), el resultado fue semejante, el 94% de los que eligieron el entramado ligero de madera mantuvieron su opción y el 47% de los que prefirieron ladrillo con hormigón armado cambiaron su preferencia, probablemente debido a velocidad de construcción, el consumo de energía y el aislamiento.

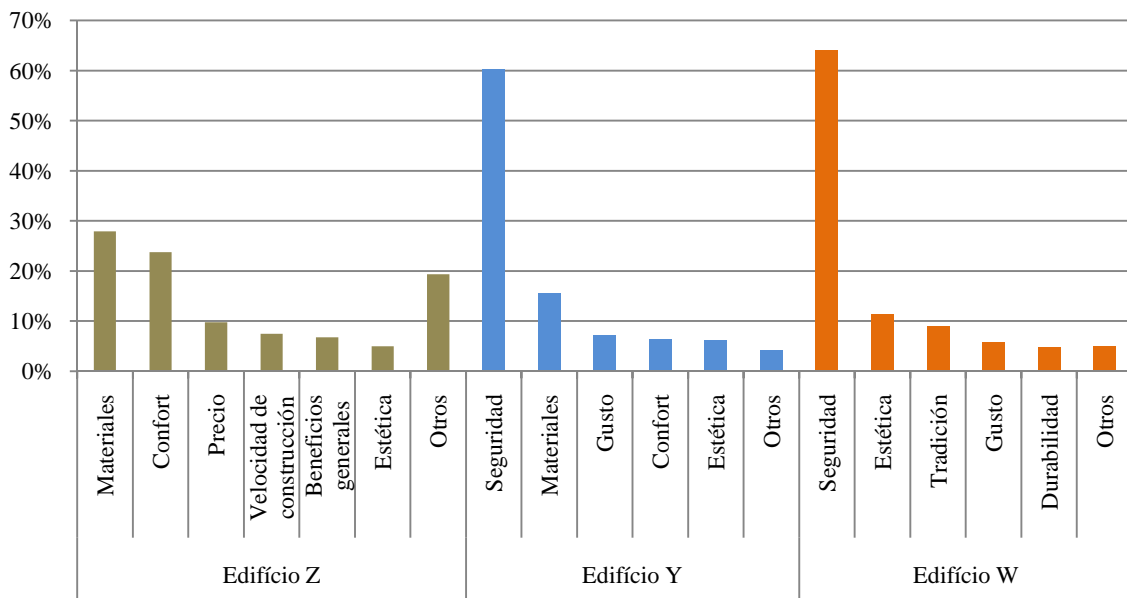
Quienes no eligieron el entramado ligero de madera lo justificaron en que no les gustaban los materiales utilizados o en que dudan de la seguridad de la edificación. Los resultados generales de esta prueba no identificaron un punto fuerte o débil de este sistema. El bloque de hormigón presentó como puntos débiles la dificultad de reforma y el aislamiento, los cuales se consideraron los puntos fuertes del ladrillo.

El mismo tipo de prueba se hizo en edificios verticales, donde en un único panel se compararon técnicas convencionales basadas en bloque de hormigón (Y) o ladrillo con hormigón armado (W) con madera laminada cruzada (Z); y se preguntó dónde comprarían un piso para ser su hogar. El 42% eligió la madera, mientras que el 32% eligió el bloque de hormigón y el 26% ladrillo. Las principales motivaciones para elegir el edificio “Z” fueron los materiales utilizados y el confort (térmico, acústico y sensorial), mientras que para los otros dos materiales, la seguridad (relacionado a solidez y resistencia) (Gráf. 3. 19).

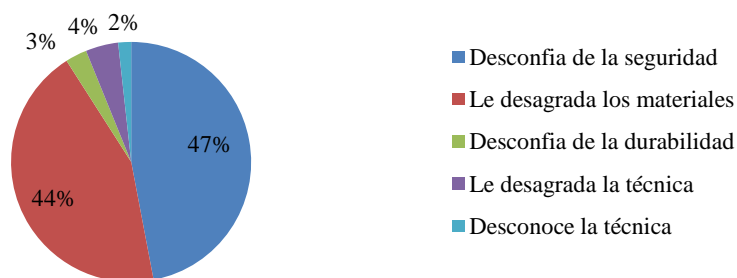
Al extraerse el grupo que participó en los paneles anteriores en los que se presentó otra técnica de construcción en madera, el resultado cambia. Para el 44% de los encuestados, la preferencia pasa a ser el bloque de hormigón (Gráf. 3. 19). Esto puede indicar que las personas pueden comenzar a considerar nuevas tecnologías cuando están bien informadas sobre el objeto y que la seguridad es un importante factor de decisión cuando se trata de vivienda (Gráf. 3. 20).



Gráf. 3. 19 - Elección entre técnicas de construcción en edificios verticales



Gráf. 3. 20 - Motivos para elegir entre técnicas de construcción en edificios verticales



Gráf. 3. 21 - Motivos para no elegir el edificio Z (sistema en madera laminada cruzada)

Las dos primeras razones para elegir el sistema en madera laminada cruzada (CLT) no están entre las principales preocupaciones del público cuando compra una vivienda (Gráf. 3. 20). Estos, en una elección real, valoran prioritariamente la seguridad, el precio y la durabilidad (Gráf. 3. 22). El ladrillo, utilizado en la composición de materiales del CLT, puede haber influido de forma positiva sobre un porcentaje de personas con relación a la aceptación de una nueva tecnología de construcción no conocida en el país. Así, no se considera que los materiales y el confort sean parámetros suficientemente fuertes para influir en una elección real. El índice NI calculado para analizar la probabilidad de una elección real a favor del edificio en CLT fue de 58, lo que significa una baja posibilidad de que ocurra.

Cuando se preguntó sobre los motivos por los que *no* eligieron el CLT, los encuestados contestaron que no se fían de la técnica o no les gustan los materiales utilizados (Gráf. 3. 21). Así, aunque el porcentaje de aceptación inicial del edificio “Z” sea mayor al principio, en la práctica la probabilidad de que esto ocurra es pequeña. La intención de compra normalmente es más alta que la compra real, por consiguiente, los profesionales del *marketing* utilizan el *intent scale translation* [49] para regular esta diferencia, entre la intención y la actitud. Por lo tanto, se cree que los factores que motivan la elección (hipotéticamente) de la técnica de construcción de madera tienen menos peso en el proceso de compra que los factores que motivan su rechazo.

Un estudio de factores que influyen en el surgimiento de un sistema constructivo de madera de varias plantas en Alemania y Reino Unido concluyó que, en estos países, los profesionales de la construcción parecen tener percepciones negativas en relación con las propiedades de la ingeniería de la madera. El público en general, en Alemania y Reino Unido, demostró una percepción negativa similar, mientras que en Suecia esto no ocurrió. Ello puede explicarse probablemente porque allí el público tiene una mayor experiencia con el material, ya que cerca del 90% de las casas unifamiliares son de madera [46], razón por la que tal vez tengan una actitud positiva hacia este tipo de vivienda.

### **3.3.1.5 Factores a considerar en el proceso de comercialización de viviendas**

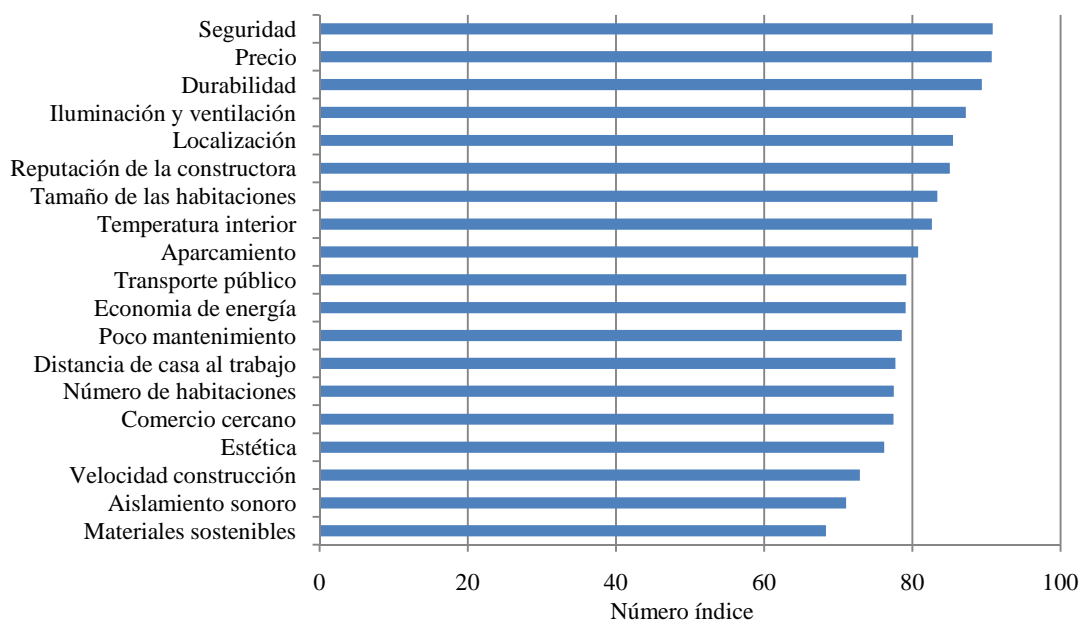
Se estudiaron algunos de los factores que pueden considerarse cuando se comercializa una vivienda utilizando el grupo de muestreo D. Se intentaron identificar los factores relevantes cuando se busca una vivienda, los medios de comunicación más utilizados o las personas e instrumentos que influyen en la decisión de los compradores.

En el proceso de compra de vivienda, los cinco factores más importantes que señalaron los encuestados dentro de una lista predefinida fueron la seguridad (relacionada al vecindario), al precio, la durabilidad, la iluminación y la ventilación y localización (Gráf. 3. 22). Estos factores

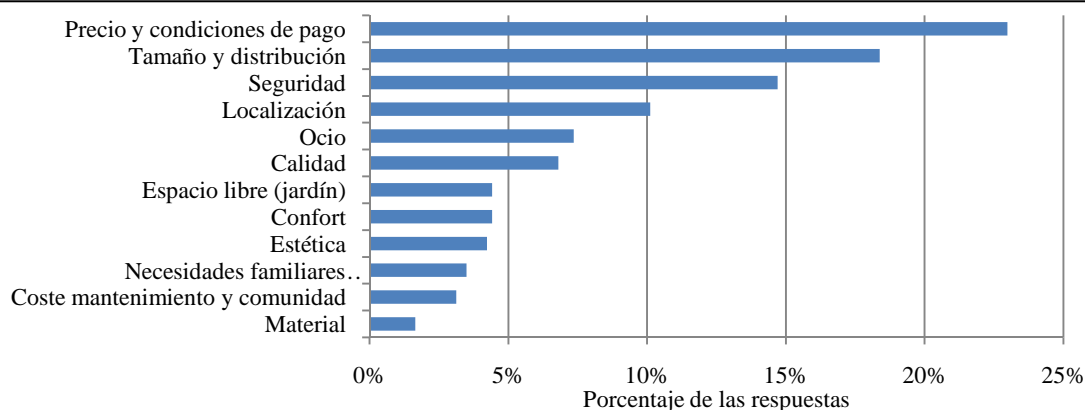
no cambiaron cuando se consideraron únicamente las respuestas del grupo que tiene más del 90% de intención de comprar una vivienda en los dos próximos años. De forma libre, se motivó a los entrevistados a expresar otros aspectos que consideren importantes durante la decisión de compra de una vivienda, a saber, seguridad, precio, localización, infraestructura del barrio y división y tamaño de las habitaciones, respectivamente (Gráf. 3. 23).

La importancia que se da a la seguridad puede interpretarse como un reflejo de la situación de inseguridad (violencia) existente en el país. En otras condiciones, el precio podría ser el aspecto de mayor importancia, como declaran los compradores de viviendas en Reino Unido [41]. Expertos de China apuntaron criterios de decisión para la compra de una vivienda por parte de los consumidores que son semejantes a los de los brasileños: precio, reputación de la zona residencial, seguridad (robos y incendio), tamaño y durabilidad, entre otros [45].

Los materiales prácticamente no influyen en la decisión de compra de un inmueble. En la lista espontánea de factores considerados importantes en este proceso, hubo pocas referencias a los materiales, mientras que en la lista predefinida la sostenibilidad de los materiales fue el de menor importancia (Gráf. 3. 22, Gráf. 3. 23). Cuando se preguntó a los encuestados de manera objetiva sobre la importancia del material en la toma de decisión, el 58% contestaron que casi era seguro que el material influiría. Sin embargo, el índice que demuestra la probabilidad de que se produzca un cambio de opinión en función del material se estimó en 63 (NI), que se considera no significativo de acuerdo con la escala definida para este estudio.



**Gráf. 3. 22 - Grado de importancia de algunos parámetros (predefinidos) en el proceso de compra de un inmueble**



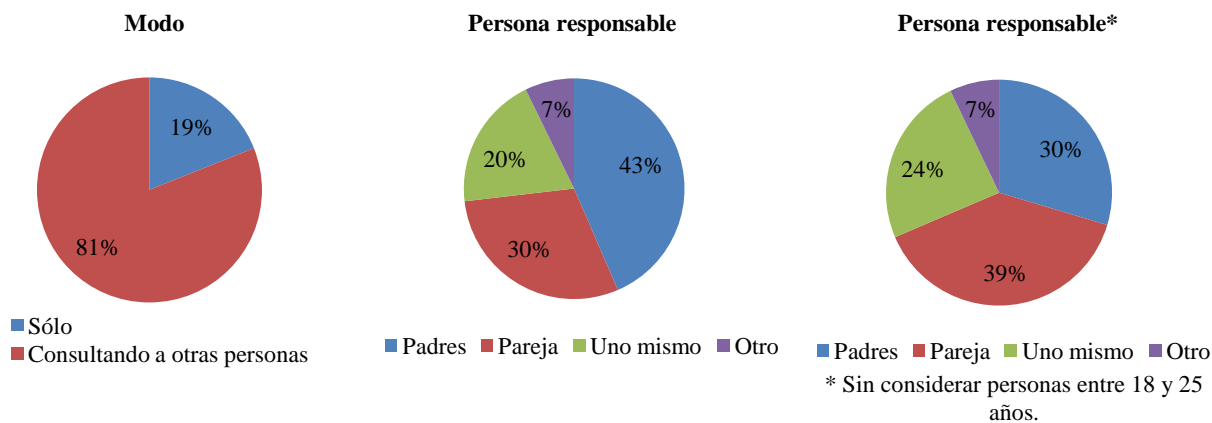
**Gráf. 3.23 - Lista espontánea de factores de importancia en el proceso de compra de un inmueble**

Según los representantes entrevistados de las constructoras (grupo a), los clientes no suelen preguntar sobre el material del que está hecha la vivienda, sino que están más preocupados con la localización y el precio. También comentaron que la elección de los materiales por parte de la empresa depende de una serie de factores, como el precio compuesto, el tipo y la disponibilidad de mano de obra, el suministro y el conocimiento tecnológico adquirido. La decisión generalmente se adopta entre el sector técnico y de contratos. En otros estudios se ha visto que los arquitectos no son los principales responsables de la elección de los materiales, sino que son los contratistas, los ingenieros estructurales o los *building commissioners* [50]. Sin embargo, incluso en Suecia, los arquitectos prefieren el hormigón o el acero para la construcción de edificios (entre 3 y 8 plantas), porque los consideran más eficientes en términos de estabilidad y protección contra el fuego. La madera se ve como una posibilidad innovadora con atractivos ambientales [50].

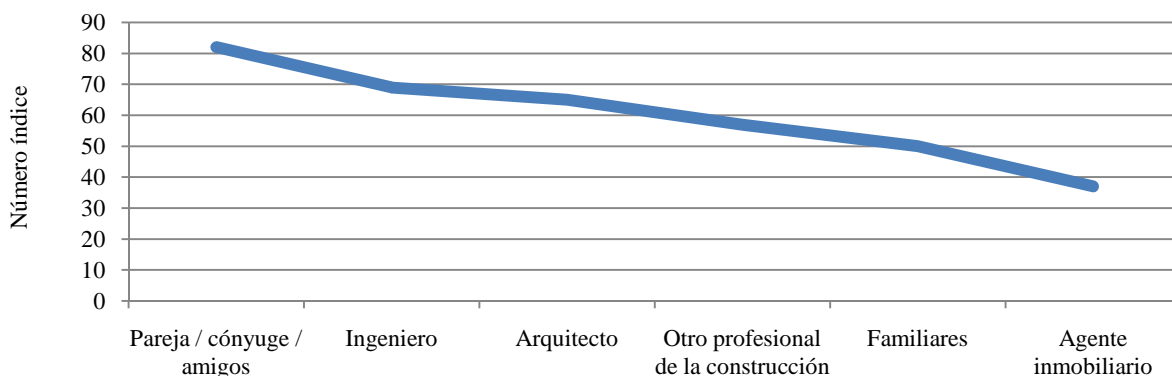
En la muestra estudiada, los arquitectos tampoco son los más consultados a la hora de comprar un inmueble (Gráf. 3.25). Cuando se les preguntó cuáles eran las personas más influyentes en la decisión de compra (entre profesionales y familiares), la pareja fue la respuesta más citada (Gráf. 3.24). Cerca del 81% de los encuestados preguntan a otra persona antes de comprarse una vivienda y el 19% declararon que deciden solos. Los padres son responsables del 43% de las decisiones finales, seguido de la decisión conjunta entre marido y mujer (30%). Si no se considera la parte más joven de la muestra (entre 18 y 25 años)<sup>21</sup>, la decisión que toma la pareja es la más relevante (39%).

<sup>21</sup> No se excluyeron del análisis a los jóvenes entre 18 y 25 años ya que representan un 34% de los propietarios de esta muestra. Del 21% al 29% compró su propia casa, un 31% en los últimos dos años y el 24% tiene más del 90% de la intención de compra en los próximos dos años. Por otra parte, los resultados globales no cambian al excluir a este grupo, excepto las preguntas sobre las personas responsables (o influyentes) en el proceso de compra, los ingresos personales y estado civil, pues, en este grupo existe un mayor porcentaje de solteros con salarios más bajos.

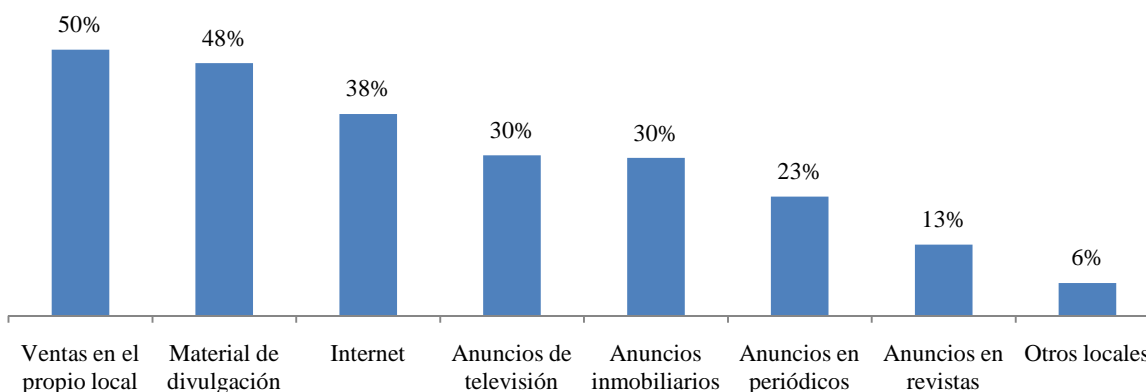
Los medios de comunicación más buscados fueron: locales de venta en el lugar de la construcción, material de publicidad del edificio, Internet, anuncios en televisión, anuncios inmobiliarios, anuncios en periódicos y revistas y otros (Gráf. 3. 26). En esta pregunta, el encuestado pudo elegir más de una opción y la multiplicidad de respuestas fue de 2,4, lo que significa que buscan más de dos medios de información.



**Gráf. 3. 24 - Decisión de compra o construcción de un inmueble**



**Gráf. 3. 25 - Grado de influencia de algunos actores durante el proceso de compra de un inmueble**



**Gráf. 3. 26 - Medios de comunicación más utilizados durante el proceso de compra de un inmueble**

También se quiso conocer el perfil del comprador de viviendas de madera. Con la información del grupo D, se pudo concluir que no hay un público específico potencial. Considerando aquellos que, en la encuesta, optaron por casa de madera, se cruzaron los datos relativos a género, región, clase económica, edad, renta personal mensual, tipo de residencia en la que vive, así como la estructura y paredes. El análisis discriminante señaló que había una fuerte relación (0.971) con el sexo, una relación mediana con la renta personal mensual (0.353) y prácticamente ninguna relación con los demás parámetros. En las pruebas de proporción y media, no se encontró ninguna relación además del género. Por lo tanto, no se tuvo en consideración la renta personal mensual. Sobre el género, se apreció que las mujeres preferían más las viviendas de madera.

Considerando las respuestas de aquellos que escogieron estructura, pared o alguna técnica de construcción en madera y haciendo un análisis cualitativo de los porcentajes de los factores anteriores, las mujeres fueron quienes con más frecuencia eligieron madera, así como las personas que tienen la estructura de sus casas hechas con madera y las personas que ganan de cinco a diez salarios mínimos per cápita al mes. La primera conclusión (género) coincide con el análisis estadístico previo, la segunda (estructura de madera) y la tercera (renta mensual) no coinciden. La aceptación de la madera en construcción por las personas cuyas viviendas ya tienen la estructura de madera puede ser consecuencia de haber tenido una buena experiencia con el material (esto no es válido para las personas cuyas viviendas tienen paredes de madera), pero que este dato se relacione con aquella franja específica de renta no tiene una explicación cualitativa plausible o un resultado cuantitativo fuerte para respaldarlo, de forma que se descartaron estos factores.

### **3.3.1.1 Consideraciones**

Como se ha visto, los materiales se relacionan con algunas características comunes en el inconsciente colectivo. El hormigón se asocia a seguridad, o mejor dicho, a fiabilidad; el ladrillo, a seguridad, precio y tradición; y la madera, a estética. Algunas características son más importantes en el proceso de toma de decisión, mientras que otras no se consideraron muy significativas, como, por ejemplo, la sostenibilidad del material.

La seguridad y el precio están entre las principales las preocupaciones de los consumidores, a diferencia del impacto ambiental de los materiales, que no lo está. La sostenibilidad se situó en el último puesto de importancia entre los factores que interesan a la hora de comprar una vivienda. El concepto de respeto al medio ambiente se asocia a la madera y, en otros estudios, tampoco fue considerado un criterio importante de decisión según el material

([51] y [52] apud [39]). En nuestro muestreo, la producción de residuos en obra tampoco tuvo importancia, mientras que el ahorro de energía presentó un poco más de importancia, probablemente debido a la economía financiera que genera. Según una investigación de Gold (2009) [39], la ecología fue un factor muy valorado, en particular, en lo que está directamente relacionado con las preocupaciones económicas, como, por ejemplo, el ahorro de energía. Cavalheiro (2012) comenta que las soluciones para la sostenibilidad necesitan discutirse y difundirse mejor, deben incorporarse a estándares estéticos y de bienestar cercanos a la realidad de las personas, pues difícilmente se aceptan las tecnologías sostenibles que aumenten el número de actividades que las personas deben realizar dentro de su rutina diaria [53].

El confort aparece durante la discusión y su importancia es mediana, lo que puede interpretarse como una característica deseable, pero no determinante. A diferencia del confort térmico, el acústico no es una condición que comúnmente se experimente en las construcciones brasileñas. Se clasificó como poco importante, aunque se trate de uno de los motivos de problemas en las comunidades de vecinos o entre estos. Por ello, se puede constatar que los brasileños no están acostumbrados a edificaciones de mayor calidad, pues factores que deberían ser inherentes al inmueble, como la seguridad, están entre las mayores preocupaciones de los consumidores.

Las cualidades relacionadas con la madera, como, por ejemplo, la estética, son deseables pero no fundamentales, lo que reduce la competitividad del material en el estado actual de información. Intentar vender el material “madera” se ve como una estrategia de mercado frágil, puesto que las preocupaciones de los consumidores se relacionan con elementos que van más allá del material o el propio edificio y que pueden resolverse mediante una tecnología o soluciones inmobiliarias. Según Hirsch (2006) ([54] apud [39]), la satisfacción de los consumidores no se encuentra en la mercancía, sino en las propiedades y características conexas.

En un principio, la mayoría de los encuestados prefirieron las tecnologías de construcción en madera presentadas en este estudio, pero cuando se realizó un análisis más profundo, se pudo observar que la opción real puede ser distinta de la declarada. El encuestado responde sin ningún compromiso por Internet, por lo que estas respuestas pueden quedar en el campo de las hipótesis, en el que se facilita un comportamiento más abierto a nuevas posibilidades.

Al probar la susceptibilidad al cambio de opinión mediante la argumentación, se constató que cuanta más información (positiva) se tenga, mayores son las posibilidades de que se acepte un objeto. Un ejemplo de que la información puede cambiar opinión lo proporciona Cavil



(1999) ([55] apud [46]), que en 1983 comenta que un documental de televisión en el que se afirmaba que construcción de madera no resiste al fuego y no es durable fue responsable de la quiebra de este mercado en Inglaterra y Gales, e hizo que el porcentaje de vivienda de madera bajara al 2% y 4%, respectivamente. Según el autor, en Escocia, donde los compradores no accedieron al contenido del documental, el mercado se mantuvo en la cuota del 40% de viviendas de madera. Maclaren 2012 [41] cree que las preocupaciones sobre la técnica de construcción pueden disiparse con investigación y que la educación es la clave para la aceptación.

Esto también ocurre con la experiencia vivida, cuanto mejor sea la referencia que se tiene, mayor será el índice de aceptación. La mayor parte de la madera en el mercado interno brasileño se destina a otros fines distintos de la construcción de vivienda de madera [56], lo que hace que las viviendas de este tipo de construcción sean menos comunes. La falta de familiaridad con la construcción en madera puede generar desinterés en el mercado, poca inversión en tecnología y, en consecuencia, malas prácticas y rechazo.

Aunque el material no sea uno de los factores determinantes, con la sola inversión directa en desarrollo tecnológico será posible aumentar su competitividad y ofrecer a los consumidores algunas de las características consideradas importantes, como seguridad, precio, durabilidad, confort y así sucesivamente. La percepción de los consumidores está formada por una compleja trama de informaciones que van más allá del análisis de la técnica. Sintetizar aspectos globales sobre intereses económicos, sociales, personales es un reto difícil, aun así, se han obtenido informaciones que pueden ayudar en planes para la promoción del uso del material.

Las estrategias de mercado de viviendas de madera deberían considerar, en primer lugar, los factores señalados como determinantes en la compra de un inmueble, los medios de comunicación más buscados y centrarse en un público que induce el comportamiento social, ya que no fue identificado un perfil de comprador potencial. Sería conveniente realizar un estudio cualitativo con el público femenino, ya que, además de manifestar una preferencia por la madera, hay evidencias de que en la compra de un inmueble su opinión es fundamental [57][58].

Otras experiencias citan como factores que facilitan la aceptación y el aumento del uso de la madera en la construcción la difusión de información y conocimiento, el educación sobre recursos naturales, los conocimientos en construcción de madera y las propiedades y beneficios de la madera [45].

### 3.3.2 Dificultades de la cadena de construcción con madera

En este apartado se quieren presentar las dificultades encontradas en la producción de vivienda de madera, desde la producción del material hasta la comercialización de la vivienda, basándose en opiniones de agentes de la cadena, informaciones de normativas, literatura y noticias.

#### 3.3.2.1 Gobierno

Se encontró que el mayor programa público de suministro de viviendas en Brasil (*Minha Casa Minha Vida*) facilita la construcción convencional (en albañilería). Las fichas técnicas mínimas para edificaciones acaban orientando la práctica de construcción convencional en detrimento de otras tecnologías [59][20]. Para aprobar un proyecto la constructora debe someterlo a la Caixa Econômica Federal o al Banco do Brasil, que analizarán y ratificarán la contratación según las directrices definidas por el Ministerio de las Ciudades [18]. Los sistemas constructivos sin normalización específica se consideran “innovadores” y deben ser aprobados por el SINAT<sup>22</sup> (Sistema Nacional de Evaluaciones Técnicas), que es parte del PBQP-H<sup>23</sup> (Programa Brasileño de Calidad y Productividad del Hábitat) [59].

El proceso de aprobación prevé la creación de directrices específicas para el sistema constructivo innovador (en caso de que no exista), la comprobación del cumplimiento de las directrices y la norma NBR15.575 (Edificaciones Habitacionales-Desempeño) y la presentación del Informe Técnico de Evaluación, la evaluación técnica y la emisión y publicación del Documento Técnico de Evaluación, cuya validez es de dos años [60][61]. Es un trámite lento al que han de someterse las técnicas de construcción que no sean consideradas usuales o no tengan normativas específicas. Esto puede interpretarse como un instrumento de calificación de la construcción o como un obstáculo para la implantación de innovación tecnológica.

El Residencial Haragano (Fig. 3. 7), localizado en el estado de Rio Grande do Sul, es el primer conjunto habitacional divulgado edificado en *woodframe* dentro del programa MCMV [62][61]. Tiene la estructura en entramado ligero de madera, paredes externas de OSB (*Oriented Strand Board*) y placa de cemento e interna de pladur, que se considera una tecnología innovadora. Su homologación tardó cerca de cuatro años desde la elaboración de la directriz y tuvo un coste total aproximado de 500.000 R\$ (~245.000 USD)<sup>24</sup>[60]. Aunque el SINAT ha

---

<sup>22</sup> “Es una iniciativa (...) para apoyar la operación de un conjunto reconocido de procedimientos por toda la cadena productiva de la construcción, con el objetivo de evaluar nuevos productos utilizados en los procesos de construcción [22]”.

<sup>23</sup> “Es un instrumento del Gobierno federal para cumplir con los compromisos asumidos por Brasil en la Carta de Estambul (Conferencia Hábitat II/1996). Su objetivo es organizar el sector de la construcción en torno a dos temas principales: la mejora de la calidad del hábitat y la modernización productiva” [22].

<sup>24</sup> Importe calculado según el cambio de divisas del Banco Central de Brasil de diciembre de 2012 [7].

aprobado este sistema, esto no significa que, en consecuencia, se concedan licencias para otros métodos constructivos en madera. Si se trata de otro sistema constructivo de madera, que difiera en algún parámetro, este tendrá que pasar por el mismo proceso de aprobación.



**Producción**

Fuente de la ilustración: [63]



**Montaje, vista interior**

Fuente de la ilustración: [63]



**Montaje, vista exterior**

Fuente de la ilustración: [64]



**Acabado, vista exterior**

Fuente de la ilustración: [63]

**Fig. 3. 7 – Residencial Haragano en ciudad de Pelotas, estado de Rio Grande do Sul**

Algunos constructores [65][66] creen que el incremento obligatorio del desempeño de la construcción aumenta costes y puede perjudicar el mercado de viviendas de bajo precio. Por otro lado, cabe al gobierno ajustar las políticas públicas y el presupuesto de la subvención para mantener la calidad de la edificación de interés social y buscar la disminución del déficit habitacional.

La resistencia con relación a la madera que exhiben los organismos públicos puede estar relacionada con la falta de tecnología y conocimiento técnico de proyectistas y constructores, lo que hace que la construcción tenga menos calidad, presente más patologías, aumente los costes de mantenimiento y disminuya la vida útil. La durabilidad es uno de los motivos que ha hecho con que la CDHU haya cambiado la madera de la estructura del tejado por material metálico. Según el gerente entrevistado, en la actualidad, la madera solo se utiliza en las puertas interiores de las viviendas, pues es más fácil controlar el producto y el ambiente al que está expuesta. La madera dejó de utilizarse por dificultades en la identificación de la especie entregada en obra, el control de calidad, el mantenimiento, la durabilidad y la legalidad. El material metálico, por el

contrario, posee características prescriptibles fácilmente detectables, alta durabilidad y poco mantenimiento.

### 3.3.2.2 Sector de la construcción civil: empresas

Los representantes de las grandes constructoras (grupo a) citaron algunos problemas semejantes sobre el uso de la madera nativa: dificultades (o imposibilidad) a la hora de identificar la especie de madera, aceptación de la información contenida en los documentos que acompañan al material; falta de compromiso por parte del proveedor con la calidad del material entregado, ya que muchas veces la madera se entrega con un alto contenido de humedad (verde), longitud variable, como solo es posible cotejar el ancho y el espesor de la pieza, las medidas no siguen el estándar internacional (dependiendo del producto, se utilizan pulgadas); dificultad para rastrear el origen de la madera ya que se compra al distribuidor, validez de las informaciones del DOF (Documento de Origen Forestal) y la factura; así como la burocracia en la compra de la madera nativa.

La adquisición de la madera nativa se hace a través del “Sistema DOF”<sup>25</sup>, al que se accede a través del sitio del IBAMA (Instituto Brasileño del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables) en Internet. Para la compra, la empresa de construcción civil debe estar registrada en el sistema, registrar cada obra (si tiene número propio de persona jurídica), aceptar la oferta de madera y mantener actualizado en el sistema el saldo de productos en la obra [21]. Según uno de los representantes del “grupo a” es necesario tener una persona que esté directamente encargada de esta gestión, pues exige tiempo y mucha documentación, por lo que se trata de un trámite lento con costes adicionales en comparación con la compra de otros materiales. Cree que el sistema de adquisición de madera nativa debería racionalizarse.

Otro representante del mismo grupo refiere que utilizar madera nativa es casi como un delito, ya que hay mucha más burocracia y fiscalización sobre ella que sobre otros materiales, que también causan impactos ambientales. Además, las personas relacionan la madera nativa con la deforestación de la Amazonia. Comenta que la madera es el material más reutilizado en obra. Las grandes constructoras declararon que llegan a reutilizar los encofrados de madera entre veintidós y treinta veces para la estructura y después en otras funciones hasta que ya no sea se pueda utilizar más posible. Cuando se considera que ya no tiene utilidad, la madera se destina a empresas de reciclaje o reutilización (biomasa). Las constructoras, que construyen en bloque de

---

<sup>25</sup> “El Sistema DOF es una herramienta electrónica que integra los documentos de transporte forestales federales y estatales, con el fin de supervisar y controlar la explotación, la transformación, la comercialización, el transporte y el almacenamiento de los recursos forestales”[67].

hormigón o con hormigón armado y cierre en albañilería, utilizan la madera nativa en pocas tareas y la tendencia es disminuir su aplicación.

De manera general emplean madera industrializada en puertas y chapas para encofrados, madera bruta (tablas, listones, puntales) en apuntalamientos, elementos de seguridad laboral, algún detalle de acabado o paisajismo (pérgola, deck), que es prácticamente insignificante en términos de volumen y tejado<sup>26</sup> (Fig. 3. 8). La madera nativa, al ser más dura, acaba siendo utilizada casi exclusivamente en elementos de seguridad. Aunque el volumen de madera en obra sea grande (debido principalmente a encofrados y puertas), su coste en el montante total de la obra varía entre el 2% y el 3% [68][69]. El principal material utilizado es el hormigón (para la empresa que construye en bloque de hormigón representa cerca del 15% del valor de la obra).



**Madera utilizada en apuntalamientos y elementos de seguridad**

Fuente de la ilustración: [70]

---

<sup>26</sup> El tejado con estructura de madera nativa la construye solamente la empresa que edifica con bloque de hormigón.

**Encofrados de madera**

Fuente de la ilustración: [70]

**Madera utilizada elementos diversos**

Fuente de la ilustración: [70]

**Puertas**

Fuente de la ilustración: [71]

**Paisajismo y decoración**

Fuente de la ilustración: [72]

**Fig. 3. 8 – Ejemplos de usos de madera en obras**

Se preguntó a los representantes de las constructoras que trabajan con hormigón armado y albañilería sobre la posibilidad de implantar una técnica de construcción de madera (sistema *Cross Laminated Timber*) que fuera competitiva en términos de plazo (Fig. 3. 9), a lo que respondieron que piensan que este sistema sería difícil de implantar debido a la modularidad que reduce la libertad formal del edificio, la estandarización que va en contra las preferencias de su público (clase alta), la inversión en mano de obra y en desarrollo de la técnica de construcción utilizada en la actualidad, la experiencia adquirida en otro tipo constructivo, la cultura de construcción mojada (dificultad de trabajar con piezas prefabricadas), las limitaciones de altura, la adecuación a normativas y la seguridad contra incendio.

De modo general, creen que es difícil implantar nuevas tecnologías (con independencia del material) en el mercado brasileño debido a la falta de mano de obra cualificada, la viabilidad económica y la necesidad de adecuación a la normativa de desempeño de edificaciones. En otro contexto, Bayne y Taylor (2006) ([73] apud [42]) declaran que invertir en arquitectura de madera requiere un poco de autodidacta y tiempo de planificación adicional. El director de la empresa

“S”<sup>27</sup> cree que la formación del equipo técnico, el uso mixto de materiales, las soluciones adecuadas a diferentes regiones del país y la oferta de confort podrían facilitar la introducción de nuevas técnicas de construcción. El director de la empresa “CA”<sup>28</sup> declara que la implantación de nuevas tecnologías puede verse dificultada por el desconocimiento técnico de los agentes representantes de las entidades que financian la vivienda en Brasil.



**Imagen virtual de la estructura**

Fuente de la ilustración: [74]



**Imagen del edificio acabado**

Fuente de la ilustración: [74]

**Fig. 3. 9 – Algunas de las imágenes del edificio Bridport House (Londres) presentadas a los entrevistados para mostrarles el sistema CLT**

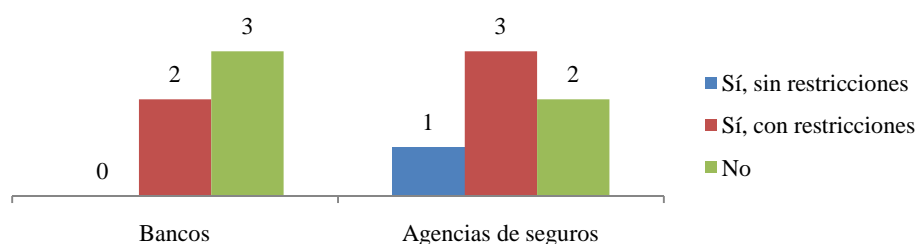
### 3.3.2.3 Entidades financieras y de seguro

Por otra parte, no se facilita la compra de vivienda de madera con la ayuda de financiación de bancos. Tres de los cinco bancos estudiados no conceden financiación para la compra de casas de madera, uno de ellos lo hace sin restricciones y el otro lo hace según la empresa que construya la vivienda (Tecverde o BS Constructora). Sobre la financiación para construcción, solo conceden crédito para la compra de materiales de construcción pero no para la contratación de empresas especializadas en la construcción de vivienda prefabricadas de madera. Asegurar una casa de madera, además de ser más difícil, es de media un 85% más caro. En Alemania el precio de los seguros para construcciones de madera también es más alto ([75] apud [46]). En la simulación hecha para este estudio se encontró que ninguno de los cinco bancos aseguraría viviendas construidas íntegramente en madera, aunque si menos del 25% de la casa es de madera, dos de ellos aceptarían contratar el seguro. Entre las empresas especializadas en seguros (seis), solamente una asegura vivienda de madera sin restricciones, tres con restricciones<sup>29</sup> y, si la vivienda es mixta, una empresa más lo haría (Gráf. 3. 27).

<sup>27</sup> Nombre ficticio.

<sup>28</sup> Nombre ficticio.

<sup>29</sup> Cada empresa presentó una restricción diferente, a saber, 1) que la vivienda no esté desocupada, 2) que la vivienda esté localizada en los estados del sur del país, y 3) que se pague una prima diferenciada.



**Gráf. 3. 27 - Posibilidad de asegurar una vivienda de madera (resultado de la simulación del estudio)**

Las empresas que venden casas prefabricadas de madera (grupo c) (Fig. 3. 10) comentaron que no hay financiación para la compra de su producto ya finalizado, por lo que tienen que trabajar con crédito para la compra del material. A diferencia de una construcción convencional, que puede edificarse por partes, en el sistema constructivo de madera que venden estos agentes, una vez que empieza el montaje, este debe terminarse, con lo que el dinero total debe estar disponible en un corto periodo de tiempo, ya que la construcción de estas viviendas es rápida (de 1 a 5 m<sup>2</sup>/día). De esta manera se cree que no solo el precio de la madera en aumento, sino el sistema de comercialización acaban seleccionando al público, que se caracteriza por buscar a viviendas de veraneo de medio o alto estándar.



Fuente de la ilustración: [76]



Fuente de la ilustración: [76]

**Fig. 3. 10 - Ejemplo de viviendas prefabricadas de madera vendidas por las empresas entrevistadas**

El representante de constructora “I”<sup>30</sup> [77] comenta que en Brasil la vivienda de madera es un “privilegio” de los muy ricos o los muy pobres. Los primeros adquieren casas construidas con madera nobles y los segundos autoconstruyen con madera disponible (plantada, que es barata, o reutilizada). Cree que el valor de la madera dura nativa (noble) tiende a crecer como consecuencia de las dificultades de extracción (planes de manejo, fiscalizaciones, etc.) y comenta que cerca del 15% de su importe se debe al flete de transporte (2010). El director de una de las

<sup>30</sup> Nombre ficticio.



empresas del “grupo C” declara que trabajar con madera más barata u ofrecer soluciones más accesibles solo es viable económicamente si hay un gran volumen de ventas, en cuyo caso surge otro problema, que es el mantenimiento. De manera general, el cliente no tiene la costumbre de llevar a cabo el mantenimiento, por lo tanto, si el producto es de peor calidad, las posibilidades de perjudicar todavía más la imagen del material aumentan.

La constructora “T” ha dejado de trabajar con madera nativa debido a las dificultades en la compra, como el precio, el transporte y los impactos ambientales, ha invertido en eucalipto y nuevas tecnologías (laminado encolado). No utiliza conservantes, por una cuestión profesional, como evitar riesgos de contaminación humana y del medio ambiente con productos químicos. Señala que la vida útil de la construcción aumenta si hay un correcto proyecto de arquitectura y sus detalles.

El arquitecto “A”<sup>31</sup> [78] elige los materiales según las características que necesita. A pesar de considerar un factor negativo el mantenimiento que la madera requiere, ve en el material varios puntos positivos, como el desempeño mecánico, la ligereza y flexibilidad, el menor peso propio que disminuye la cimentación y el gasto energético en el transporte y el hecho de tratarse de un material renovable. Aunque piensa que hay aceptación de la arquitectura de madera, no cree que esta sea hegemónica en Brasil. La especialista 3 considera la madera un material versátil que puede emplearse en diversas partes y distintas etapas de la construcción, a pesar de ello, ve su aplicación en disminución debido a la utilización de especies plantadas mal adecuadas a productos aserrados y un pequeño número de especies nativas que están siendo aprovechadas, lo que encarece el producto.

En algunas urbanizaciones residenciales y ciudades se limitan o prohíben las construcciones en madera [60][23][79][80], por cuestiones estéticas o de seguridad contra incendio. Para convencer a algunas urbanizaciones privadas de que permitan la construcción en madera es necesario negociación [60], lo que no es posible cuando se trata del plan director o leyes de zonificación urbana. Conforme Qu (2012), en China, también existen restricciones para construir en madera en zonas urbanas [45].

#### **3.3.2.4 Sector maderero**

No solo hay obstáculos para la ampliación del mercado al final de la cadena, sino que se pueden apreciar desde la fase de extracción de la madera nativa. Esta puede extraerse legalmente mediante la técnica del clareo de un porcentaje de la propiedad (el 20% en Amazonia [81]) o con

---

<sup>31</sup> Nombre ficticio.

un plan de manejo. Este lleva de dos a ocho años para ser aprobado y son necesarios cerca de dos años más para obtener la licencia de extracción [82][83]. El proceso tiene un alto coste, que solo pueden soportar grandes empresas [83], así, los pequeños productores tienen dificultades para mantenerse en el mercado legal. Las empresas que trabajan con certificación, además de la supervisión de la fauna y flora, deben considerar las comunidades locales [84], acciones todas ellas que generan costes no siempre soportables según el tamaño de la empresa.

Cerca del 86% de los planes de manejo se han considerado de calidad mediana o baja [85]. La tecnología y mano de obra no tienen cualificación, faltan equipos y trabajadores, la implantación de nuevas tecnologías se ve dificultada por la logística<sup>32</sup>, buena parte de las carreteras son inadecuadas, el coste del transporte es alto (pudiendo aumentar entre un 30% y un 50% si hay trayectos por carreteras de tierra), mantener la certificación tiene un alto coste (que muchas veces no paga el comprador), falta de personal de fiscalización (que se hace por muestreo), competencia desleal entre los productos ilegales y legalizados, posibilidad de que surjan problemas<sup>33</sup> con las comunidades locales e indígenas, dificultad de identificación de especies, principalmente, en los procesos posteriores a la extracción, lo que aumenta los problemas de la fiscalización [82][86][87].

Aunque haya iniciativas para mejorar la fiscalización, como formar a policías de carretera [83] o implantar sistema de reconocimiento de madera con ayuda de instrumentos (en el estado de São Paulo) [88], la identificación se limita a personas expertas que normalmente no se encuentran en los canteros de obras. Hay cerca de 14.000 especies brasileñas catalogadas, pero comercialmente se utilizan cerca de 350. En el mercado nacional se quedan las maderas de segunda y tercera clase, mientras que las de primera se exportan [83]. El consultor entrevistado [83] señaló que hay poco conocimiento sobre las maderas nativas en Brasil y que para mejorar el mercado de la madera sería necesario disminuir la burocracia, aumentar el desarrollo tecnológico, usar nuevas especies, crear grupos de especies según las características y usos finales y ampliar el conocimiento técnico de los profesionales de la construcción sobre el

---

<sup>32</sup> Distancia entre el lugar que se implanta la tecnología, en el norte del país, de las empresa(s) que vende(n) o proporciona(n) mantenimiento de los equipos, localizadas primordialmente en el sudeste y el sur [82].

<sup>33</sup> En la extracción convencional (no manejada) puede haber intereses comunes entre comunidades no ambientalmente concienciadas y los explotadores de madera. Los primeros son el medio de acceso a áreas más reservadas de la selva, en cambio, los segundos ofrecen facilidades como carreteras y zonas limpias para agricultura [86]. El acceso a la selva por las reservas indígenas dependerá, entre otras cosas, del perfil de la tribu y su educación sobre cuestiones ambientales. En algunos casos hay indígenas que venden madera extraída de sus reservas o cobran peaje para acceder a sus áreas. En la actualidad no se permite la explotación cerca de zonas indígenas, para evitar relaciones negativas entre las partes y reducir la presión sobre sus áreas, ya que el modo de vida indígena también depende del territorio [86][87]. Otras veces, los indígenas pueden ser utilizados como instrumento para la creación de zonas de protección por terceros no interesados en la explotación comercial de la selva [82]. Otro problema son con los asentamientos, donde personas (fuera del perfil) infiltradas en los grupos de interés reciben tierras que en vez de servir de subsistencia se convierten en zonas de explotación de madera [87].

material. Además, la especialista 3 [89] también citó problemas legislativos, así como políticas incompletas o en conflicto.

A pesar de que existen problemas en la cadena de suministro de madera nativa, la enorme cantidad de especies y aplicaciones posibles junto con un mayor conocimiento, desarrollo tecnológico y perfeccionamiento de las técnicas de construcción con madera pueden ofrecer otras posibilidades de construcción no vislumbradas hasta el momento. Es necesario organizar el sector maderero de fuentes nativas, mejorar el producto final y desburocratizar el proceso de producción y comercialización. Se perciben algunos avances en el sector maderero como la disminución de la ilegalidad, desde el año 2000 [90], gracias al DOF, los estudios de implantación de microchip para el rastreo de la madera [86] y la catalogación con calificaciones mecánicas e indicaciones de usos de algunas especies comerciales [91][92]. El especialista 2 [84] cree que la cuestión ambiental relacionada con la foresta tiende a mejorar, debido a un aumento de la conciencia ecológica del público en general y a avances en las técnicas explotación de la foresta.

El sector de la madera plantada, al tratarse de un monocultivo, presenta una realidad totalmente distinta. No es necesario el DOF, la producción está más mecanizada e incorpora tecnología. Cerca del 42% de los productos para la construcción están industrializados, la productividad es mayor que en muchos países de tradición maderera (entre 37 y 40 m<sup>3</sup>/ha.año)[93] y la logística es más sencilla gracias a la proximidad de los mercados consumidores y mejores condiciones de las carreteras. Se señalaron algunos problemas debidos a las invasiones de plantaciones realizadas por los grupos denominados “Sin Tierra”<sup>34</sup>, pero se cree que en la Amazonia hay menos trabas o estas se divulgan menos. La mayor parte de la producción se destina a celulosas (36%), del que cerca del 26% son productos para la construcción (15% madera aserrada y 11% paneles y chapas)[93]. Cerca del 33% de la capacidad de las plantas de preservación existentes está ociosa. La capacidad de producción estimada es de 255 millones de m<sup>3</sup>/año (tronco) [93], lo que indica que con una gestión dirigida podría haber un mayor suministro de madera para la construcción.

Existen ejemplos internacionales que pueden ayudar a diseñar políticas públicas de desarrollo sectorial. En Rusia existe madera aserrada suficiente, pero falta suministro de materiales para carpintería y otros productos para la construcción. Algunas de las dificultades

---

<sup>34</sup> El “Movimiento de los Trabajadores Rurales Sin Tierra” comenzó con la organización de trabajadores rurales que decidieron iniciar un movimiento social, autónomo, que lucha por la tierra, la reforma agraria y cambios sociales que consideran necesarios para el país [94].

para el avance de la edificación de madera son la inadecuada red de venta, el almacenamiento y la distribución de productos de madera y la desorganización del mercado en desarrollo [37].

Según Mahapatra (2012) [46], incluso en ciertas partes de Europa hay discontinuidad de mercado, visto que los nuevos actores (proveedores, distribuidores, trabajadores, etc.) todavía tienen que ser competitivos con los actores y redes del sistema de construcción existente. En el nivel de las empresas hay discontinuidad tecnológica y de comercialización, lo que hace que estas tengan que adoptar nuevas estrategias de marketing y adquirir conocimientos sobre diversas prácticas de construcción de madera adecuadas para su propia situación. Julin [37] sugiere que programas nacionales para la gestión de las forestas, un buen gobierno, educación y comunicación serían algunas herramientas para promover la arquitectura de madera en países en desarrollo.

La falta de conocimiento técnico y la inexperiencia de los profesionales para proyectar y construir con madera se manifestó en realidades totalmente diferentes, como en China [95], Rusia [37] y Suecia [96] apud [42]. En este último país, la sensación de conocimiento insuficiente entre arquitectos e ingenieros estructurales es uno de los factores responsables de que no se aconseje el uso de la madera [42]. La falta de una educación apropiada, capacitación y habilidad se consideran las mayores barreras institucionales para un mayor uso de la madera en la construcción [97] y [98] apud [46].

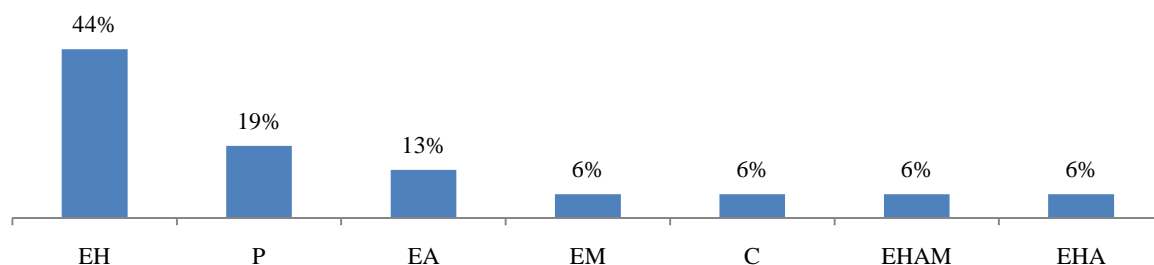
### **3.3.2.5 Sector de la construcción civil: profesionales**

Entre los ingenieros y arquitectos encuestados para este estudio<sup>35</sup>, la práctica de trabajar con madera no es común. El 77% afirmó haber tenido una asignatura obligatoria relativa a la madera durante su formación profesional, pero el 82% no ha trabajado con dicho material durante su práctica profesional. La falta de conocimiento técnico es uno de los factores que indican dificultad para el uso del material en la construcción, junto con la escasez de mano de obra especializada y proveedores (de material de buena calidad), el coste y los prejuicios. Cerca del 71% cree que, en Brasil, hay dificultad para construir con madera. A pesar de ello, el 65% declaró tener interés en trabajar con madera para poder aumentar su ámbito de negocio y sus conocimientos, mientras que, entre aquellos a los que no les interesa la madera (35%), las causas esgrimidas fueron la restricción de mercado o el hecho de normalmente proyectan con hormigón o no tener intención de cambiar de área de actuación. La mayoría cursa posgrado con el interés

---

<sup>35</sup> Veintidós personas; de las que el 86% son hombres y el 14%, mujeres; el 81%, ingenieros, el 9%, arquitectos; el 59% trabajan con proyecto y los demás con fiscalización, obra, presupuesto, industria, acondicionamiento y geotecnia; el 50% tiene entre uno y cinco años de experiencia laboral, el 18%, entre cinco y diez años, el 14%, entre diez y quince años, y el 18%, más de quince años.

de aumentar sus conocimientos primordialmente en tecnologías relacionadas con el hormigón (44%) (Gráf. 3. 28). Aunque perciban la madera como un material de poco peso propio, práctico para la construcción y resistente, no estuvo entre los principales materiales considerados adecuados para utilizar en la estructura o la pared. Citan el mantenimiento y la durabilidad como las principales desventajas del material.



Leyenda: EH – estructura de hormigón; P – patologías; EA – estructura de acero (metálica); EM – estructura de madera; C – cimentación; EHAM – estructuras de hormigón, acero y madera; EHA – estructura de hormigón y acero.

**Gráf. 3. 28 - Temas de interés de los profesionales que cursan posgrado en sistemas estructurales**

De igual manera, arquitectos suecos, aunque hayan mostrado interés en trabajar con madera, tienen más habilidad con el hormigón y el aluminio, debido al nivel de experiencia y formación más enfocado en el hormigón que en la madera [50]. Expertos chinos consideran que se podría difundir la información para compensar la falta de conocimientos básicos sobre construcción en madera por medio de libros, anuncios, exposiciones, cursos de formación e Internet [95]. En China, algunas universidades e institutos de investigación han comenzado programas de estudios e investigación para apoyar el desarrollo de la arquitectura en madera [99] apud [95]. Según Hemström (2011), una herramienta para aumentar la confianza de profesionales en la madera para la construcción (en este caso edificios de varias plantas) sería la edificación de buenos ejemplos de arquitectura [50].

Ross et. al. (2010) cree que la actitud por parte de arquitectos e ingenieros estructurales puede ser un factor que limita el crecimiento de la construcción con madera [42]. Sin embargo, arquitectos e ingenieros de Suecia consideran que su influencia en la elección de los materiales es débil y piensan que los contratistas y promotores son los mayores responsables de esta situación; mientras que el usuario final muchas veces no es consciente del material de la estructura del edificio [42]. De forma distinta, los arquitectos e ingenieros brasileños encuestados en este estudio declararon que son, junto con los clientes, los agentes de mayor influencia en la elección de los materiales. El 44% de ellos piensa que tiene una alta influencia, mientras que el 36%, la tendría media y el 24%, una baja intervención. Esto puede depender del tamaño del despacho en el que se trabaja o del tipo de obras. Pequeñas empresas o profesionales autónomos con contacto directo con el cliente pueden estar en condiciones más favorables para decidir sobre

los materiales, mientras que, para las grandes constructoras o clientes corporativos, es más común que sectores técnicos o de suministros tengan más control sobre el tema, al igual que lo visto en las declaraciones de representantes de compañías del “grupo a”.

### 3.3.2.6 Consideraciones

La difusión de la arquitectura de madera puede seguir varios caminos. Mahapatra (2012) [46] comenta algunos tomados en Suecia, Alemania y Reino Unido. En el primer país, el porcentaje de viviendas de madera es alto (cerca del 90% de las residencias unifamiliares) y sigue creciendo. La cadena de producción (industria, proveedores) es sólida y las regulaciones parecen ser menos restrictivas que en otros países europeos. Se ha incentivado la promoción mediante inversiones en investigación, proyectos de desarrollo y programas específicos. En Alemania, el incentivo se ha dado por medio de medidas legislativas, acciones de información, campañas de marketing, cursos de formación y proyectos de demostración de construcciones de madera. En Reino Unido, hubo un aumento del porcentaje de viviendas de madera (del 8% al 25%, entre 1998 y 2008 [100] apud [46]), que se debe probablemente al incentivo al uso de medios de construcción modernos que disminuyan el impacto ambiental, demostraciones de proyectos, proyectos de colaboración internacional, campañas, centros de capacitación y negocios y formación continua de profesionales [46].

Mahapatra (2012) propone una manera de difundir la construcción de madera que se dividiría en dos etapas. La primera, llamada formativa, facilitaría la inserción de innovaciones tecnológicas en nichos, así estaría protegida del mercado convencional y podría ser aprehendida y coordinada. Entre las actividades estarían la reunión de diferentes actores, la experimentación y la difusión de proyectos y subvenciones. En la segunda etapa, llamada de crecimiento, el sistema se desarrollaría solo, en diferentes dimensiones según el retorno positivo que obtuviera [46].

La especialista 3 señaló que la promoción de la construcción de madera debe realizarse por medio de acciones de alcance nacional, incentivadas por el gobierno federal, que impliquen a las asociaciones en el sector productivo organizado (plantadores y procesadores de madera) y a los distribuidores para la estructuración de la cadena con enfoque en productos de madera aserrada. Además, realizar acciones de desarrollo tecnológico y acciones de incentivo de la enseñanza e investigación, con el fin de equilibrar la difusión del conocimiento sobre la tecnología de la madera con relación a otros materiales de construcción.

Como se ha visto, se ha producido una promoción del uso de la madera en varios países como Alemania, Reino Unido [46], Canadá (Quebec) [101], Francia [102], Rusia [37] y Japón [103]. En ocasiones, esto está motivado por cuestiones ambientales, como la disminución de CO<sub>2</sub>

y del consumo de energía. Cada país presenta un escenario distinto con relación al tipo de materia prima, producción, tecnología, normativas y cultura, entre otros. No obstante, se han señalado problemas para construir con madera, algunos comunes incluso en realidades distintas, como la falta de conocimiento técnico y de formación de profesionales o la preferencia por otros materiales. Existen herramientas accesibles para la promoción del uso de la madera en la construcción. Aún así se cree que antes de buscar la expansión de este mercado es necesario evaluar los impactos ambientales, sociales y económicos en Brasil, así como, planear a largo plazo la óptima relación entre los agentes de la cadena estudiada.

### **3.4 Conclusiones del capítulo**

**Con respecto al estudio desarrollado entre los consumidores se concluye que:**

- En el inconsciente colectivo de las personas, el material está relacionado con algunas cualidades. El hormigón se asocia más a la seguridad; el ladrillo, a la seguridad, el precio y la tradición; y, la madera, a la estética. Las características asociadas a la madera no están entre las principales preocupaciones de los consumidores, lo que puede influir negativamente en la opción real por un material o una tecnología.
- Por la misma razón, así como porque las respuestas están en el ámbito hipotético, los resultados de la aceptación de las tecnologías relativas a la madera presentadas en este estudio se consideraron no representativas.
- Los materiales no influyen directamente en la toma de decisiones, sino en las cualidades relacionadas con ellos.
- La sostenibilidad de los materiales no tiene importancia para la muestra y tampoco el desperdicio en la construcción, mientras que el ahorro de energía recibe un poco más de atención, probablemente debido a la economía financiera que genera.
- El vecindario y la seguridad de la construcción son las principales preocupaciones a la hora de comprar una vivienda, seguidas del precio, la durabilidad, la iluminación, la ventilación y la localización, entre otros. Los tres primeros factores pueden considerarse determinantes, mientras que los demás pierden relevancia entre las opiniones de los compradores, aunque tornarse factores deseables.
- Se detectó que el público tiene poco conocimiento sobre la madera y que cuanto mayor es el nivel de información, mayor es la probabilidad de aceptación del material. Lo mismo sucede con la experiencia previa, cuanto mejor es la referencia experimentada, mayor es el índice de aceptación.

- No se identificó un público potencial para el mercado de la construcción de madera, aunque las mujeres mostraron una mayor aceptación del material. De esta manera, una futura acción de mercado debería considerar: las mujeres, los factores que importan al consumidor, los medios de divulgación apropiados y el público que normalmente influye sobre el comportamiento social.

- Más del 80% de las personas consulta a alguien cuando compra una vivienda. Así la pareja es la persona que más influye en la toma de decisiones. Los medios de comunicación más utilizados para obtener información sobre el futuro inmueble son los locales de venta, el material de publicidad e Internet.

**Con respecto al estudio desarrollado entre agentes de la cadena se concluye que:**

Algunos obstáculos importantes para el aumento del mercado de la construcción de madera serían:

- Burocracia para implantación de nuevas tecnologías impuesta por el gobierno federal mediante instrumento de financiación de vivienda y política pública de vivienda social.

- Burocracia para la compra de productos de madera nativa que, además, presentan una logística desventajosa, falta de calidad del producto final, dificultad para la identificación de especies y la verificación de su procedencia y un aumento del coste.

- Problemas con la ilegalidad en el sector productivo de madera nativa.

- Existencia de limitaciones o prohibiciones en las legislaciones urbanas y regulaciones de las urbanizaciones para la edificación en madera.

- Dificultad de financiación o seguro para inmuebles de madera por parte de bancos y aseguradoras.

- Falta de conocimiento técnico de los profesionales de la construcción para el uso de la madera, existencia de una cultura de construcción en hormigón y falta de tecnología para la construcción de madera.

La trasposición de estos obstáculos a la promoción de la arquitectura de madera en Brasil depende de la desburocratización en los sistemas de provisión de vivienda y compra de madera nativa; la mejora de la fiscalización acompañada de un aumento del personal, así como de su formación, e inserción de tecnologías de control con base unificada de información; la ordenación de la cadena de suministro de madera nativa; la inversión en industrialización y calificación de los productos de madera; el incentivo público financiero para la adopción y mantenimiento de la certificación y modernización de la industria maderera; y la inversión en desarrollo tecnológico y formación de personal calificado técnico y de ejecución.



### 3.5 Referencias (capítulo 3)

- [1] V. Boni e S. J. Quaresma, “Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais”, *Em Tese*, vol. 2, nº 1, p. 68–80, 2005.
- [2] Bento, “Investigação em educação - a entrevista.”, nov-2011. [Online]. Disponível em: [www3.uma.pt/bento/ppt/Entrevista.ppt](http://www3.uma.pt/bento/ppt/Entrevista.ppt). [Consultado: 24-set-2013].
- [3] P. D. A. N. Yuba, “Sobre o Assentamento Santa Mônica.”, 10-set-2013.
- [4] Blog Timblindim, “O Assentamento Santa Mônica”. [Online]. Disponível em: <http://timblindim.wordpress.com/2011/02/07/o-assentamento-santa-monica/>. [Consultado: 10-out-2013].
- [5] ME - Ministério da Educação, “Sistema Educacional.” [Online]. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/sobre/educacao/sistema-educacional>. [Consultado: 24-maio-2013].
- [6] ABEP - Associação brasileira de empresas de pesquisa., “Critério de classificação econômica Brasil (CCEB). Alterações na aplicação do Critério Brasil, válidas a partir de 01/01/2013.”, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.abep.org/novo/Content.aspx?ContentID=835>. [Consultado: 24-maio-2013].
- [7] BCB, “Conversão de moedas”, 2011. [Online]. Disponível em: <http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>.
- [8] IBGE, “PNAD - Pesquisa Nacional por amostras de Domicílios.”, 2013. [Online]. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/default.asp>. [Consultado: 15-set-2010].
- [9] J. F. de Salles, C. S. Holderbaum, N. Becker, J. de C. Rodrigues, F. V. Liedtke, M. R. Zibetti, e L. F. Piccoli, “Normas de associação semântica para 88 palavras do português brasileiro.”, *Psico*, vol. 39, nº 3, p. 362–370, 09 2008.
- [10] J. Moura, “O Método da Associação Livre”, *Psicologado Artigos*, 24-jan-2009. [Online]. Disponível em: <http://artigos.psicologado.com/abordagens/psicanalise/o-metodo-da-associacao-livre>. [Consultado: 07-jun-2013].
- [11] A. A. F. de Freitas, “Modelagem comportamental dos decisores através de técnicas de preferência declarada: uma aplicação no setor imobiliário de Florianópolis-SC.”, Florianópolis, jul-1995.
- [12] H. J. F. M. Boumeester, “Traditional Housing Demand Research”, p. 27–55, 2011.
- [13] R. M. G. Marrero, E. M. Budría, e A. E. Ramos, “Contraste de las preferencias declaradas con preferencias reveladas. El caso de los alumnos de la universidad de la laguna ante la implantación del tranvía”, *Metodología de Encuestas*, vol. 14, nº 0, p. 65–80, dez. 2012.
- [14] Frederick F. Reichheld, “The One Number You Need to Grow”, *Harvard Business Review*, p. 10, dez-2003.
- [15] Mike Brenna e Don Esslemont, “The Accuracy of the Juster Scale for Predicting Purchase Rates of Branded, Fast - Moving Consumer Goods”, *Marketing Bulletin*, nº 5, p. 47–52, 1994.
- [16] R. C. B. Belluzzo, “O uso de mapas conceituais e mentais como tecnologia de apoio à gestão da informação e da comunicação: uma área interdisciplinar da competência em informação.”, *Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação*, vol. 2, nº 2, jul. 2007.
- [17] Marco Antonio Moreira, “Mapas conceituais e aprendizagem significativa”. UFRGS, 2012.
- [18] Portal Planalto, “Saiba como funciona e como participar do Programa Minha Casa, Minha Vida.”, 29-ago-2013. [Online]. Disponível em: <http://www2.planalto.gov.br/imprensa/noticias-de-governo/saiba-como-funciona-e-como-participar-do-programa-minha-casa-minha-vida>. [Consultado: 20-out-2013].
- [19] Caixa Econômica Federal, “Minha Casa Minha Vida”. [Online]. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/habitacao/mcmv/>. [Consultado: 20-out-2013].
- [20] Caixa Econômica Federal, Ministério das Cidades, e Governo Brasileiro, “Programa Minha Casa Minha Vida. FAR. Especificações mínimas. Casa. Apartamento.”.
- [21] IBAMA, “Documento de Origem Florestal - DOF”. [Online]. Disponível em: <http://servicos.ibama.gov.br/index.php/autorizacoes-e-licencas/documento-de-origem-florestal-dof>. [Consultado: 21-out-2013].
- [22] Ministério das Cidades, “PBQP-H”. [Online]. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/>. [Consultado: 20-out-2013].
- [23] Prefeitura de São Paulo, “Código de obras e edificações - COE - cidade de São Paulo. Lei nº 11.228/92”, 1992. [Online]. Disponível em: [www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/.../COE\\_1253646799.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/.../COE_1253646799.pdf). [Consultado: 22-out-2013].

- [24] ITC - Inteligência empresarial da construção, “9° Ranking ITC”, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.portalvgv.com.br/site/wp-content/uploads/2013/02/100maiores.gif>. [Consultado: 19-out-2013].
- [25] OEI - Ministério da educação de Brasil, “Sistema educativo nacional de Brasil. Parte 4.” [Online]. Disponível em: [http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=15&ved=0CJkBEBYwDg&url=http%3A%2F%2Fwww.oei.es%2Fquipu%2Fbrasil%2Festructura.pdf&ei=GQBoUuMJi5z1BM-UgNgD&usg=AFQjCNENGGYhoV\\_ErxMNTwd4YmLfmLxQLw&sig2=eUnnNwmdkFo4b94BYp4d2A&bvm=bv.55123115,d.eWU](http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=15&ved=0CJkBEBYwDg&url=http%3A%2F%2Fwww.oei.es%2Fquipu%2Fbrasil%2Festructura.pdf&ei=GQBoUuMJi5z1BM-UgNgD&usg=AFQjCNENGGYhoV_ErxMNTwd4YmLfmLxQLw&sig2=eUnnNwmdkFo4b94BYp4d2A&bvm=bv.55123115,d.eWU). [Consultado: 23-out-2013].
- [26] Ministério de educación, cultura y deporte, “Liceo Español ‘Cervantes’”. [Online]. Disponível em: <http://www.educacion.gob.es/exterior/centros/cervantes/es/ofertaeducativa/estructurasistemedu/estructurasistemaeductivoesp.shtml>. [Consultado: 23-out-2013].
- [27] Circulando por Curitiba, “Casa de madeira mata-junta”. [Online]. Disponível em: [http://www.circulandoporcuritiba.com.br/2012/05/grupo-de-caminhadas-observacionais-agua\\_14.html](http://www.circulandoporcuritiba.com.br/2012/05/grupo-de-caminhadas-observacionais-agua_14.html). [Consultado: 23-out-2013].
- [28] Boncasa, “Casa de Madeira Pré-fabricada”. [Online]. Disponível em: <http://www.boncasa.com.br/pt/galeria-de-fotos.html>. [Consultado: 23-out-2013].
- [29] André Rodrigues, “Quando morar é um privilégio, ocupar é um direito”, 29-jul-2013. [Online]. Disponível em: <http://andrerodriguesblog.blogspot.com.br/>. [Consultado: 23-out-2013].
- [30] Urbano Santista, “Palafitas em Cubatão.”, 28-abr-2007. [Online]. Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=468418>. [Consultado: 23-out-2013].
- [31] Trajeto turismo, “Campos do Jordão”. [Online]. Disponível em: <http://www.trajetoturismo.com.br/por/Packages/details/12/campos-do-jordao-julho-2013>. [Consultado: 28-out-2013].
- [32] Escola de redes, “Campos do Jordão.” [Online]. Disponível em: <http://escoladeredes.net/profiles/blogs/terceiro-simposio-de-inverno>. [Consultado: 28-out-2013].
- [33] Circulando por Curitiba, “Casas de Madeira de Curitiba 56”, 31-mar-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.circulandoporcuritiba.com.br/2012/03/casas-de-madeira-de-curitiba-56.html>. [Consultado: 28-out-2013].
- [34] Circulando por Curitiba, “Casas de Madeira de Curitiba 60”, 06-maio-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.circulandoporcuritiba.com.br/2012/05/casas-de-madeira-de-curitiba-60.html>. [Consultado: 28-out-2013].
- [35] Educamor, “Imigração em Campo Grande”, 04-ago-2013. [Online]. Disponível em: <http://www.educamor.net/cg/imigracao.htm>. [Consultado: 22-out-2013].
- [36] Governo do Mato Grosso do Sul, “Perfil do Mato Grosso do Sul”, 04-ago-2013. [Online]. Disponível em: <http://www.ms.gov.br/index.php?inside=1&tp=3&comp=4298&show=3626>. [Consultado: 22-out-2013].
- [37] J. Julin, “The international promotion of wood construction as a part of climate policy.”.
- [38] SAH [Schweizerische Arbeitsgemeinschaft e fu r Holzforschung (Swiss Working Group for Timber Research), “Untersuchung u ber Entscheidungsmotive und Kenntnisse zu Holz – Ergebnisse Hochbau (Study of decision motives and knowledge regarding timber – findings for building construction).”, *SAH bulletin*, vol. 3, p. 13–29, 1999.
- [39] S. Gold e F. Rubik, “Consumer attitudes towards timber as a construction material and towards timber frame houses – selected findings of a representative survey among the German population”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, n° 2, p. 303–309, jan. 2009.
- [40] InfoMoney, “Maioria das pessoas de baixa renda possui casa própria, indica pesquisa.”, 15-mar-2007. [Online]. Disponível em: <http://www.infomoney.com.br/minhas-financas/carros/noticia/667449/maioria-das-pessoas-baixa-renda-possui-casa-oacute-pria-indica>. [Consultado: 01-out-2013].
- [41] F. Hamilton-MacLaren, D. L. Loveday, e M. Mourshed, “Public opinions on alternative lower carbon wall construction techniques for UK housing”, *Habitat International*, vol. 37, p. 163–169, jan. 2013.
- [42] A. Ross, L. Woxblom, e D. McCluskey, “The influence of architects and structural engineers on timber in construction – perceptions and roles”, *Silva Fennica*, vol. 44, n° 5, p. 871–884, 2010.

- [43] L. Samuelson, “Kvalitetskrav på byggnadsvirke och trähus i Tyskland (Demands on quality regarding timber as construction material and timber frame houses in Germany)”, Chalmers Technical University, 2002.
- [44] K. Bysheim e A. Q. Nyrud, “Norwegian architects’ and civil engineers’ attitudes to wood in urban construction.”, apresentado em *The Future of Quality Control for Wood & Wood Products. The Final Conference of COST Action E53*, Edinburgh, 2010.
- [45] M. Qu, P. Pelkonen, L. Tahvanainen, J. Arevalo, e D. Gritten, “Experts’ assessment of the development of wood framed houses in China”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 31, p. 100–105, ago. 2012.
- [46] K. Mahapatra, L. Gustavsson, e K. Hemström, “Multi-storey wood-frame buildings in Germany, Sweden and the UK”, *Construction Innovation: Information, Process, Management*, vol. 12, n° 1, p. 62–85, jan. 2012.
- [47] CAC - Cement Association Canada, “New condo buyer in greater Vancouver. Consumer survey sponsored by the cement association of Canada.” Spring-2003.
- [48] IBGE, “BME”, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.bme.ibge.gov.br/index.jsp>. [Consultado: 10-abr-2012].
- [49] E. Risen e L. Risen, “The Use of Intent Scale Translations to Predict Purchase Interest”, *BioTrak Research Inc*, 2008.
- [50] K. Hemström, K. Mahapatra, e L. Gustavsson, “Perceptions, attitudes and interest of Swedish architects towards the use of wood frames in multi-storey buildings”, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, n° 11, p. 1013–1021, set. 2011.
- [51] E. Järvinen, R. Toivonen, e R.-R. Enroth, “Competence and image of wood on the german building material markets.”, Pellervo Economic Research Institute, Working Papers 50.
- [52] S. Gold, “Die Kaufentscheidung des Bauherrn (Buying decision of house builders).” 2007.
- [53] D. de C. Cavalheiro, “Interação entre usuário e tecnologias de sustentabilidade.” 2012.
- [54] F. Hirsch, *The new commodity fetishism*. London: Earthscan Publications Ltd, 2006.
- [55] N. Cavill, “Wood’s back in the frame.”, *Building*, vol. 31, 1999.
- [56] L. Sobral, J. A. de O. Veríssimo, T. Azevedo, e R. Smeraldi, *Acertando o alvo 2: Consumo da madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo*. Belém: Imazon, 2002.
- [57] R. Hernandez, “A palavra final é das mulheres na compra de imóveis”, 07-mar-2013. [Online]. Disponível em: <http://noticias.vivareal.com.br/a-palavra-final-e-das-mulheres-na-compra...> 2 de. [Consultado: 27-set-2013].
- [58] Exame. Abril., “Elas no comando: comprar imóvel é coisa de mulher”, 29-nov-2011. [Online]. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/marketing/noticias/elas-no-comando-comprar-imovel-e-coisa-de-mulher>. [Consultado: 27-set-2013].
- [59] Gerente executivo. Gestión de padronización de normas técnicas, “Entrevista sobre el programa Minha Casa Minha Vida.”, 26-abr-2012.
- [60] Sócio director. Coordinador de producción., “Entrevista sobre las actividades de la empresa ‘T’”, 02-out-2013.
- [61] IFBQ, “Afina! o que é o SINAT e o DATec?” [Online]. Disponível em: [http://www.ifbq.com.br/NL\\_1011\\_DATec.aspx](http://www.ifbq.com.br/NL_1011_DATec.aspx). [Consultado: 18-out-2013].
- [62] Notícias Caixa, “Minha Casa Minha Vida entrega 280 casas sustentáveis em Pelotas.” [Online]. Disponível em: [http://www1.caixa.gov.br/imprensa/noticias/asp/popup\\_box.asp?codigo=7012862](http://www1.caixa.gov.br/imprensa/noticias/asp/popup_box.asp?codigo=7012862). [Consultado: 29-ago-2013].
- [63] FIEP, “Visita Residencial Haragano - Pelotas”. [Online]. Disponível em: <http://www.fiepr.org.br/para-empresas/conselhos/Thumbs3998content220564.shtml>. [Consultado: 29-out-2013].
- [64] SEHABS - Secretaria da Habitação e Saneamento do Rio Grande do Sul, “Secretários vistoriam condomínio habitacional em Pelotas”. [Online]. Disponível em: [http://www.sehabs.rs.gov.br/conteudo/4784/?Secret%C3%A1rios\\_vistoriam\\_condom%C3%ADnio\\_habitacional\\_em\\_Pelotas](http://www.sehabs.rs.gov.br/conteudo/4784/?Secret%C3%A1rios_vistoriam_condom%C3%ADnio_habitacional_em_Pelotas). [Consultado: 29-out-2013].
- [65] Diretor, “Entrevista sobre las actividades de la constructora ‘R’”, 24-set-2013.
- [66] Diretor, “Entrevista sobre las actividades de la empresa ‘CA’”, 07-dez-2012.

- [67] SEMA-SP, “O que é Sistema DOF”. [Online]. Disponible en: <http://www.ambiente.sp.gov.br/madeiralegal/sistema-dof/como-operar/o-que-e-sistema-dof/>. [Consultado: 21-out-2013].
- [68] Gerente técnico, “Entrevista sobre las actividades de la construtora ‘G’”, 19-set-2013.
- [69] Coordinador de suministros, “Entrevista sobre las actividades de la construtora ‘M’”, 18-set-2013.
- [70] Tecnisa, “Corporate Centro Cívico”. [Online]. Disponible en: <http://www.tecnisa.com.br/ímoveis/corporate-centro-civico/estagio-da-obra/192>. [Consultado: 29-out-2013].
- [71] Frechal, “Estágio da Obra”, jul-2012. [Online]. Disponible en: <http://www2.frechalnet.com.br/blog/onix/estagio-da-obra-%E2%80%93-julho2012-3/>. [Consultado: 29-out-2013].
- [72] Revista Casa, “Lazer e descanso: confira 12 projetos de áreas externas”. [Online]. Disponible en: <http://casa.abril.com.br/materia/lazer-e-descanso-confira-12-projetos-de-areas-externas#7>. [Consultado: 29-out-2013].
- [73] K. Bayne e S. Taylor, “Attitudes to the use of timber as a structural material in non-residential building applications: opportunities for growth.”, Forest and Timber Products Research and Development Corporation (FWPRDC), Clayton, Victoria, Australia., Project PN05.1020., 2006.
- [74] Stora Enso, “Cross-laminated-timber residential high-rise under construction in the heart of London”. [Online]. Disponible en: [http://www.storaenso.com/about-us/story-archive/2010/Pages/Crosslaminatedtimber\\_residential\\_highrise\\_under\\_construction\\_in\\_London.aspx](http://www.storaenso.com/about-us/story-archive/2010/Pages/Crosslaminatedtimber_residential_highrise_under_construction_in_London.aspx). [Consultado: 29-out-2013].
- [75] HAF, “‘Telefonbefragung Banken/Versicherungen/Bausparkassen’ (‘Telephone survey of banks/insurance companies/mortgage banks’)”, Timber Sales Promotion Fund (Holzabsatzfonds), Bonn, 2001.
- [76] GET7, “Casas pré-fabricadas preços e modelos.” [Online]. Disponible en: <http://www.get7.com.br/casas-pre-fabricadas-precos-e-modelos/>. [Consultado: 29-out-2013].
- [77] Director propietario, “Entrevista sobre el proceso de producción de la empresa ‘I’”, 04-nov-2010.
- [78] Arquitecto “A”, “Entrevista sobre la arquitectura de madera en Brasil.”, 29-out-2010.
- [79] Comissão de obras, “Normas de construção - Concomínio Montenegro Boulevard”.
- [80] Condomínio Centro Comercial Alphaville 2, “Restrições do Condomínio Centro Comercial Alphaville 2”. [Online]. Disponible en: [www.loftimoveis.com.br/telas/doc/centro\\_apoio2.doc](http://www.loftimoveis.com.br/telas/doc/centro_apoio2.doc). [Consultado: 22-out-2013].
- [81] Governo Brasileiro, *Código Florestal*. 2012.
- [82] Responsable de producción, “Entrevista sobre el proceso productivo de la empresa ‘GU’”, 15/09-2012.
- [83] Consultor en ingeniería forestal, “Entrevista sobre el sector maderero de foresta nativa.”, 18-dez-2012.
- [84] Prof. João Olegário Pereira de Carvalho, “Entrevista sobre el sector maderero en Brasil (madera nativa).”, 14-dez-2012.
- [85] D. Pereira, D. Santos, M. Vedoveto, J. Guimarães, e A. Veríssimo, *Fatos florestais da Amazônia - 2010*. Belém-PA: Imazon, 2010.
- [86] Prof. Dr. Edson José Vidal da Silva., “Entrevista sobre el sector maderero en Brasil (madera nativa).”, 28-ago-2012.
- [87] Ex-ativista del Greenpeace, “Entrevista sobre el sector maderero en Brasil (madera nativa).”, 11-abr-2011.
- [88] Instituto Florestal, “Fiscalização de madeira nativa é aprimorada no Estado de São Paulo.” [Online]. Disponible en: <http://www.iflorestal.sp.gov.br/noticias/news3.asp>. [Consultado: 21-out-2013].
- [89] P. D. A. N. Yuba, “Entrevista sobre la madera en la construcción en Brasil.”, 01-nov-2013.
- [90] S. Lawson e L. MacFaul, “Chatham House Illegal Logging Indicators Country Report Card - Brazil”. Chatam House, jul-2010.
- [91] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, *Madeira Uso Sustentável na Construção Civil*, 2º ed. São Paulo: IPT, 2009.
- [92] Amata, “Amata. Guia de madeiras.” Amata.

- [93] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2012.
- [94] MST, “Movimento dos Trabalhadores Sem Terra”. [Online]. Disponível em: <http://www.mst.org.br/taxonomy/term/324>. [Consultado: 30-out-2013].
- [95] M. Qu, P. Pelkonen, L. Tahvanainen, J. Arevalo, e D. Gritten, “Experts’ assessment of the development of wood framed houses in China”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 31, p. 100–105, ago. 2012.
- [96] J. O’Connor, R. Kozak, C. Gaston, e D. Fell, “Timber use in nonresidential buildings: Opportunities and barriers.”, *Forest Products Journal*, vol. 54, n° 3, p. 19–28, 2004.
- [97] Canadian Wood Council, “Expanding market demand for Canadian wood products – a strategic initiative for the Canadian Wood Council – Wood WORKS!”, Interim Report, mar. 2008.
- [98] Building Research Establishment, “Barriers to the enhanced use of wood in Europe: particular attention to the regulatory barriers”, Watford, Client Report 714-393 for CEI-Bois, 2004.
- [99] H. B. Zhou, B. H. Fei, e H. Q. Ren, “Evolutions of Research on Wood Frame Housing around the World”, *China Wood Industry*, vol. 20, n° 4, p. 1–3, 2006.
- [100] UKTFA, “Timber Frame Association”. 2010.
- [101] N. V. Praet, “Quebec pushing use of wood in construction to boost lumber sector”, *Financial Post*, 30-abr-2013. [Online]. Disponível em: <http://business.financialpost.com/2013/04/30/quebec-pushing-use-of-wood-in-construction-to-boost-lumber-sector/>. [Consultado: 09-out-2013].
- [102] G. Franco e R. Manner, “Promoting construction wood in the EU”, EBCD and IUCN, European Parliament, Brussels, jul. 2011.
- [103] Y. Hayashi e B. Petlock, “Japan’s ‘Promotion of Wood’ Act - An Opportunity for the U.S. Wood Industry”, USDA - Foreign Agriculture Service, Voluntary-Public JA2508, mar. 2012.

## **4 Caracterización del sector maderero y de las viviendas prefabricadas de madera en Brasil**

### **4.1 Contenido y objetivo**

El objetivo de este capítulo es presentar y caracterizar el sector maderero brasileño, focalizando en el segmento de manufactura de productos para la construcción civil y el sector de viviendas prefabricadas de madera. La intención es proporcionar informaciones que ayuden a la comprensión general de estos segmentos que forman e influyen en el suministro de viviendas de madera en Brasil.

Para ello, se ha buscado información sobre las materias primas disponibles, las zonas de extracción y producción, los medios de transporte, los consumidores y el destino de los productos de madera en la literatura, los estudios científicos, los informes sectoriales y los sitios web oficiales del gobierno. Se caracterizó la cadena de producción de viviendas prefabricadas de madera mediante datos disponibles en los sitios web de las empresas, visitas a las compañías y entrevistas con sus representantes. El contenido general está integrado por informaciones primarias y secundarias, pues la delimitación del sector maderero es un compendio de datos de referencias. Así, la aportación original de este apartado está en la caracterización del segmento de vivienda de madera prefabricada.

### **4.2 Método**

El capítulo se divide en dos partes: la primera se refiere al sector maderero y la segunda, al sector viviendas prefabricadas de madera<sup>1</sup>.

En la primera parte se ha buscado delinear de manera general el sector maderero en Brasil, enfocando el segmento de suministro de productos de madera para la construcción, compilando información sobre las fuentes de recurso; producción, el consumo interno y las exportaciones; la organización y la logística; la importancia económica, los impactos sociales y ambientales de la actividad; la remisión a programas y políticas públicas para el sector; la exposición de los responsables por la gestión; y las perspectivas (Fig. 4. 1). Para ello, se reunió información de informes sectoriales e instituciones especializadas en el sector maderero y de

---

<sup>1</sup> En el mercado además de las viviendas prefabricadas y casas personalizadas (generalmente de alto estándar), también se encuentran los “kits”. Estos son un conjunto de cortes de madera suficiente para la construcción de una vivienda, que se encuentran y venden a un público de menor poder adquisitivo con facilidad. Aunque las casas construidas con kits de madera están muy difundidas, estas no cumplen los requisitos mínimos de desempeño que señala la norma NBR 15.575 (Edificaciones habitacionales - desempeño)[1], con lo que la propuesta de políticas públicas es inviable.

construcción, estudios académicos y científicos, libros, reportajes y datos disponibles en Internet. Se estimó la producción de troncos y su respectiva facturación utilizando datos del SIDRA (Sistema IBGE de Recuperación Automática) del IBGE (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística), de 2011[2]. Este banco de datos oficial no presenta la producción de productos de madera nativa ilegal, que domina el mercado brasileño.

En la segunda parte se ha querido delinear el escenario del mercado de viviendas prefabricadas de madera en Brasil, buscando informaciones sobre las materias primas utilizadas, la logística, los sistemas constructivos ofertados, el perfil de las empresas y los consumidores; el modo de comercialización y los precios existentes (Fig. 4. 1). Se concretó que se iba a trabajar solamente en el contexto de viviendas prefabricadas de madera, pues fuera ese ámbito el mercado puede ser muy variable, lo que inviabilizaría el diseño de un escenario. Para generar datos sobre el tema, se definió una muestra de empresas sobre las que se obtuvieron informaciones por medio de entrevistas, material publicitario impreso, contenido disponible en los sitios web de las empresas y visitas a lugares de venta y fabricación.

Para el muestreo (no representativo) de este estudio, se tomaron cincuenta empresas brasileñas que manufacturan o comercializan casas de prefabricadas de madera. La selección fue aleatoria por medio de búsqueda en Internet. Los primeros datos se obtuvieron de los sitios oficiales en la red y se recibió información complementaria vía correo electrónico, teléfono o visita a los lugares de venta (que estuvieran localizados en la ciudad de São Paulo, debido a limitaciones financieras). Se obtuvo información complementaria de un 48% de las empresas, así el trabajo tardó cerca de cinco meses (desde noviembre de 2010 hasta marzo de 2011). Durante las visitas se hicieron entrevistas estructuradas [3][4] con representantes comerciales o directores de cinco empresas. Se utilizó un cuestionario como guión para obtener datos sobre la producción, la comercialización, la construcción y el mantenimiento de las viviendas.

Los lugares de suministro de madera, localización de la planta de producción (empresas que tienen fabricación propia) y destino de ventas de las casas prefabricadas se definieron según las declaraciones hechas mediante correo electrónico, teléfono y entrevistas. Las distancias de transporte entre el suministro de madera y el procesamiento se calcularon utilizando la herramienta “Google Maps”, considerando como punto de partida la capital del estado declarado como suministrador y, como punto de llegada, la ciudad donde se ubica la unidad de producción de la empresa, adoptándose la menor distancia por carretera.

Para definir las especies se tuvo en consideración la información existente en los sitios web de las empresas, así como, las declaraciones vertidas en la fase de complementación de

datos. Como se facilitaron los nombres populares de las maderas, existe una cierta incertidumbre sobre las especies realmente utilizadas. Aún así, se ha esbozado un listado de especies<sup>2</sup> considerando las informaciones primarias. Se investigaron los datos sobre posibles nombres científicos y densidad en los sitios web del IBAMA (Instituto Brasileño del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables) [5], el IPT (Instituto de Investigaciones Tecnológicas) [6], el IPEF (Institutos de Investigaciones y Estudios Forestales) [7] y artículos científicos.

Además, se definieron los sistemas constructivos en virtud de la información disponible en los sitios web y los catálogos impresos de las empresas, así como, mediante observación hecha durante las visitas a diversos puestos de venta de casas prefabricadas de madera (modelos en tamaño real), situados en la Avenida Profesor Vicente Rao, en la ciudad de São Paulo.

Los servicios ofrecidos se definieron según la información disponible en los sitios web de las empresas. Los precios se recabaron en los trabajos de complementación de informaciones primarias y las empresas proporcionaron los datos por teléfono, correo electrónico o entrevista. También se hicieron presupuestos por Internet en los sitios de las empresas que disponían de este servicio en red.

Se organizó toda la información en una planilla comparativa entre empresas que sirvió de base para los análisis cuantitativos. Para ello, se utilizaron los recursos del programa Excel y los resultados se expresaron en porcentaje de respuestas validas del total de empresas, según el caso.



**Fig. 4.1 - Diagrama del contenido del capítulo**

<sup>2</sup> Listado de especies declaradas en el apéndice de este capítulo.



## 4.3 Resultados

Los resultados presentados en este apartado se dividen en dos partes. La primera se refiere al sector maderero brasileño, con enfoque en la cadena de productos para la construcción civil. La segunda, al segmento de viviendas prefabricadas de madera. Ambas secciones buscan caracterizar y suministrar información para la comprensión general de los sectores.

### 4.3.1 Sector maderero en Brasil

#### 4.3.1.1 Fuentes de recursos

El sector maderero suministra la materia prima para la producción de energía, la industria de transformación y la construcción [8]. En Brasil, donde hay seis biomas (Fig. 4. 2), el sector se ve favorecido por una enorme superficie forestal, la segunda mayor del mundo [9], que ocupa el 54% del territorio nacional [10], de la que se estima que el 69% tiene potencial productivo [8]. Las forestas se expanden a lo largo de 463 millones de hectáreas, de las que el 98,5% son bosques nativos y el 1,5%, foresta plantada (año 2011) [10].



Mapa de la ocupación territorial de los biomas de Brasil

Fuente de la ilustración: [11]



Amazonia

Fuente de la ilustración: [12]



Caatinga

Fuente de la ilustración: [13]

**Cerrado**

Fuente de la ilustración: [14]

**Mata Atlântica**

Fuente de la ilustración: [15]

**Pampa**

Fuente de la ilustración: [16]

**Pantanal**

Fuente de la ilustración: [15]

**Fig. 4. 2 - Biomas de Brasil**

La mayor parte del suministro de madera nativa proviene de la Amazonia Legal<sup>3</sup> [18] (Fig. 4. 3), localizada al norte del país. Su extensión más grande es una selva tropical húmeda con cerca de 150 a 562 toneladas de biomasa (seca sobre el suelo) por hectárea<sup>4</sup> [20][21], que produce alrededor de 18 a 72 m<sup>3</sup>/ha (promedio 35 m<sup>3</sup>/ha)[21]. Además, hay una extensión más pequeña llamada *cerrado*<sup>5</sup>. Se estima que hay más de 11.000 especies arbóreas en la Amazonia [23], pero solamente entre sesenta y ochenta son comerciales y cuarenta están catalogadas como técnica y económicamente viables [24]. Algunas de las especies<sup>6</sup> de alto valor económico son el *ipê*, el *cedro vermelho*, el *itaúba* y el *freijó*; entre las de valor mediano están el *cumarú*, el *angelim pedra*, el *cedrinho*, el *maçaranduba* y el *sucupira*; y de bajo valor el *paricá*, el *faveira*, el *copaíba*, el *sumauma* y el *tauari* [18].

La madera plantada proviene de forestas localizadas mayoritariamente en el sudeste y sur del país. Consideradas monocultivo, su productividad es de aproximadamente 40 m<sup>3</sup>/ha.ano, mayor que en países tradicionalmente madereros como Finlandia, Suecia o Chile, por ejemplo

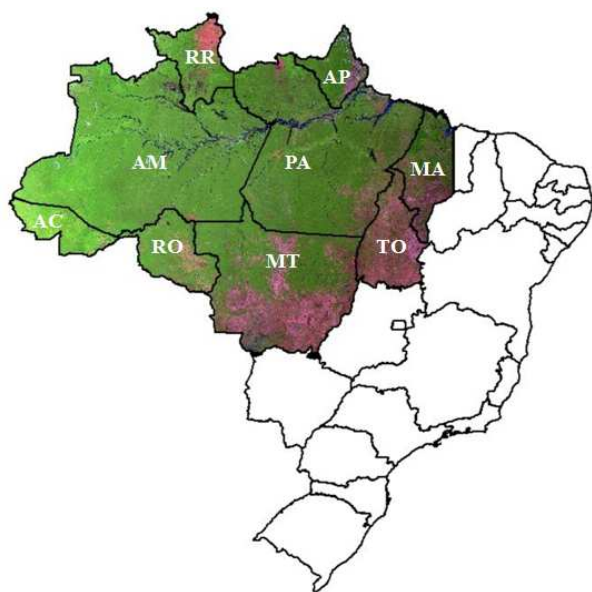
<sup>3</sup> La Amazonia Legal comprende los estados de Acre, Amazonas, Pará, Amapá, Rondônia, Roraima, Tocantins (norte), Mato Grosso, parte del Goiás (centro oeste) y parte de Maranhão (nordeste) [17]. Incluye el bioma Amazonia y zonas de cerrado y campos naturales [18].

<sup>4</sup> Estimado según el contenido de carbono (74 tC/ha y 275 tC/ha), considerando un índice de 0,49 tC.tseca<sup>-1</sup> [19].

<sup>5</sup> El *cerrado* es el segundo mayor bioma brasileño, reconocido como sabana [14][22].

<sup>6</sup> En el anexo de este capítulo se puede consultar un listado más extenso de las maderas comerciales.

(Gráf. 4. 1). Las especies plantadas en su mayoría son exóticas: eucalipto (71%) y pino (22%); y el 7% restante de las zonas de cultivo está ocupado por otras especies<sup>7</sup> (exóticas y nativas) [25] (Fig. 4. 3).



**Madera nativa. Estados de la Amazonia Legal**  
Fuente de la ilustración: [26]



**Madera plantada. Estados productores de eucalipto**  
Fuente de la ilustración: [25] (adecuado)



**Madera plantada. Estados productores de pino**  
Fuente de la ilustración: [25] (adecuado)

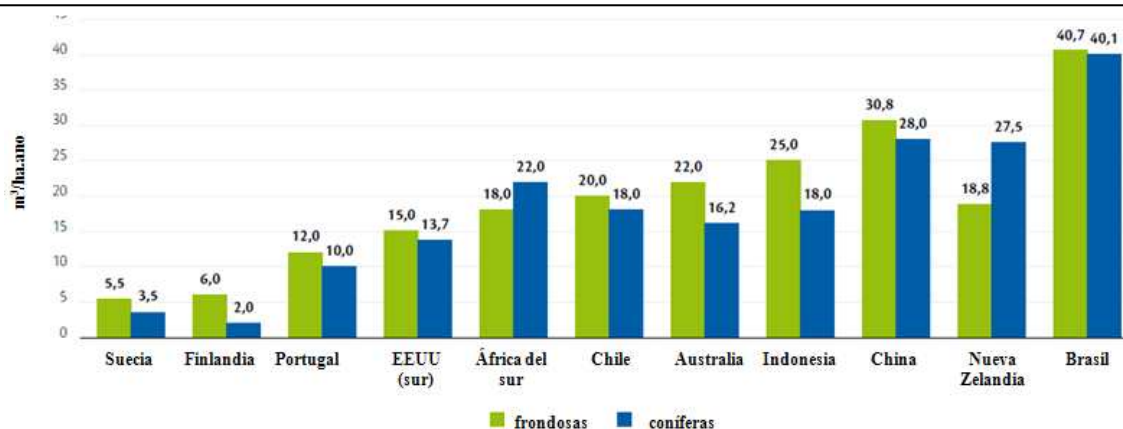


**Madera plantada. Estados productores de otras especies**  
Fuente de la ilustración: [25] (adecuado)

Leyenda: AC-Acre, AM-Amazonas, AP-Amapá, BA-Bahia, ES-Espirito Santo, GO-Goiás, MA-Maranhão, MG-Minas Gerais, MS-Mato Grosso do Sul, MT-Mato Grosso, PA-Pará, PI-Piauí, PR-Paraná, RJ-Rio de Janeiro, RO-Rondônia, RR-Roraima, RS-Rio Grande do Sul, SC-Santa Catarina, SP-São Paulo, TO-Tocantins.

**Fig. 4. 3 - Estados productores de maderas nativas y plantadas**

<sup>7</sup> Acácia (*Acacia mearnsii* y *Acacia mangium*), Seringueria (*Hevea brasiliensis*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*), Araucária (*Araucaria angustifolia*), Teca (*Tectona grandis*) y Pópulus (*Populus spp.*) [25].



**Gráf. 4. 1 - Comparación de productividad de plantaciones de especies arbóreas entre Brasil y países seleccionados**

Fuente de la ilustración: [25]

#### 4.3.1.2 Producción, consumo y exportación

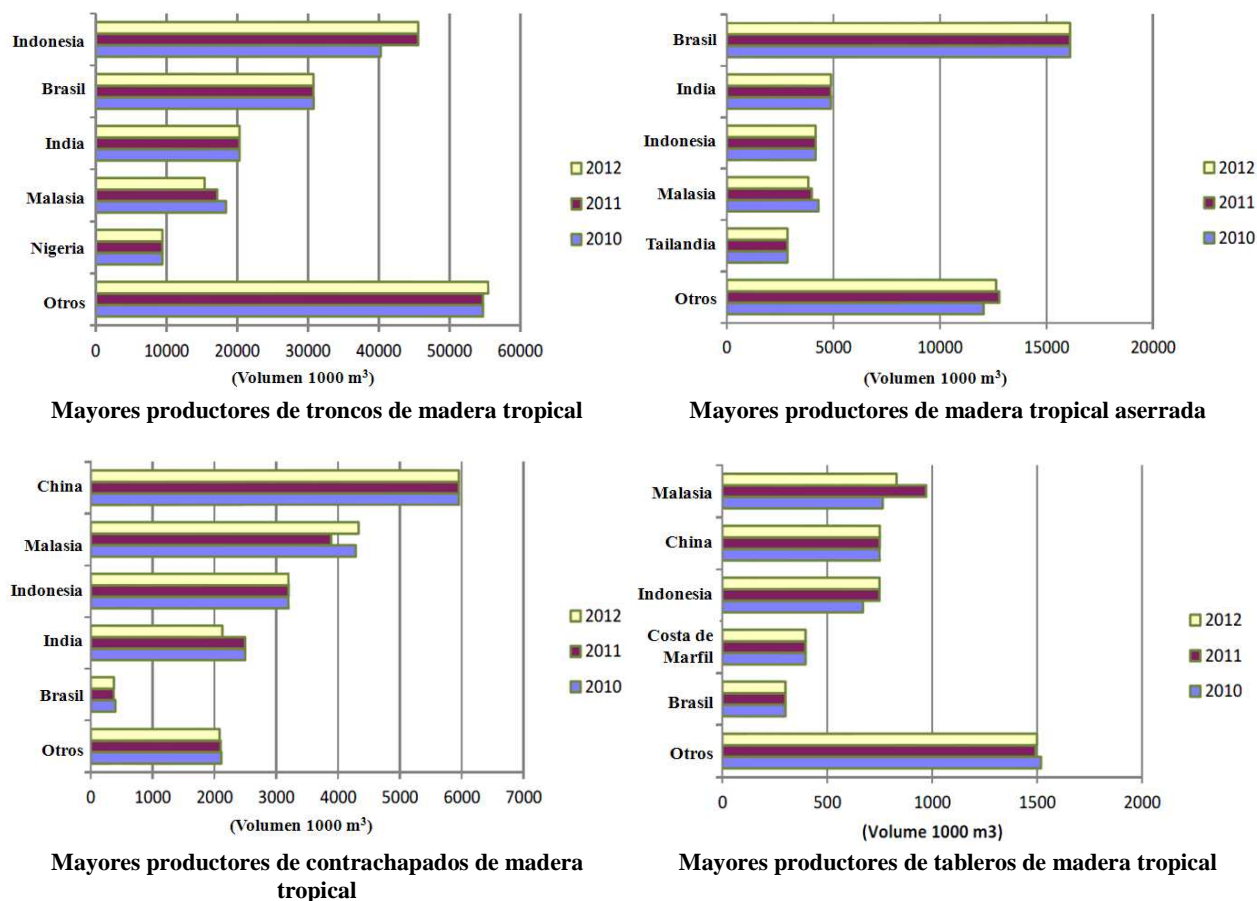
Brasil es el segundo mayor productor y consumidor de troncos nativos tropicales y su producción aproximada es de 13 a 31 millones<sup>8</sup> de metros cúbicos (2011)[10][27][28]. Asimismo, es el mayor productor y consumidor de madera aserrada nativa, entre 6 y 15 millones<sup>9</sup> de metros cúbicos, en 2011 [10][27][28], el quinto productor de tableros y contrachapados de madera nativa (300.000 m<sup>3</sup> y 375.000 m<sup>3</sup>, en 2011/12, respectivamente) (Gráf. 4. 2) [28].

Parte de su producción brasileña abastece a mercados internacionales y Brasil es el quinto exportador mundial de madera tropical aserrada y uno de los mayores exportadores de productos de madera nativa de procesamiento secundario<sup>10</sup> [28]. Entre los principales destinos de la madera nativa brasileña están Estados Unidos, Francia y China (2010) [18], y de la madera plantada, Estados Unidos (tableros y madera aserrada) y Alemania (contrachapados) (2012) [25]. En el general, los principales países importadores de productos forestales brasileños son Estados Unidos, China y Holanda [10]. En 2012, las exportaciones del sector maderero produjeron cerca 1.900 millones de dólares [27].

<sup>8</sup> Trece millones se refiere solo a la madera nativa de fuentes legales de la Amazonia Legal.

<sup>9</sup> Seis millones se refiere solo a la madera nativa de fuentes legales de la Amazonia Legal.

<sup>10</sup> Referente a muebles y sus partes; piezas de carpintería para la construcción; otros productos (embalaje, bobinas de cable, paletas, productos de madera para uso doméstico y decoración y otros productos manufacturados); molduras (maderas perfiladas como frisos, tacos, marcos...); y bambú para muebles [28].



**Gráf. 4. 2 - Mayores productores de productos de madera tropical**

Fuente de la ilustración: [28]

Todo el sector forestal es responsable de cerca del 3,5% del PIB (Producto Interior Bruto, 2007) y del 7,3% de las exportaciones totales del país [8]. En 2011, el sector facturó cerca de 9.700 millones de dólares<sup>11</sup>, de los que el 73% se referían a la silvicultura (creación, desarrollo y reproducción de forestas) y el 27%, a la extracción vegetal (explotación de recursos forestales nativos) [30]. La producción de troncos de madera equivalió al 39% de la facturación (de los que el 24% provenía de la silvicultura<sup>12</sup> y el 15%, de la extracción vegetal)<sup>13</sup>[2] (Tab. 4. 1).

**Tab. 4. 1 - Importes de producción legal de la silvicultura y extracción vegetal en 2011**

	En miles de dólares (USD) <sup>3</sup>	Porcentaje
<b>Silvicultura</b>	<b>7.009.978</b>	<b>73%</b>
Madera en tronco	2.277.516	24%
Otros productos <sup>1</sup>	4.732.462	49%
<b>Extracción vegetal (madera nativa)</b>	<b>2.648.188</b>	<b>27%</b>
Madera en tronco	1.444.405	15%

<sup>11</sup> Conversión de monedas según la tasa de cambio de diciembre de 2011 [29]

<sup>12</sup> No se consideraron los troncos producidos para celulosa y papel.

<sup>13</sup> Valores estimados según datos del SIDRA (Sistema IBGE de Recuperación Automática) [2].

Otros productos <sup>2</sup>	1.203.783	13%
<b>Total (silvicultura + extracción vegetal)</b>	<b>9.658.166</b>	<b>100%</b>

<sup>1</sup> Carbón vegetal, leña y otros productos no identificados.

<sup>2</sup> Alimentación, colorantes, aromáticas, medicinales, tóxicos, gomas, cera, fibras, goma no elástica, carbón vegetal, leña, semillas oleaginosas, pino brasileño y taninos.

<sup>3</sup> Importes calculados según la tasa de cambio de diciembre de 2011 [29].

### 4.3.1.3 Organización del sector y producción de empleos

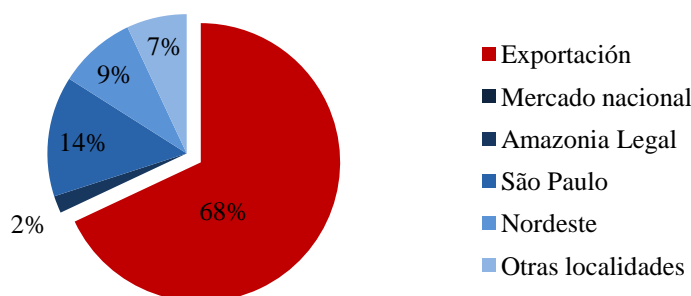
El sector está dividido en dos modelos de organización: 1) producción de papel, celulosa y tableros, dominado por pocas empresas de gran tamaño, que actúan de manera vertical desde la producción (foresta) hasta el consumidor (producto final); 2) producción de madera aserrada, muebles y compensados, caracterizado por un gran número de empresas de medio y pequeño tamaño y menor capacidad empresarial [8].

Genera cerca de siete millones de empleos [8], de los que 308.000 son empleos directos legales en las actividades de producción y apoyo forestal y producción de madera aserrada, láminas, tableros y productos de madera (2011) [10].

Sin embargo, “a pesar de su importancia en la economía nacional es un sector contradictorio que mientras desarrolla plantaciones forestales con producción integrada y sofisticada estructura de manufactura, aún vive con altas tasas de deforestación ilegal de los bosques nativos”[8].

### 4.3.1.4 Certificación

Entre las forestas certificadas del mundo, las de Brasil representan tan solo el 4%, mientras que las de Canadá equivalen al 33% y de Rusia al 18% [27]. El volumen de madera brasileña con certificación también es bajo, al representa solo entre el 3% y el 4% de toda madera extraída [24][31]. Una pequeña parte (32%) se queda en el mercado interno, principalmente en el estado de São Paulo y la región nordeste, mientras que el restante (68%) se destina a la exportación [31] (Gráf. 4. 3). Además de haber poca producción certificada, entre 2006 y 2009, las zonas con certificación disminuyeron [32].



**Gráf. 4. 3 - Destinos de la producción de madera certificada brasileña**

Fuente de referencia: [31]

De los 6,3 millones de hectáreas certificadas en 2011, solamente el 20% eran forestas nativas en Amazonia, el resto (80%) eran forestas plantadas en las regiones sur, sudeste y nordeste de Brasil [31]. El tres por ciento de la demanda de madera bruta de la Amazonia fue de madera certificada, aunque este valor podría ser del 4% si una parte no hubiera sido desclasificada. La desclasificación puede producirse por motivos comerciales, entre ellos, la venta a aserraderos que no quieren pagar más para tener una madera certificada [31].

La expansión de la certificación en Brasil encuentra algunas barreras como la falta de demanda por parte del cliente y de suministradores de madera certificada, el mayor precio de estos productos y la poca sensibilidad del mercado respecto al origen de la madera [31].

Distintas empresas realizan la certificación de la madera en Brasil mediante dos sistemas: el FSC (*Forest Stewardship Council*) y el Cerflor (Programa Brasileño de Certificación Forestal) vinculado al PEFC (*Program for the Endorsement of Forest Certification Schemes*) [10].

#### **4.3.1.1 Gestión del sector**

La gestión de las forestas en el ámbito federal la lleva a cabo el MMA (Ministerio de Medio Ambiente), responsable de las políticas públicas; el SFB (Servicio Forestal Brasileño), a cuyo cargo se encuentra la gestión de forestas públicas federales para la producción sostenible, la generación de información, la capacitación y el fomento sectorial; el IBAMA (Instituto Brasileño del Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables), que es responsable de realizar la fiscalización, el licenciamiento y el control ambiental en su esfera de competencia; y el ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservación de Biodiversidad), que se encarga de proponer, implementar, gestionar, proteger, supervisar y vigilar las unidades de preservación. En los ámbitos estatales y municipales, estas actividades las desempeñan las secretarías y organismos medioambientales [10].

#### **4.3.1.2 Segmento de la madera nativa**

##### *Materia prima*

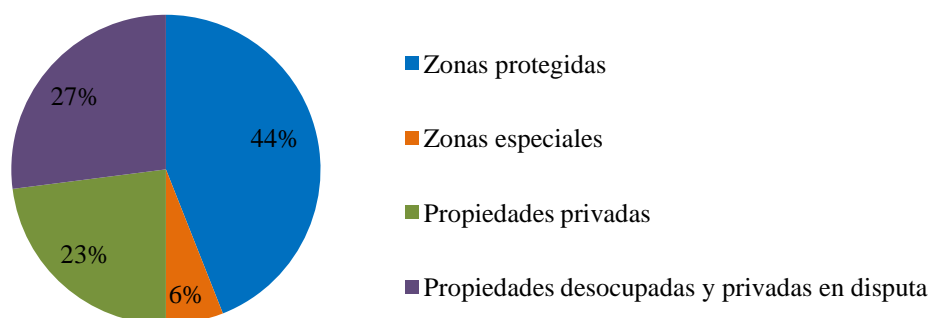
Como se ha visto, la Amazonia Legal es el mayor suministrador de madera nativa de Brasil. Su territorio se divide en: un 44% de zonas protegidas<sup>14</sup>, un 6% zonas especiales<sup>15</sup>, un 23% propiedades privadas, un 27% propiedades desocupadas y privadas en disputa (2012) [27]

---

<sup>14</sup> Integradas por tierras indígenas y unidades de conservación.

<sup>15</sup> Incluye zonas militares hasta 2009, áreas de comunidades *quilombolas* hasta 2005 y asentamientos rurales hasta 2002 [27]. (Obs.: *Quilombolas* son grupos étnicos, predominantemente negros de las zonas rurales o urbanas, que se definen a partir de relaciones con la tierra, parentesco, territorio, ascendencia, tradiciones y prácticas culturales propias [33]).

(Gráf. 4. 4). Aunque las zonas protegidas son considerables, es capaz de suministrar legalmente un gran volumen de madera nativa, que principalmente se consume en el mercado interno.



**Gráf. 4. 4 - Tipo de ocupación del territorio de la Amazonia Legal**

Fuente de referencia: [27]

La búsqueda de madera tropical densa está relacionada a sus cualidades. Al tener una alta densidad es menos susceptible al biodeterioro, en comparación con las maderas blandas, y muchas veces no necesita tratamiento químico para su conservación. El *Angelim-vermelho*, por ejemplo, es una madera comercial con densidad básica de  $830 \text{ g/cm}^3$  que puede emplearse para usos pesados en ambiente exterior, como puentes, postes, pilotes, anclajes, perchas, traviesas, construcción naval y portuaria, o usos pesados en interior, como vigas [34]. Sus características morfológicas le confieren cualidades que favorecen su aplicación en usos de largo plazo de vida.

La cantidad de especies arbóreas es enorme y está infrautilizada por falta de catalogación y conocimiento técnico. Se estima que si se comercializaran especies consideradas de segunda clase, los ingresos brutos por hectárea podrían aumentar entre el 40% y el 50%. Se calcula que existan cerca de cien especies en esta clase con cualidades mínimas para su comercialización dentro de los estándares especificados por ley. En la actualidad, el 80% de lo que es comercializado corresponde a tan solo veinticinco especies [24].

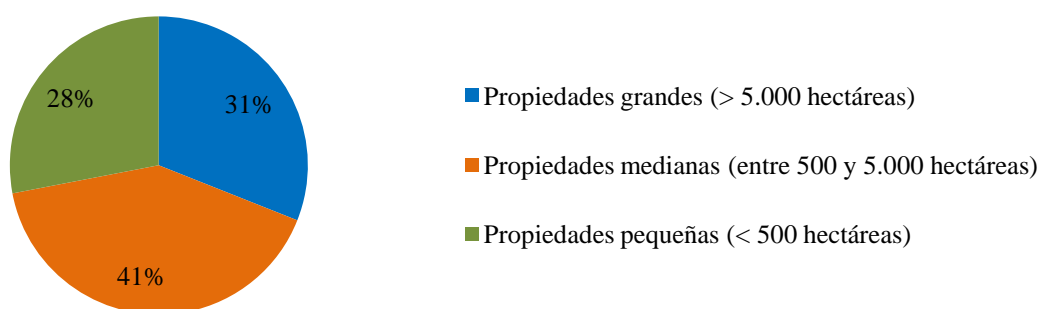
Si bien, identificar la especie de la madera es una tarea difícil para los profesionales de la construcción no expertos. En 2009, en la ciudad de São Paulo, se constató que cerca de quince diferentes especies de madera plantada o nativa se comercializaban indistintamente con el nombre de *Cedrinho* [34]. En 2013, el IPT (Instituto de Investigaciones Tecnológicas del Estado de São Paulo) publicó un catálogo que debe servir de apoyo a profesionales (principalmente proyectistas), en el que caracteriza algunas maderas e indica sus usos apropiados en la construcción civil [35][36]. Aun así, la diferenciación de la madera en obra dependerá de otros mecanismos y capacitación del personal.



### *Sistema productivo*

La explotación legal de madera nativa se hace mediante el sistema de manejo forestal<sup>16</sup> o por supresión<sup>17</sup> autorizada (retirada total de la biomasa hasta el 20% de la superficie de la propiedad rural [10][38]). El control de transporte de todos los productos y subproductos de origen nativo se realiza mediante el sistema DOF (Documento de Origen Forestal) [39] (algunos estados utilizan el Sisflora, Sistema de Comercio y Transporte de Productos Forestales [10][24]), mientras que la fiscalización queda a cargo del órgano federal IBAMA (Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables) o de las secretarías ambientales estatales, según el tamaño de la propiedad. Gracias al DOF, entre 2007 y 2010, se estimó que el 49% de la madera provino del manejo y el 51% de la supresión autorizada [10].

En 2009, el 31% de la madera se extrajo de grandes propiedades (> 5.000 hectáreas), el 41% de medianas (entre 500 y 5.000 hectáreas) y el 28% de pequeñas (< 500 hectáreas) [18] (Gráf. 4. 5). Cerca del 39% de la madera la extrajeron los propios aserraderos y el 61% restante se compró a terceros [18]. En el mismo año, había 2.227 empresas madereras en la Amazonia Legal, de las que el 59% eran aserraderos, el 26%, microaserraderos, y el 15% restante, laminadoras, fábrica de contrachapados y procesamiento secundario (acabados) [18] (Gráf. 4. 6).

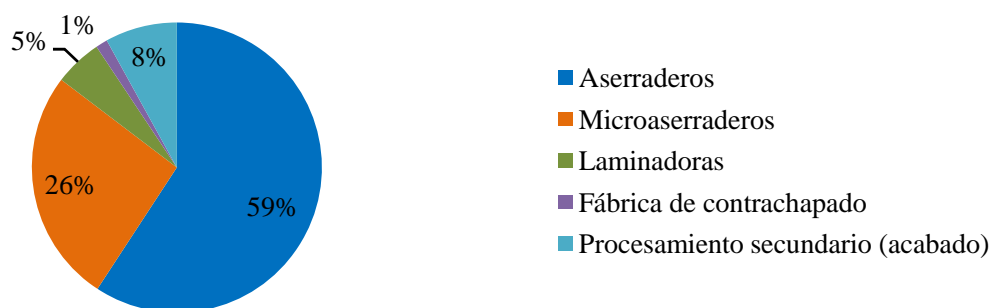


**Gráf. 4. 5 - Caracterización del tamaño de las propiedades productoras de madera en la Amazonia Legal**

Fuente de referencia: [18]

<sup>16</sup> El manejo forestal es la utilización racional y ambientalmente adecuada de los recursos de la foresta. Debe ser económicamente viable, ecológicamente correcta y socialmente justa. La principal herramienta del manejo es la técnica de **explotación de madera de impacto reducido (EIR)**, que consiste en extraer productos forestales cuyo impacto es mínimo, posibilitando el mantenimiento de la estructura forestal y su recuperación, por medio del capital de plantas restantes [37]. La EIR es policíclica y se basa en ciclos de aproximadamente 35 años, su intensidad de explotación máxima es de  $30\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ , lo que equivale a la extracción de cuatro a seis árboles por hectárea. Incluye Planes de Manejo Forestal Sostenible, Planes Operacionales Anuales y supervisión del manejo forestal por medio de inspecciones técnicas [10].

<sup>17</sup> Extracción total de la biomasa existente en la propiedad rural.



**Gráf. 4. 6 - Caracterización de la industria maderera en la Amazonia Legal**

Fuente de referencia: [18]

Los mayores productores de madera nativa son los estados de Pará, Mato Grosso y Rondônia (Fig. 4. 4) [10][40]. El 72% de la producción de madera se destina a bienes con poco valor añadido (madera aserrada), el 15%, a productos con algún valor añadido (madera aplanada, pisos, marcos) y el 13%, a madera laminada y contrachapada (Gráf. 4. 8). Más de la mitad de los residuos generados en el proceso productivo (51%) se utilizó para fines energéticos<sup>18</sup>, el 24%, para fines diversos<sup>19</sup> y el 25% no tuvo ningún destino (2009) (Gráf. 4. 9) [40].

En 2011, cincuenta aserraderos e industrias poseían certificación de la cadena de custodia<sup>20</sup> [31]. Los estados de Amazonas y Acre fueron los que proporcionalmente produjeron más madera certificada, el 39% y el 11% de la producción de troncos, respectivamente [31].

Según un estudio hecho en 2009, el transporte de la madera se llevó a cabo por caminos de tierra (el 66% del volumen de troncos), carreteras asfaltadas (19%) e hidrovías (15%) (Gráf. 4. 7) [18]. La madera nativa recorre una media de 1.956 km [42].



**Gráf. 4. 7 - Tipos de vías usadas para el transporte de troncos de madera nativa**

Fuente de referencia: [18]

### *Consumo*

De toda la madera de la Amazonia Legal consumida en el mercado interno en 2011 (cerca de 5,5 millones de metros cúbicos), el 23% tuvo como destino el estado de São Paulo, el

<sup>18</sup> Energía, carbón y cerámica [40].

<sup>19</sup> Leña, fertilizantes y vertederos, entre otros [40].

<sup>20</sup> “La Cadena de Custodia FSC es una información sobre el camino que siguen los productos desde la selva (...) hasta el consumidor, incluye cada etapa de procesamiento, transformación, manufactura y distribución. El paso a la siguiente etapa de la cadena de suministro supone un cambio de propiedad” [41].

60%, los estados de Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina y Bahía, y el resto, otros estados (Fig. 4. 4) [10]. Según un estudio de 2001, el 28% de la madera amazónica consumida en São Paulo se utilizó en fines de corta vida útil como encofrados y andamios; el 42%, en estructura de cubierta; el 11%, en falsos techos, pisos y ventanas; el 3%, en viviendas prefabricadas; y el resto, en muebles [43].

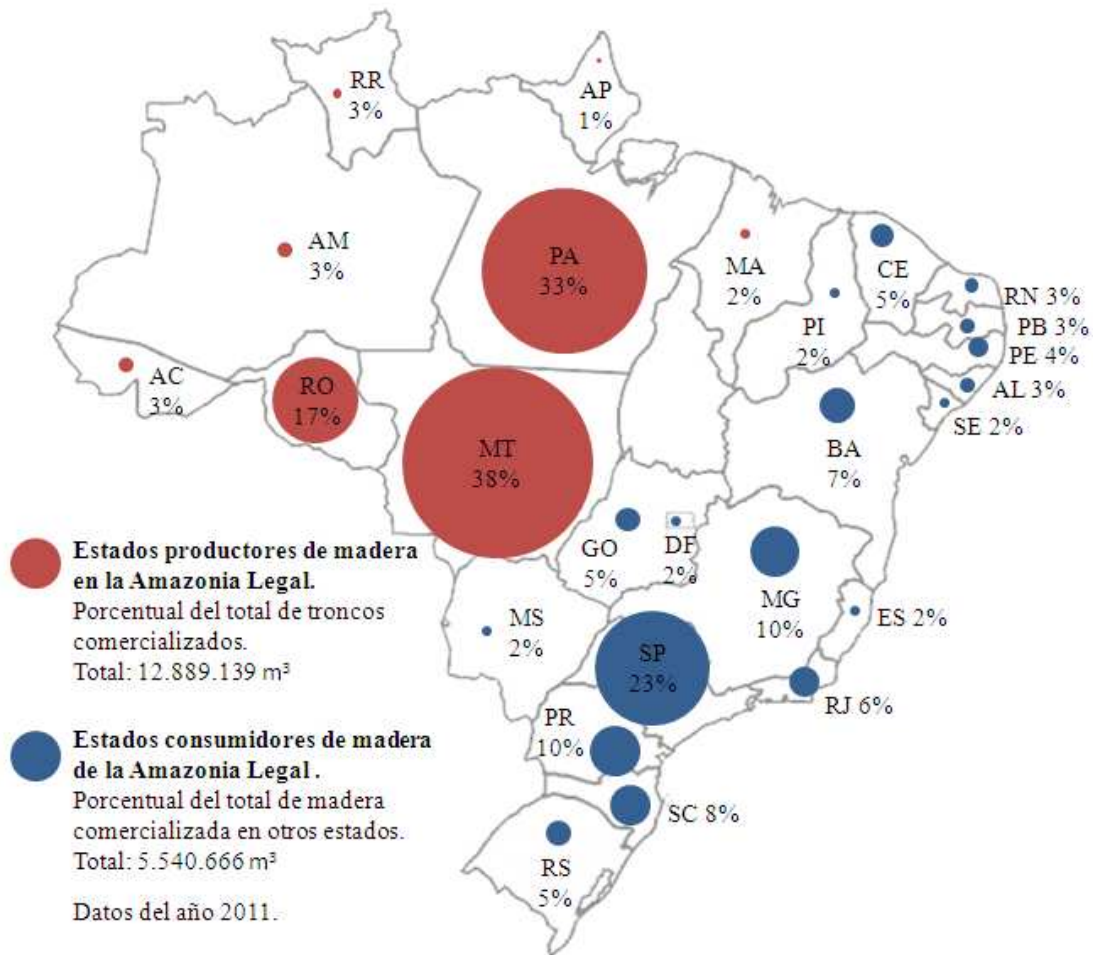
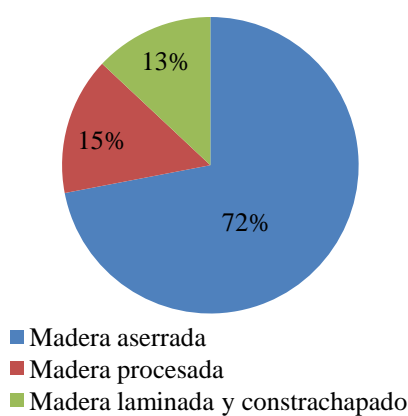


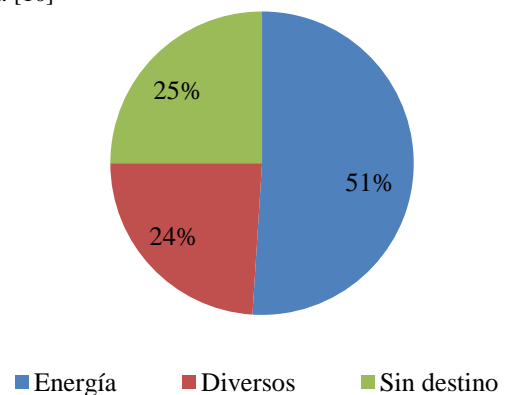
Fig. 4. 4 - Estados productores y consumidores de madera de la Amazonia Legal (2011)

Fuente de referencia: [10]



Gráf. 4. 8 - Tipos de productos manufacturados en la Amazonia Legal

Fuente de referencia:[40]



Gráf. 4. 9 - Destino de los residuos de producción de la Amazonia Legal

Fuente de referencia:[40]

### *Implicación social*

La actividad maderera afecta a cerca de 24 millones de habitantes de la Amazonia Legal (2009) [18]. La producción de madera en tronco representa dos tercios de los ingresos provenientes de la extracción de la selva nativa [24]. Aun así, no es suficiente para mejorar el IDH (Índice de Desarrollo Humano) de los municipios productores, que están entre los más bajos de Brasil, cerca del umbral de la pobreza [24].

### *Implicación ambiental y obstáculos*

El mercado de la madera nativa todavía podría contribuir más al enriquecimiento de la región productora y del país, pero el índice de ilegalidad, aunque haya bajado entre un 50% y un 75% desde 2000 [44], sigue alrededor del 33% (2009) [18] (o, según la referencia, hasta del 80% [34][44][45]). Algunos motivos de las dificultades de organización del sector maderero de fuentes nativas son: la burocracia existente para obtener las autorizaciones de explotación y comercialización de la madera, la fragilidad del sistema de control DOF susceptible a fraudes [46], la infraestructura inadecuada (dificultades de transporte, donde una tercera parte de la producción pasa por carreteras de tierra difíciles de transitar), los planes de manejo mal ejecutados que facilitan el “calentamiento”<sup>21</sup> de la madera, las necesidades de regularización de las tierras para reducir la *grilagem*<sup>22</sup>, la insuficiencia de profesionales para la fiscalización, la falta de incentivo para el manejo forestal y compra responsable y la escasez de información y de calificación técnica que incentive el cambio a un sistema de explotación más sostenible [24].

El país se ha comprometido ante la ONU (Organización de las Naciones Unidas) a reducir la ilegalidad en un 80% hasta 2020 (en comparación con los índices de 2005) [24]. Para ello, el gobierno ha aumentado la fiscalización [40][24][48] y ha utilizado tres sistemas de control vía satélite: Prodes (proyecto de monitoreo de la selva amazónica por satélite), Deter (sistema de detección de deforestación en tiempo real) y Degrad (mapeo de la degradación forestal en la Amazonia brasileña) [10][49]. Iniciativas populares, como la campaña “Deforestación Cero”, para acabar con la destrucción de la selva, también buscan colaborar para lograr esta meta. Además, hay en marcha políticas públicas e incentivos financieros para optimizar el sector<sup>23</sup>[10].

---

<sup>21</sup> El llamado “calentamiento de la madera” (*esquentamento da madeira*) es una acción que se sirve de fallos en el sistema de control DOF para legalizar maderas que fueron explotadas de forma ilegal.

<sup>22</sup> Término que se utiliza en Brasil para referirse a la apropiación indebida de tierras públicas por medio de invasión y de falsificación de documentos de titularidad de la propiedad rural [47][24].

<sup>23</sup> Algunos de ellos serían: el PPCDAM (Plan de Acción para la Prevención y el Control de la Deforestación en la Amazonia Legal), el PNCC (Plan Nacional sobre el Cambio Climático), el PPCerrado (Plan de Acción para la Prevención y el Control de la

Pero es necesario señalar que la deforestación de la Amazonia Legal, en gran parte, está motivada por la expansión de superficies dedicadas a la agricultura (a gran escala) y la ganadería, que ejercen una fuerte presión para que se cambie el uso del suelo y se avance sobre las zonas de selva [24][50][51][52]. En los últimos veinte años la agricultura aumentó alrededor del 135% sus superficies de cultivo llegando a representar el 21% de la superficie nacional destinada a esta actividad, mientras que la ganadería ya ocupaba, en 2011, cerca de 45 millones de hectáreas (destinadas a alojar aproximadamente 80 millones de bovinos) [27]. Esta actividad ocupa cerca del 80% de las zonas deforestadas. El avance sobre la selva se produce de manera compleja en ciclos de limpieza, pastoreo, cultivo y regeneración de la selva [51].

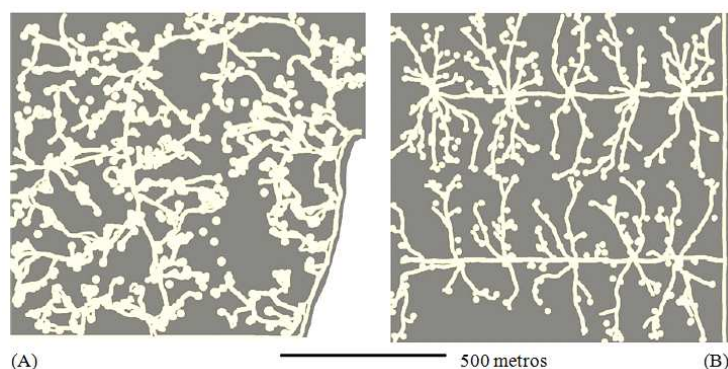
Aunque la deforestación no sea resultado directo de la explotación de la madera, el impacto que esta actividad provoca en la selva es considerable. Entre 2007 y 2009, el Estado de Pará<sup>24</sup> evaluó la eficacia de los planes de manejo y verificó que buena parte de ellos son de media o baja calidad [27]. En la práctica, gran parte de la madera nativa en la Amazonia Legal se extrae de manera “convencional”, es decir, mediante la tala de algunos árboles comerciales sin criterio para reducir el impacto ambiental [24]. Cerca del 95% de la madera se obtiene de manera predatoria [24]. Debido a la gran concentración de biomasa, la extracción convencional genera entre 1,4 y 4,8 toneladas de residuos de biomasa por cada tonelada de tronco extraído [53], o según otras referencias, entre 0,7 m<sup>3</sup> y 6,25 m<sup>3</sup> de biomasa destruida por metro cúbico de tronco extraído [54][55][56][57]. La extracción manejada puede reducir el impacto ambiental [58], entre un 8% y un 15%<sup>25</sup> [56]. En la Fig. 4. 5. se puede observar la diferencia de supresión de biomasa entre los sistemas de explotación de madera citados.

---

Deforestación e Incendios en el Cerrado, Pago por Servicios Ambientales), el FNDF (Fondo Nacional para el Desarrollo Forestal), el Fundo Amazonia, el crédito forestal, etc. [10].

<sup>24</sup> El mayor productor de madera nativa [40].

<sup>25</sup> Porcentaje estimado para un escenario de 120 años de explotación, en ciclos de extracción de 40 años, conforme datos de la referencia.



A-extracción convencional, B-extracción de impacto reducido (manejo). Las áreas grises representan la biomasa forestal residual y las zonas claras las aperturas en la selva referentes a espacios abiertos por el derrumbe del árbol, patios de almacenamiento, caminos, rutas de arrastre, etc.

**Fig. 4.5 - Comparación de la biomasa forestal destruida en los sistemas de extracción “convencional” y de “impacto reducido” (manejo)**

Fuente de la ilustración: [59]

### *Perspectivas*

La producción de madera nativa ha disminuido en los últimos años debido a la crisis económica de 2009, la mayor fiscalización y la creciente sustitución de madera nativa por otros materiales sustitutos (madera plantada u otros) [24][18][40]. El precio ha subido como consecuencia de la disminución de la oferta y el aumento de la demanda, principalmente del mercado interno movido por el incremento en las actividades de construcción debido a políticas de desarrollo (PAC – Programa de Aceleración del Crecimiento) y vivienda (MCMV – programa *Minha Casa Minha Vida*). Aun así, se prevén beneficios para los próximos años. Un estudio evaluó que si las exportaciones continuaran en el mismo nivel y la fiscalización hace que la madera ilegal disminuya cerca de un 20%, la renta anual del sector aumentaría entre 434 y 783 millones de dólares<sup>26</sup> [24].

Según el SFB (Servicio Forestal Brasileño) (2011) [9], para garantizar la sostenibilidad del sector forestal en vista de un futuro incremento de la demanda de madera nativa, es necesario que habilitar para la producción más forestas públicas. Con ello, se puede disminuir la ocupación y uso irregulares de estos territorios, así como la violencia rural, la explotación ilegal y la transformación de forestas en otros usos [9]. La regularización de tierras (públicas y privadas) puede viabilizar el incremento de zonas de producción [24].

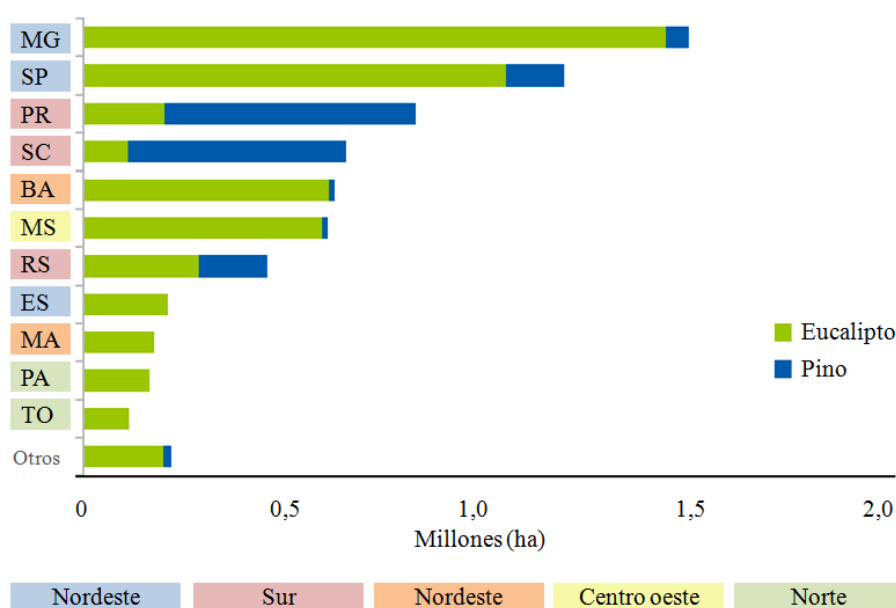
<sup>26</sup> Conversión de moneda según la tasa de cambio de diciembre de 2012 [29].

### 4.3.1.3 Segmento de la madera plantada

#### Materia prima

Brasil es el octavo país en superficie de foresta plantada (2010) [10]. Esta ocupa cerca de 7,2 millones de hectáreas (2012), de las que el 71% es para el cultivo de eucalipto, el 22%, para pino, y el 7%, para otras especies<sup>27</sup> (Fig. 4. 3) [25]. En 2009, la silvicultura en Amazonia ocupaba un territorio de 623.000 hectáreas, de las que el 60% se destinaba al cultivo de especies exóticas (eucalipto, teca y pino) y el 40%, a especies nativas (*seringueira* y *paricá*) [18]. En 2011, solo el 10% de las plantaciones de eucalipto estaban situadas en la Amazonia Legal [27].

Los cinco estados que tienen más superficie de plantío son Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina y Bahía, que están localizados en el sudeste, sur y nordeste (Gráf. 4. 10). En los dos primeros se concentra el 72% de las plantaciones, debido a la localización de las unidades industriales. La mayor parte de pino (85%) está plantado en el región sur y de eucalipto, en las demás regiones (el sudeste cuenta con el 53%) [25].



**Gráf. 4. 10 - Distribución de la superficie de plantío forestal**

Fuente de la ilustración: [25] (adecuado)

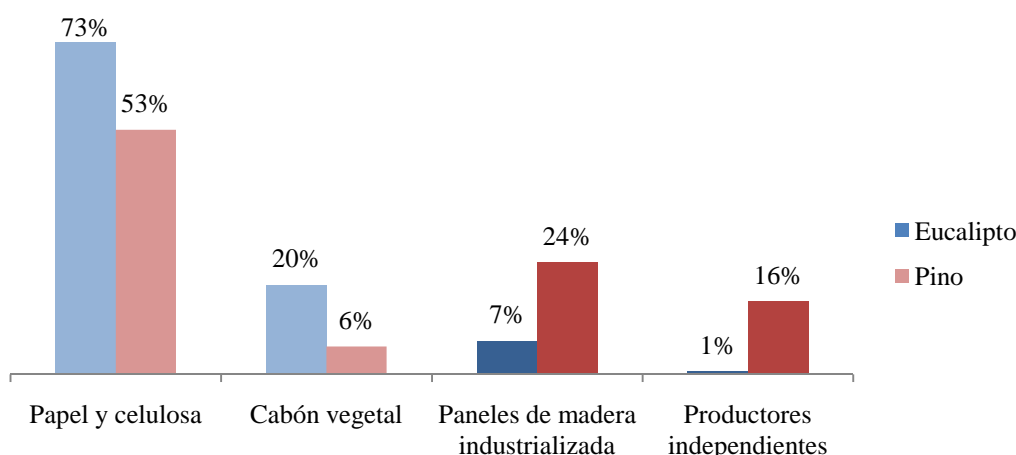
La productividad en la silvicultura brasileña es alta debido a las condiciones climáticas, las inversiones en investigación y desarrollo para la mejora genética y la optimización del manejo forestal, la verticalidad del sector y la mano de obra cualificada. En condiciones favorables, los ciclos de cosecha son más cortos y la productividad aumenta, de forma que llegan

<sup>27</sup> Las nativas son la *seringueira*, *paricá* y *araucária*; y las exóticas son la *acácia*, *teca* y *pópulus* [5][6][7].

a 41 m<sup>3</sup>/ha.ano para el eucalipto, a 40 m<sup>3</sup>/ha.ano para el pino y a 15 m<sup>3</sup>/ha.ano para la teca (Gráf. 4. 1) [25].

De las ocho especies más plantadas en Brasil, el 62% son exóticas y el 38%, nativas. De modo general, se trata de maderas menos densas cuyas cualidades difieren de las maderas nativas tropicales comerciales. Aun así, seis de ellas se manufacturan para producir bienes aplicables a la construcción civil, compitiendo con los productos de madera nativa.

El pino se destina más que el eucalipto a los segmentos industriales que amparan la construcción civil. Cerca del 40% de las superficies plantadas con pino son para la industria de tableros o productores independientes, mientras que del eucalipto, se destina un 8% para dichos segmentos (Gráf. 4. 11). De las demás especies plantadas, la *acácia*, *paricá*, *teca* y *araucaria* también se utilizan en la construcción civil (Tab. 4. 2) [25]. Aunque los tableros sean empleados en la construcción civil, este no es su único mercado, de forma que también se destina a la industria de muebles [25].



**Gráf. 4. 11 - Distribución de las superficies de plantío de eucalipto y pino por segmento industrial**

Fuente de referencia: [25]

**Tab. 4. 2 - Destino de usos relacionados con la construcción civil de especies de madera plantada\***

<b>Especie (nombre popular)</b>	<b>Principales usos relaciona con la construcción</b>
<i>Acácia</i>	Tableros de madera
<i>Paricá</i>	Láminas, contrachapados, falsos techos, marcos
<i>Teca</i>	Puertas, ventanas, paneles, falsos techos, elementos decorativos, entarimados
<i>Araucária</i>	Madera aserrada, láminas, falsos techos, marcos

\* Excepto pino y eucalipto.  
Fuente de referencia: [25]



*Sistema productivo*

La cadena productiva de la madera plantada es muy diversificada, engloba la producción de tableros de madera industrializada<sup>28</sup>, madera procesada mecánicamente<sup>29</sup>, madera tratada, celulosa y papel, carbón vegetal para siderurgia y biomasa para energía (Fig. 4. 6) [25].

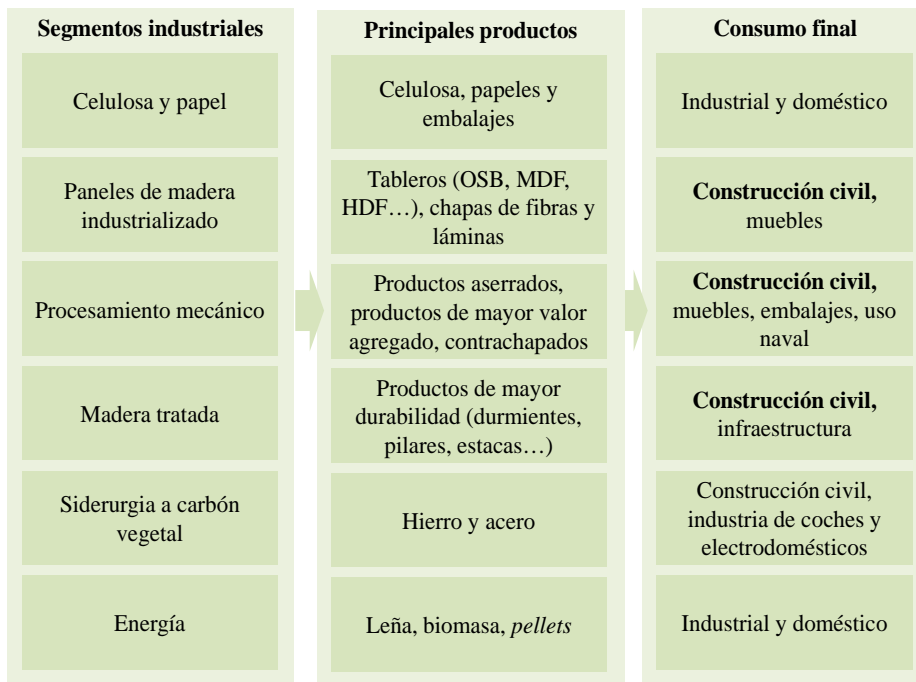
Los productores forestales se clasifican en tres grupos: 1) productores independientes, que son propietarios de tierras, de tamaño pequeño y medio, que invierten en la comercialización de troncos como fuente de renta; 2) empresas verticales, que tienen la producción forestal para suministrar su propia fábrica y comercializan los excedentes forestales en el mercado; 3) la *Organización de Gestión de Inversión de la Madera*, que agrupa a empresas de gestión de inversiones forestales que adquieren activos para actuar como productoras independientes e intermediar entre inversores y consumidores de madera plantada [25].

La industria de procesamiento también se divide en tres segmentos: primario, secundario y terciario. Desde el punto de vista de la manufactura para la construcción, el primero es responsable de la transformación de la madera, produce bienes primarios (madera aserrada, láminas de madera, madera preservada, etc.); el segundo transforma los productos primarios en productos de consumo final (tableros de madera, compensados y productos de valor añadido); y el tercero añade más valor a los productos secundarios, produce muebles, componentes de construcción como marcos, ventanas, etc. [25].

---

<sup>28</sup> Producción de OSB (tablero de virutas orientadas), MDF (tablero de fibra de densidad media), MDP (tablero de partículas de densidad media) y tablero de fibras [25].

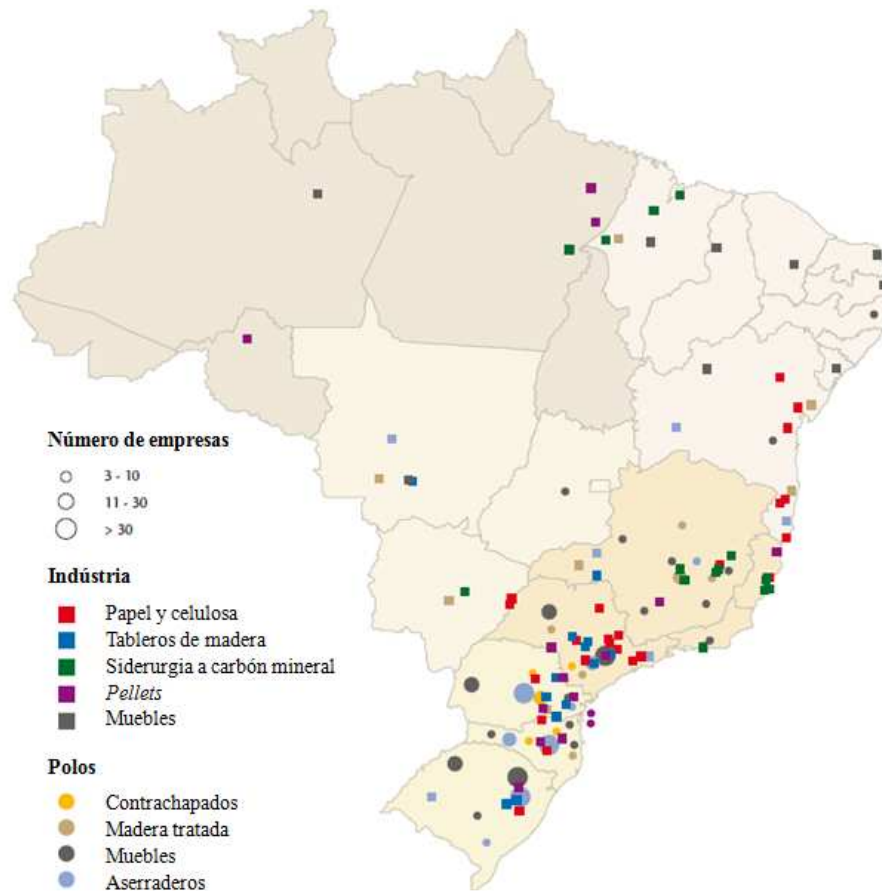
<sup>29</sup> Producción de madera aserrada, laminados, contrachapados y demás productos de valor añadido como ventanas, marcos, partes para muebles y otros productos transformados [25] [60].



**Fig. 4. 6 - Cadena productiva de la producción forestal de madera plantada**

Fuente de la ilustración: [25] (adecuado)

En el mapa desarrollado por ABRAF (Asociación Brasileña de Productores de Forestas Plantadas) (2013) [25] pueden consultarse los tipos de industrias y su localización (Fig. 4. 7).

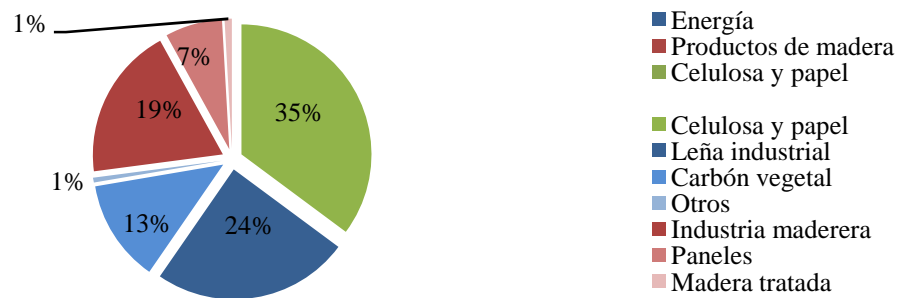


**Fig. 4. 7 - Localización de las empresas consumidoras de madera plantada por segmento**

Fuente de la ilustración: [25]

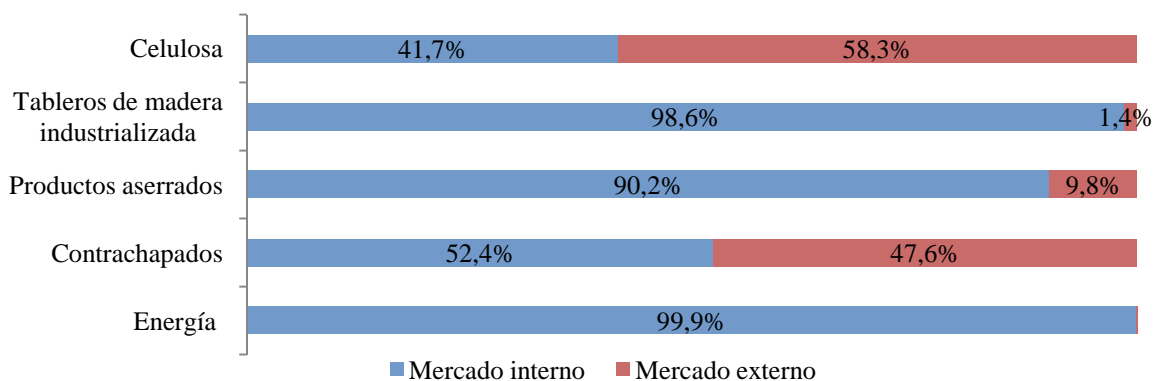
Consumo

El consumo de troncos en el mercado interno fue de 182 millones de metros cúbicos, en 2012, de los que cerca del 26% se destinó a la industria de productos utilizados en la construcción civil (Gráf. 4. 12). La distribución entre los distintos segmentos productivos se refleja en el Gráf. 4. 13. Se aprecia que la madera aserrada y los tableros se consumieron principalmente en el mercado interno. Su producción y consumo han aumentado desde 2010 probablemente debido al incremento de las actividades de la construcción civil [25].



**Gráf. 4. 12 - Consumo de madera plantada en tronco por segmento y género**

Fuente de referencia: [25]



**Gráf. 4. 13 - Distribución proporcional entre el consumo interno y externo de productos de forestas plantadas**

Fuente de referencia: [25]

La producción de madera tratada con conservante fue de 1,6 millones de metros cúbicos en 2012, destinada principalmente a postes, crucetas, durmientes, cercas y estructuras para la construcción. Las plantas de preservación de la madera se concentran en las regiones sur y sudeste [25]. En 2011, eran cerca de trescientas con una capacidad instalada de producción de dos millones de metros cúbicos por año, no utilizadas en su totalidad, llegando a un 33% de ociosidad [61].

### *Implicación social*

En 2012, la facturación de la silvicultura fue aproximadamente 27.500 millones de dólares<sup>30</sup>; de los que el 22% se referían al sector productivo de la madera mecánicamente procesada y tableros industrializados. En el mismo año, toda la cadena empleó a 4,4 millones de personas, 0,6 millones directamente, 1,3 millones indirectamente y 2,4 millones como resultado del efecto renta [25].

El ABRAF (2013) [25] comparó el IFDM (Índice Firjan de Desarrollo Municipal)<sup>31</sup> de algunas ciudades donde la silvicultura destaca en el escenario socio-económico, entre los años 2000 y 2010, localizadas en algunos de los principales estados productores de forestas plantadas: Minas Gerais, Bahía, Paraná y Mato Grosso do Sul. De modo general, los índices de empleo, renta, educación y salud de los doce municipios evaluados mejoraron, pero en ninguno de ellos alcanzó índices semejantes a los encontrados en sus respectivas capitales.

### *Implicación ambiental*

Las forestas plantadas son un monocultivo destinado a la obtención de diversos productos forestales. Según Vital (2007), el impacto ambiental de las plantaciones de eucalipto depende: 1) de las condiciones previas del plantío, como el bioma de inserción, la densidad pluviométrica, el declive del suelo o la distancia entre cuencas hidrográficas; 2) de las técnicas agrícolas empleadas, como la densidad del plantío, los métodos de cosecha, la presencia o no corredores biológicos<sup>32</sup> y las actividades consorciadas [63].

Sigue explicando que los impactos de las plantaciones de eucalipto sobre el **agua** dependerán del índice pluviométrico de local, que se verán más afectadas aquellas regiones con menos lluvia (<400mm.año), de forma que pueda haber sequedad en el suelo. Las afectaciones de las cuencas dependerán de la localización y la altitud de las plantaciones. Los impactos sobre el **suelo** dependerán de la situación previa al plantío. Si este se implanta en zonas degradadas por otros cultivos, o zonas de sabanas o pradera, habrá un incremento de nutriente en la tierra; lo inverso ocurre si la plantación sustituye forestas nativas. La afectación del **aire** se considera prácticamente nula, pues al mismo tiempo que el plantío secuestra CO<sub>2</sub> de la atmósfera en la fase de crecimiento, al efectuar los procedimientos de extracción con el consecuente uso comercial de

---

<sup>30</sup> Conversión de monedas según la tasa de cambio de diciembre de 2012 [29]

<sup>31</sup> El IFDM supervisa anualmente el desarrollo económico, social y humano de los municipios mediante indicadores de educación, empleo, renta y salud, organizados con base en variables primarias provenientes de fuentes oficiales como el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), el Ministerio de la Educación y el Ministerio del Trabajo y Empleo [25].

<sup>32</sup> El “corredor ecológico” tiene el “objetivo específico de promover la conexión entre partes de áreas naturales (...) pretende disminuir la fragmentación de los ecosistemas mediante la promoción de la relación entre las diferentes áreas, para proporcionar el desplazamiento de animales, la dispersión de semillas y el aumento de la cubierta vegetal”[62].

la madera, gran parte del carbono almacenado acaba siendo expulsado a la atmósfera. Con respecto a la **biodiversidad**, la zona de inserción también afecta al resultado. Pero de manera general, las zonas de plantío presentan menos biodiversidad que los bosques nativos y más que los monocultivos o pastos. El tamaño de la superficie de plantío influye en la biodiversidad. La técnica de “corredor biológico” es una herramienta que puede utilizarse para facilitar la movilidad genética entre forestas plantadas y nativas y, así, disminuir los impactos [63].

#### *Perspectivas y obstáculos*

Se calcula que la producción potencial de madera plantada (pino, eucalipto y teca) es de 272 millones de  $\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$  [25], aproximadamente un 50% por encima del consumo actual de troncos (~182,5 millones de metros cúbicos) para todos los segmentos. El sector cuenta con cerca de catorce líneas de financiación y programas de fomento<sup>33</sup>. Aún así, el crecimiento de las zonas de plantío encuentra dificultades estratégicas, a saber: las restricciones por parte del gobierno federal, que limita la compra de tierras por empresas nacionales con capital mayoritariamente extranjero; la crisis económica, que afectó a las exportaciones; la burocracia y los largos plazos para obtener una licencia ambiental y nuevos proyectos forestales e industriales por parte de los órganos ambientales del gobierno; la tributación compleja y excesiva, que ha aumentado los costes y ha disminuido la competitividad en el mercado internacional; el coste de financiación y una legislación laboral onerosa; la infraestructura deficitaria y precaria [25].

### **4.3.2 Viviendas prefabricadas de madera**

Los resultados presentados en secuencia son referentes a la muestra estudiada.

#### *Perfil de las empresas*

El estudio realizado en 2010/2011 muestra que las cincuenta empresas del muestreo que manufacturan o comercializan casas prefabricadas de madera se localizan mayoritariamente en el sudeste y sur del país (Gráf. 4. 14). La concentración en estas regiones puede explicarse por el mercado en potencial, ya que en la primera región se encuentra la mayor concentración poblacional del país (cerca de ochenta millones de personas, esto es, el 42% del total [64]) (Gráf. 4. 15) y, en la segunda, el mayor número de viviendas de madera de Brasil (~2,4 millones de unidades, equivalentes al 52% del total de viviendas de madera, en 2011) (Gráf. 4. 16)[65].

---

<sup>33</sup> BNDES ABC, BNDES Meio Ambiente, BNDES Florestal, Programa Maderagro, Fundo Clima Carvão Vegetal; PRONAF Floresta, PRONAF Agroindustria, PRONAF ECO, FCO Conservação da Natureza, FCO – ILPF, FNO Biodiversidade, FNO Amazônia Sustentável, FNE Verde y FNE Rural [25].

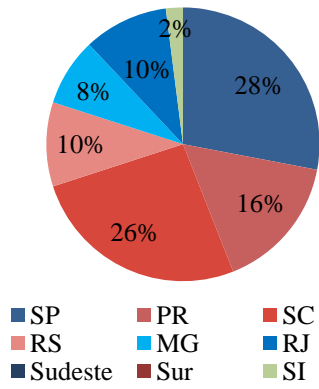
Considerando toda la muestra, la mayor parte de las compañías se crearon en la década de 1990, no se ha encontrado empresas constituidas antes de la década de 1970. Según la Precasa [66], hasta 1960, las viviendas de madera no tenían un comercio específico, mucho de lo que se comercializaba tenía una función provisional (apoyo en el cantero de obras). Esto no era una regla, pues antes de esta fecha se encontraba empresas que comercializaban casas populares de madera [67] y en el estado de Rio Grande do Sul (entre 1959 y 1963) se construían a escala de manera estandarizada escuelas de madera conocidas como “brizoletas”<sup>34</sup> [68][70]. Precasa [66] también señala que partir de aquella década se percibió un segmento que buscaba casas prefabricadas de madera para veraneo. A finales de 1970 y principios de 1980, el mercado ofrecía dos sistemas (de paredes dobles y macizas). Y en la década de 1990, se notó las viviendas prefabricadas de madera también se aceptaban como residencia principal [66].

En la actualidad, las actividades de más de la mitad (52%) no se ciñen en exclusiva al suministro de vivienda prefabricada de madera e incorporan la oferta de otros sistemas constructivos como la albañilería; el 42% posee fabricación propia, mientras que el resto compra las piezas de madera acabadas para uso final a terceros y sus actividades principales son la comercialización y montaje de la vivienda (Gráf. 4. 17). No se ha podido precisar entre las empresas que tienen fabricación propia el porcentaje de las que llevan a cabo la transformación primaria de la madera (del tronco a madera aserrada bruta) y las que hacen solamente el procesamiento secundario (transformación de madera aserrada en productos acabados)<sup>35</sup>.

---

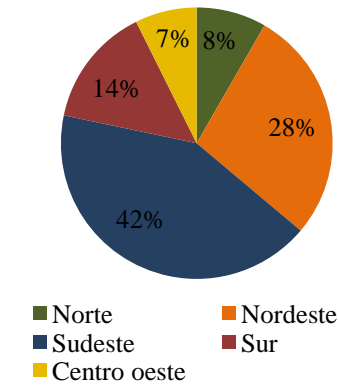
<sup>34</sup> Se construyeron 1.045 *brizoletas* (nombre por el que se conocían las escuelas de madera) entre 1959 y 1963 para la educación de niños y erradicación del analfabetismo. Eran estandarizadas de madera, con una o dos aulas (que se podían ajustar según el plan de construcción). Se edificaron en madera dada la abundancia del material, el menor coste respecto a la albañilería, la disponibilidad de mano de obra (carpinteros) y las dificultades de transporte de material hasta los lugares de construcción, en el interior del estado [68]. Todavía hay ejemplares de esta edificación, pero muchos están degradados [69].

<sup>35</sup> Productos acabados como piezas machihembradas, falsos techos, suelos, marcos y otros elementos para la construcción de viviendas.



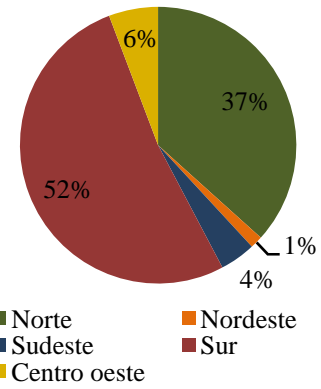
Estados de la región sudeste: SP-São Paulo, MG-Minas Gerais, RJ-Rio de Janeiro; estados de la región sur: PR-Paraná, SC-Santa Catarina, RS-Rio Grande do Sul; SI-sin información.

**Gráf. 4. 14 - Distribución de la localización de las empresas de casas prefabricadas del muestreo, por estado y gran región**



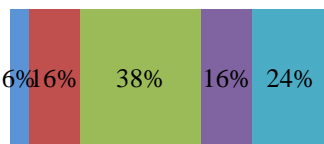
**Gráf. 4. 15 - Distribución de la población brasileña, por gran región**

Fuente de referencia: [64]

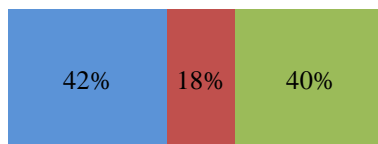


**Gráf. 4. 16 - Distribución de las casas de madera, por gran región**

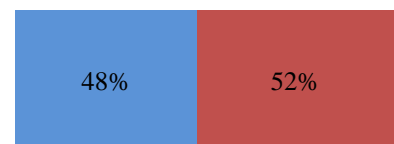
Fuente de referencia: [65]



**Fecha de fundación de la empresa**



**Fabricación de viviendas de madera**



**Actividad exclusiva de comercialización de vivienda prefabricada de madera**

**Gráf. 4. 17 - Componentes de caracterización del perfil de las empresas**

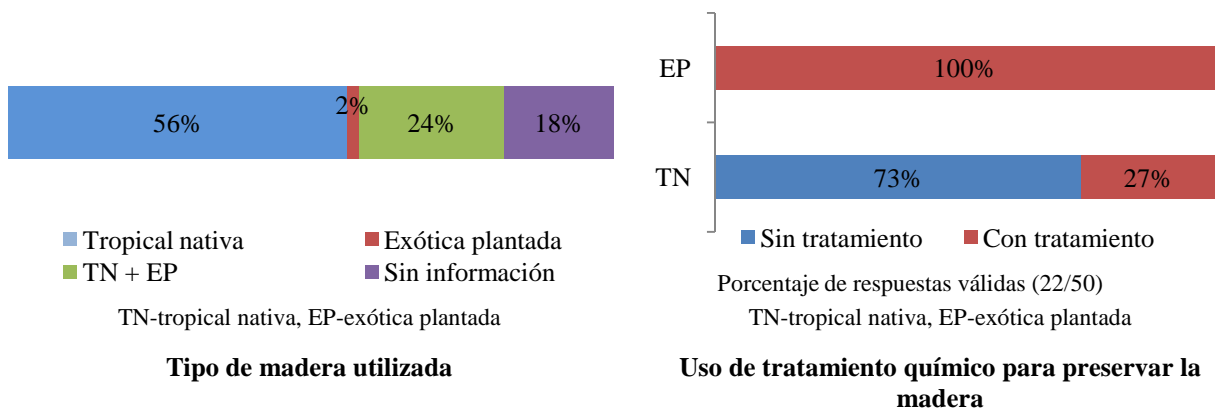
*Materia prima*

Más de la mitad (56%) de las empresas ofrecen viviendas de madera construidas con madera tropical nativa, mientras que el 24% ofertan casas de madera nativa y plantada (pino y eucalipto) (Gráf. 4. 18). En general, poseen más de una fuente suministradora de madera, así, la madera tropical se compra en la región norte (los estados más citados fueron Rondônia, Mato Grosso y Pará) y la madera plantada, en la región sudeste y sur (los estados más citados fueron Paraná, São Paulo y Santa Catarina); además, se sigue la logística de suministro de madera expuesta en el apartado anterior. Las distancias estimadas de transporte entre el suministro de madera (en tronco o aserrada) y el procesamiento (primario o secundario) variaron entre 110 y 3.450 km, dependiendo del tipo de madera, la plantada no pasó de 800 km y la nativa no fue menor de 550 km. El coste del transporte varió entre el 5% y el 25% sobre el coste de la madera, según declararon el 24% de las empresas.

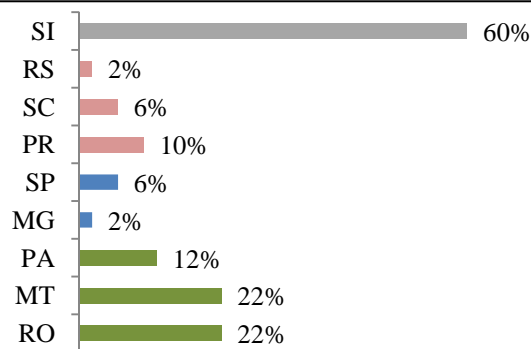
Sobre el tipo de explotación al que compran madera, el 2% de la muestra declaró que proviene de supresión autorizada (deforestación legal), el 28%, de zonas de manejo, el 4%, de forestas certificadas, el 8% no señaló una especificación clara y el 58% no proporcionó ninguna información (multiplicidad de respuestas 1,5) (Gráf. 4. 18). Las informaciones son autodeclaradas y se refieren a maderas nativas y plantadas.

Las especies nativas utilizadas más citadas fueron: *angelim*, *grapia*, *cedrinho*, *maçaranduba* e *ipê*; y las especies plantadas: pino y eucalipto. Los nombres mencionados son populares y pueden referirse a varias especies de madera. El nombre genérico *angelim*, por ejemplo, puede referirse al *angelim-amargoso*, al *angelim-vermelho* o al *angelim-pedra*. Este solamente puede relacionarse a las especies *H. petraeum*, *H. complicatum Ducke*, *H. elatum Ducke*, *H. excelsum Ducke*, *H. heterocarpum Ducke* o *H modestum Ducke* [36]. Incluso con la referida incertidumbre se pueden agrupar especies de preferencia de las empresas, más duras, que utilizan en la estructura y las paredes exteriores.

También se pudo verificar que entre las veintidós empresas que informaron sobre el uso de conservantes, el 73% no utilizaba tratamiento químico en la madera tropical nativa, mientras el 100% lo utilizaba en la madera plantada (Gráf. 4. 18). El producto químico conservante más usual señalado por las compañías fue el CCA (cobre, cromo y arsénico), seguido del CCB (cobre, cromo y boro), entre otros. Una de las empresas declaró que utiliza el CCB debido a exigencias de exportación. Aunque en Brasil se considere que el CCA es peligroso [71][72] (clase I, según la reglamentación ABNT NBR 10.004 sobre la clasificación de residuos sólidos) [73], todavía no hay restricciones para su uso en la construcción.



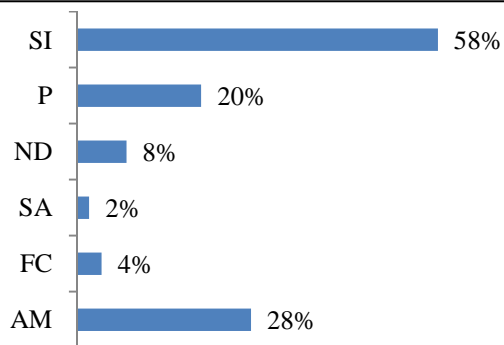




Multiplicidad de respuestas 2,1

SI-sin información; estados de la región sur: RS-Rio Grande do Sul, SC-Santa Catarina, PR-Paraná; estados de la región sudeste: SP-São Paulo, MG-Minas Gerais; estados de la región norte: PA-Pará, MT-Mato Grosso, RO-Rondônia.

**Lugar de origen de la madera**



Multiplicidad de respuestas 1,5

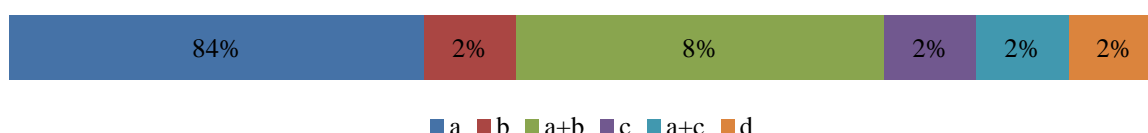
SI-sin información, P-plantío, ND-nativa sin origen definido, SA-supresión autorizada, FC-foresta certificada, AM-áreas manejadas.

**Tipo de zona de origen de la madera**

**Gráf. 4. 18 - Componentes de caracterización de la materia prima utilizada en viviendas prefabricadas de madera**

*Sistema constructivo*

En la muestra estudiada, se identificaron cuatro sistemas constructivos en el mercado de viviendas prefabricadas de madera, a saber: a) “macho-hembra”, b) “tapajuntas”, c) “entramado ligero de madera” y d) “troncos”. El primero es el más común y los dos últimos, los menos frecuentes. De las cincuenta empresas del muestreo, el 84% trabaja exclusivamente con el sistema “a” (macho-hembra), el 8%, con los sistemas “a” y “b”, y el 2%, exclusivamente con el sistema “b” (tapajunta) (Gráf. 4. 19). En el muestreo hubo solamente dos empresas que trabajan con el sistema “c” y una, con el sistema “d”. En el mercado brasileño, la oferta de estos sistemas es muy pequeña en comparación con los demás.



Sistemas constructivos: a-“macho-hembra”, b-“tapajunta”, c-sistema entramado ligero de madera, d-“tronco”.

**Gráf. 4. 19 - Distribución del tipo de sistema constructivo ofertado por las empresas de viviendas prefabricadas de madera**

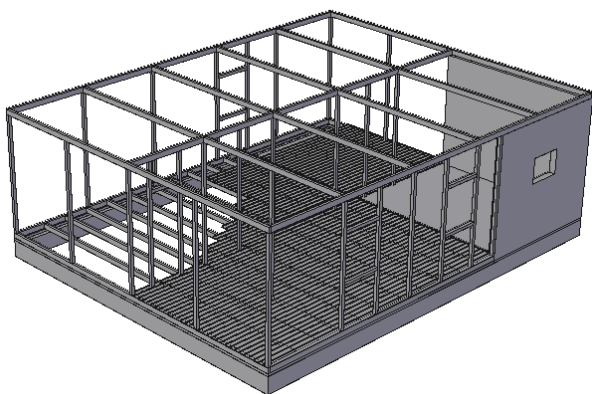
Los sistemas constructivos se caracterizan de la siguiente manera:

a) **Macho-hembra** (Fig. 4. 8):

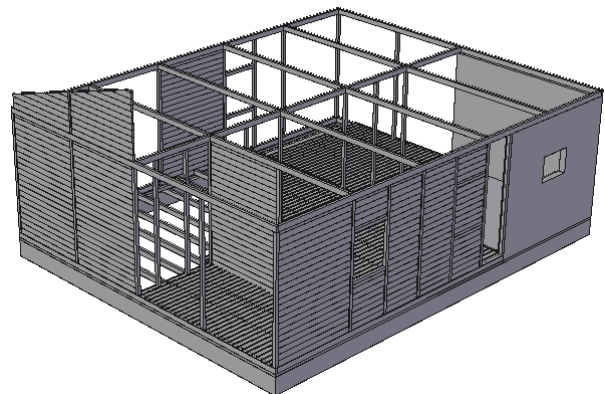
- Estructura principal compuesta por montantes delgados donde se encajan/clavan las piezas que formarán las paredes (tabiques); testeras inferior y superior de piezas delgadas; dintel, alféizar, jambas en las aperturas (puertas, ventanas, etc.). La dimensión de los elementos estructurales varía según el proyecto y el número de plantas (se encontraron medidas de los

montantes entre 105 x 105 mm y 140 x 140 mm con una altura de techo variable). Para el montaje se utilizan riostras y apeos provisionales.

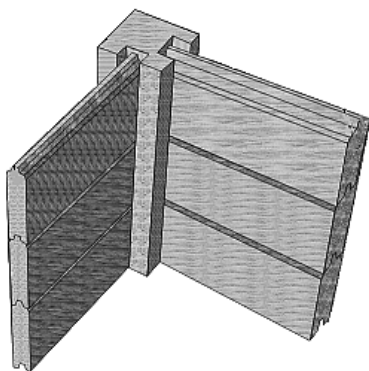
- Las paredes (tabiques) pueden ser sencillas o dobles. La primera está formada por piezas macizas de madera, tipo macho-hembra, encajadas en los montantes y entre sí y posicionadas horizontalmente. La segunda puede estar formada por dos capas de piezas macizas de madera, tipo macho-hembra, encajadas en los montantes y entre sí y posicionadas horizontalmente; o, una capa exterior de piezas macizas de madera, tipo macho-hembra, encajadas en los montantes y entre sí, posicionada horizontalmente, y otra capa interna de revestimiento (moldura machihembrada) clavada en los montantes. La dimensión de las piezas macho-hembra varían entre 20 y 45 mm de espesor, 140 mm de alto y con una longitud variable, y los revestimientos internos de tabique varían entre 10 y 20 mm de espesor, 70 y 130 mm de alto y con una longitud variable. Las paredes dobles pueden tener o no aislamiento termoacústico de lana de roca o vidrio.



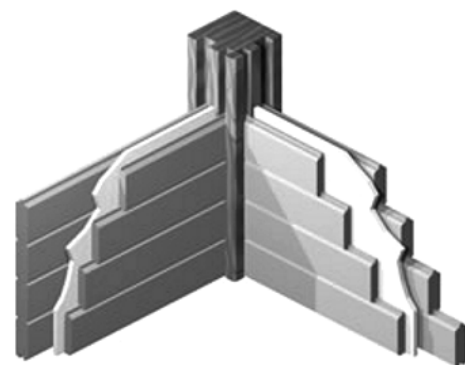
**Diseño conceptual ilustrativo de la estructura y suelos**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor.



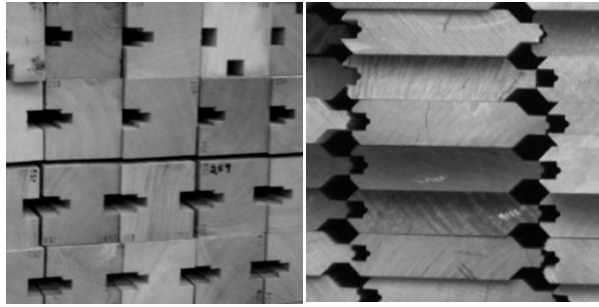
**Diseño conceptual ilustrativo de la estructura, suelos y cierres de madera**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor.



**Imagen ilustrativa del encaje de la pared en el montante (pared sencilla)**  
Fuente de la ilustración: [74]



**Imagen ilustrativa del encaje de la pared en el montante (pared doble con aislamiento)**  
Fuente de la ilustración: [75]



**Imagen de la sección transversal del montante y pieza macho-hembra, respectivamente**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor.



**Imagen ilustrativa de un tipo de apertura**  
Fuente de la ilustración: [76]



**Imagen del sistema en construcción**  
Fuente de la ilustración: [76]



**Imagen del sistema en construcción**  
Fuente de la ilustración: [77]



**Imagen ilustrativa del interior de una vivienda**  
Fuente de la ilustración: [77]



**Imagen ilustrativa del exterior de una vivienda**  
Fuente de la ilustración: [78]

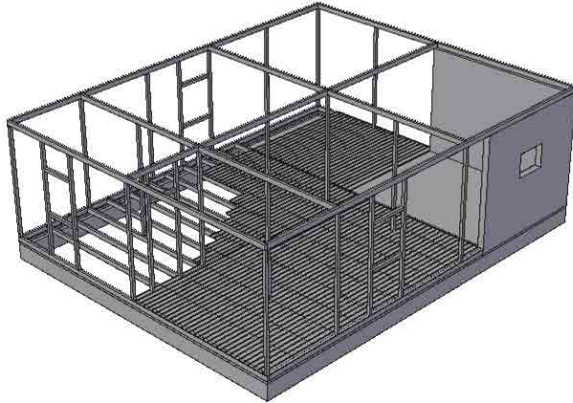
**Fig. 4. 8 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo “macho-hembra”.**

**b) Tapajunta (Fig. 4. 9):**

- Estructura compuesta por montantes macizos verticales delgados, testeras inferior y superior de piezas delgadas; dintel, alféizar, jambas en las aperturas (puertas, ventanas, etc.). La dimensión de los elementos estructurales puede variar según el proyecto, pero se caracteriza por sus pequeñas dimensiones (piezas de aproximadamente 50 x 60 mm [79] y con altura variable). Para el montaje se utilizan riostras y apeos provisionales.

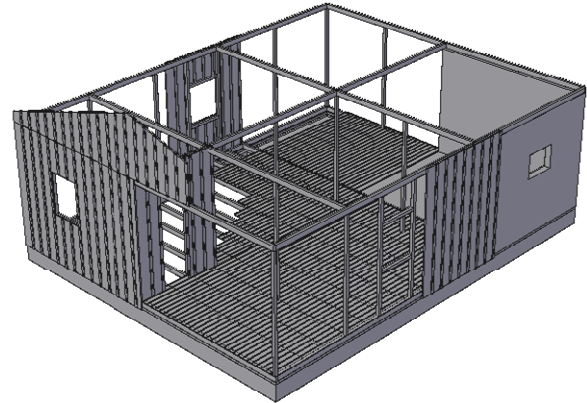
- Paredes (exteriores e interiores) formadas por planchas de madera fijadas en posición vertical, las juntas entre las planchas se tapan interna y externamente mediante piezas

de madera delgadas de menor dimensión. Las piezas que forman las paredes se clavan en la estructura portadora. La dimensión de las planchas es de aproximadamente 20 y 25 mm de espesor, 200 y 300 mm de ancho, con longitud variable; y las tapajuntas varían entre 10 mm de espesor, 40 y 50 mm de ancho, con longitud variable [79][80].



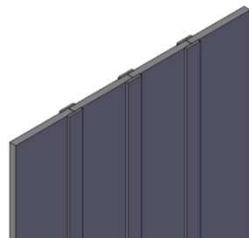
**Diseño conceptual representativo de la estructura y suelos**

Fuente de la ilustración: archivo del autor.



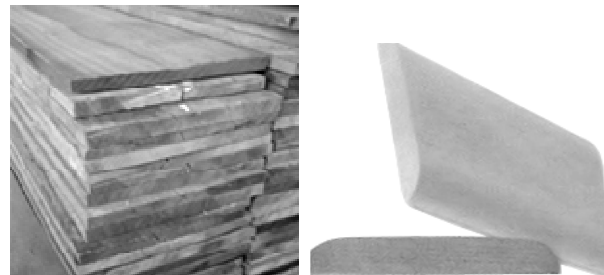
**Diseño conceptual representativo de la estructura, suelos y cierres de madera**

Fuente de la ilustración: archivo del autor.



**Imagen ilustrativa de la pared de tapajunta**

Fuente de la ilustración: archivo del autor.



**Componentes de la pared: tabla y tapajunta, respectivamente**

Fuente de la ilustración: [81]



**Imagen ilustrativa del montante, pared y rodapié**

Fuente de la ilustración: archivo del autor.



**Imagen ilustrativa del sistema en construcción**

Fuente de la ilustración: [82]



**Imagen ilustrativa del interior de una vivienda**

Fuente de la ilustración:[77]



**Imagen ilustrativa del exterior de una vivienda**

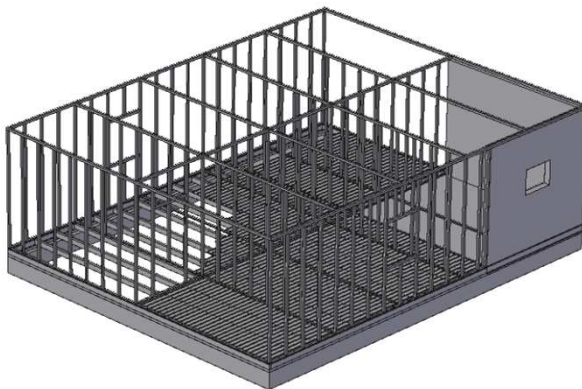
Fuente de la ilustración:[77]

**Fig. 4. 9 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo “tapajuntas”**

c) **Entramado ligero de madera** (*woodframe*) (Fig. 4. 10):

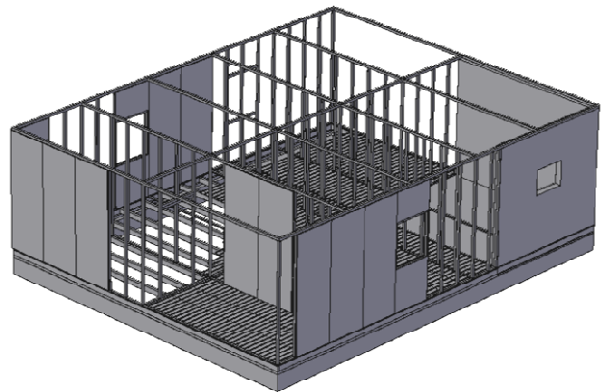
- Estructura principal de entramado ligero formado por montantes verticales equidistantes entre sí, testeras inferior y superior de piezas delgadas, dintel, alféizar, jambas en las aperturas (puertas, ventanas. etc.). No se dispuso de la dimensión de los elementos estructurales utilizados por las empresas estudiadas.

- Paredes exteriores formadas por tableros de de fibras orientadas (OSB) fijados a la estructura, que pueden estar revestidos externamente de diversas maneras, y paredes interiores formadas por OSB o cartón yeso (pladur) fijado a la estructura. Las paredes pueden tener o no aislamiento termoacústico.



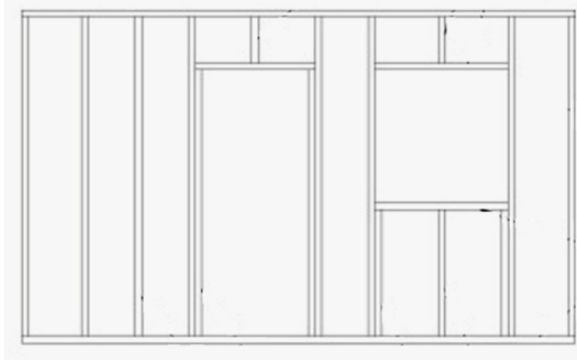
**Diseño conceptual ilustrativo de la estructura y suelos**

Fuente de la ilustración: archivo del autor.



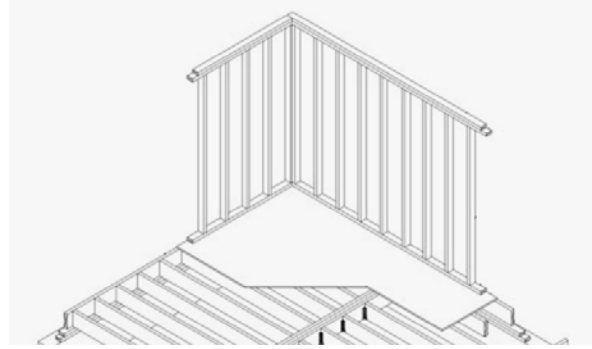
**Diseño conceptual ilustrativo de la estructura, suelos y cierres de madera**

Fuente de la ilustración: archivo del autor.



**Imagen ilustrativa de la estructura de la pared (vista frontal)**

Fuente de la ilustración: [83]



**Imagen ilustrativa del sistema constructivo (perspectiva)**

Fuente de la ilustración: [83]



**Imagen ilustrativa de la estructura**

Fuente de la ilustración: [84]



**Imagen ilustrativa del sistema en construcción**

Fuente de la ilustración: [85]



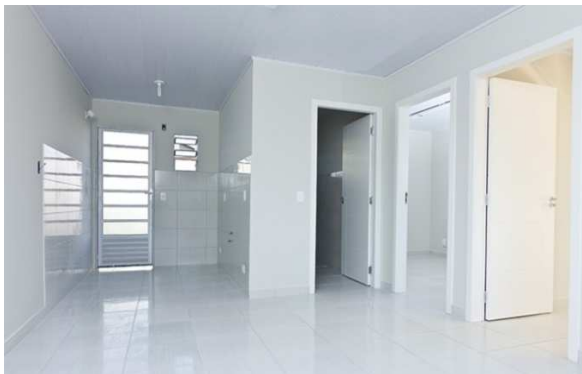
**Imagen ilustrativa del sistema en construcción. Tabiques construidos *in situ***

Fuente de la ilustración: [86]



**Imagen ilustrativa del sistema en construcción. Tabiques construidos en fábrica**

Fuente de la ilustración: [87]



**Imagen ilustrativa del interior de la vivienda**

Fuente de la ilustración: [87]



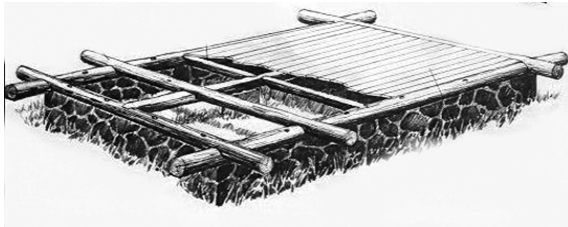
**Imagen ilustrativa del exterior de la vivienda**

Fuente de la ilustración: [87]

**Fig. 4. 10 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo “entramado ligero de madera”**

d) **Troncos** (Fig. 4. 11):

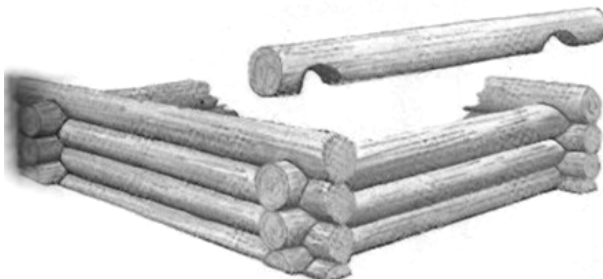
- Estructura de troncos de madera, con dimensión según el proyecto y elementos encajados y atornillados entre sí.
- Paredes interiores y exteriores de troncos de madera colocados horizontalmente y encajados en la estructura. No se dispuso de la dimensión de los elementos estructurales de la empresa estudiada.



**Imagen ilustrativa genérica del sistema constructivo**  
Fuente de la ilustración: [88]



**Imagen ilustrativa genérica del sistema constructivo**  
Fuente de la ilustración: [88]



**Imagen ilustrativa genérica del sistema constructivo**  
Fuente de la ilustración: [88]



**Imagen ilustrativa de un tipo de apertura**  
Fuente de la ilustración: [89]



**Imagen ilustrativa del sistema en construcción**  
Fuente de la ilustración: [89]



**Imagen ilustrativa del sistema en construcción**  
Fuente de la ilustración: [89]



**Imagen ilustrativa del interior de la vivienda**  
Fuente de la ilustración: [89]



**Imagen ilustrativa del exterior de la vivienda**  
Fuente de la ilustración: [89]

**Fig. 4. 11 - Imágenes ilustrativas del sistema constructivo “troncos”**

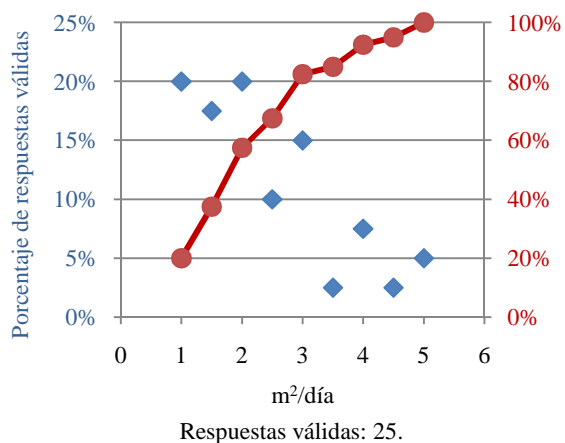
La cimentación varía según las condiciones del terreno y la estructura de la techumbre varía según el modelo del proyecto. En algunos casos, en los sistemas constructivos “a” y “b”, se construye un muro perimetral de ladrillo o bloque de hormigón, con dimensiones aproximadas de 30 a 40 cm de altura y 20 cm de ancho, para servir de apoyo al forjado. El suelo puede ser cerámico sobre contrapiso o, en las zonas secas (salón, habitación), entarimado sobre entramado de madera. En las zonas húmedas (cocina, baño, lavandería) se construyen paredes de albañilería, revestidas de azulejos, por el interior, y de diversos materiales, excepto madera, por el exterior.

En el sistema “b” se relató que la vivienda puede perder algunos centímetros de altura debido a la acomodación de la estructura y piezas de madera, por ello se aconseja que la pintura o linóleo se realicen una vez transcurridos seis meses desde la construcción de la casa [90]. El *woodframe* puede tener dos niveles de producción: uno envía las piezas prefabricadas para su montaje *in situ* y, el otro, envía los tabiques listos para su ensamblaje *in situ*. En Suecia, alrededor de 2005, el 74% de las viviendas unifamiliares de entramado de madera se manufacturaban en fábricas permanentes, mientras que en Estados Unidos, el 69% se montaban *in situ* [91].

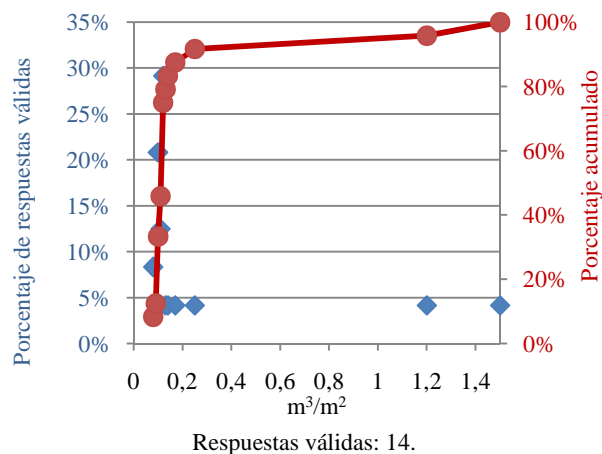
La velocidad de construcción manifestada por las veinticinco empresas varía entre 1 y 5 m<sup>2</sup>/día, cuando lo realiza la firma y excluyendo la cimentación y la albañilería. La mayoría de las empresas construye a una velocidad entre 1 y 3 m<sup>2</sup>/día (Gráf. 4. 20). Una construcción convencional de albañilería puede tardar entre 0,4 y 0,7 m<sup>2</sup>/día [92], es decir, cerca de 2,5 veces más lento que los procesos prefabricados estudiados (sin considerar las partes de albañilería de estos).

El consumo de madera por metro cuadrado de construcción declarado varió entre 0,08 y 1,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. El consumo mínimo fue el del sistema “macho-hembra” y el máximo, del sistema de edificación con troncos. La mayoría de las empresas consume entre 0,10 y 0,12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> (Gráf. 4. 21). El consumo de madera varía según el sistema constructivo y la composición de las paredes (dobles o sencillas).





**Gráf. 4. 20 - Velocidad de construcción**



**Gráf. 4. 21 - Consumo de madera de la construcción**

*Mercado*

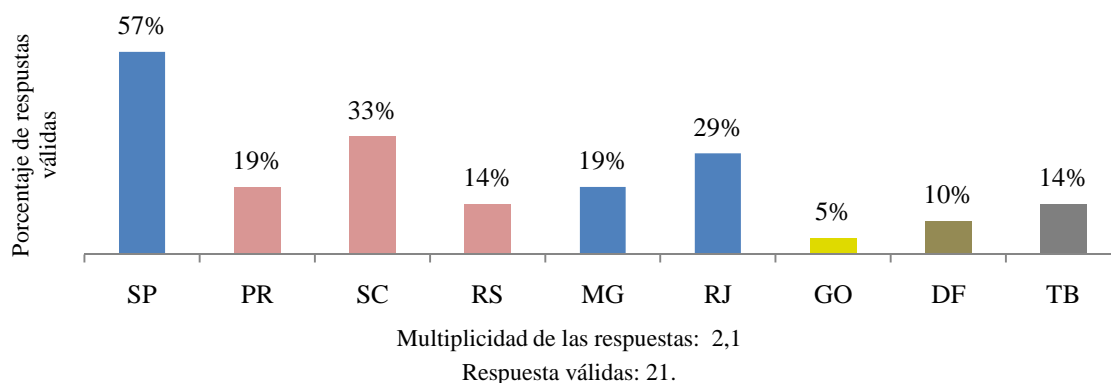
De modo general, las viviendas de madera prefabricada (macho-hembra) se comercializan en un “paquete” que incluye materiales (para tejado, instalaciones y *kit* con todas piezas de madera) y mano de obra para el montaje de la vivienda. Los materiales y la mano de obra para la ejecución de la cimentación, las paredes de albañilería y algunos acabados, así como, el flete y el alojamiento del equipo de montadores, dependerá de la empresa y del tipo de contrato con el cliente. Por lo general, los clientes deben dejar el terreno en condiciones apropiadas para la ejecución de la obra, las instalaciones de agua, luz y alcantarillado listas y los trámites legales en el ayuntamiento aprobados.

Hay otro sistema de comercialización que es la venta del *kit* de madera sin ningún otro servicio añadido. El cliente adquiere las piezas de madera y realiza la ejecución de la vivienda. Es más común con el sistema de tapajuntas y está pensado para el mercado de bajo coste y autoconstrucción.

Los proyectos pueden ser personalizados o formar parte del catálogo de la empresa. Las dimensiones y diseños de los catálogos varían mucho, desde casas de 50 m<sup>2</sup> hasta casas de 300 m<sup>2</sup> (más o menos), de una o dos plantas. Según Remade (2007), en el mercado interno los tamaños más comercializados están entre los 90 y los 150 m<sup>2</sup>, mientras que para el mercado externo, la dimensión de las viviendas prefabricadas de madera es más grande, entre 300 y 400 m<sup>2</sup> [90].

Se pudo identificar que el mercado nacional de viviendas prefabricadas de madera se concentra en las regiones sudeste y sur y que los estados a los que más se destinan las ventas son São Paulo, Santa Catarina y Rio de Janeiro (Gráf. 4. 22). Las empresas exportadoras han referido

que los destinos abarcaban lugares de Europa, África, Asia y América; entre los países europeos más citados estaban España, Portugal y Francia.



Estados de la región sudeste: SP-São Paulo, MG-Minas Gerais, RJ-Rio de Janeiro; estados de la región sur: PR-Paraná, SC-Santa Catarina, RS-Rio Grande do Sul, estado de la región centro oeste: GO-Goiás; DF-Distrito Federal; TB-Todo Brasil.

**Gráf. 4. 22 - Destino de las ventas de viviendas prefabricadas de madera en el mercado nacional**

Según entrevista hecha a representantes de cinco empresas de casas prefabricadas de madera, la mayor parte de su clientela son personas de clase económica media y alta, que valora el material y busca una segunda vivienda para ocio, y una parte más pequeña de consumidores, son personas que buscan una opción de vivienda más barata. Según Remade (2007), cinco empresas del sector declararon que las viviendas prefabricadas de madera se adquieren en gran medida como primera vivienda [90]. Uno de los entrevistados de este estudio declaró que los clientes que buscan este tipo de vivienda como primera residencia, en general, lo hacen por cuestiones económicas, es decir, es la opción más barata para tener casa propia.

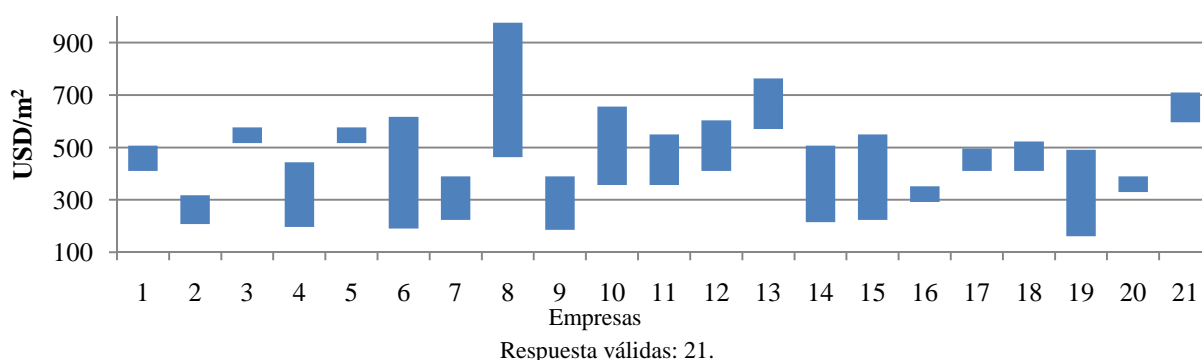
El precio aproximado por metro cuadrado en 2010/2011 variaba entre 180,00 y 960,00 USD<sup>36</sup>, dependiendo del proyecto, la madera y el servicio ofertado (Gráf. 4. 23). La compra del *kit* (sin ningún servicio añadido) llegaba a bajar el precio cerca de un 50%, y las viviendas de madera exótica plantada (blanda) también presentaban precios más bajos que las de madera nativa tropical (dura). Según el CUB (coste unitario básico)<sup>37</sup> de misma fecha (2011), el precio medio total de una vivienda de albañilería (~ 500,00 USD/m<sup>2</sup> de media en Brasil)<sup>38</sup> era equivalente al de las viviendas prefabricadas de madera (que, en general, no tienen gastos con servicios de preparación del lugar, cimentación ni paredes de albañilería). Como se ha visto en el capítulo 3, existe una preferencia revelada por el ladrillo y el bloque de hormigón y, si las casas

<sup>36</sup> Importes convertidos según la tasa cambio de diciembre de 2011 [29].

<sup>37</sup> Es "el coste por metro cuadrado de construcción del proyecto estándar considerado, calculado según la metodología establecida (...) que sirve de base para la evaluación de los costes de construcción de los edificios" [93].

<sup>38</sup> Importe convertido según la tasa cambio de diciembre de 2011 [29].

de madera no ofrecen una ventaja atractiva, el mercado de este tipo de vivienda se circunscribe a un público específico.



**Gráf. 4. 23 - Precios por metro cuadrado de viviendas prefabricadas de madera en 2010/2011 (sin contar los servicios previos de preparación del lugar y cimentación)**

#### 4.4 Discusión

Brasil tiene un considerable potencial de producción de madera, tanto plantada como nativa. La ampliación de la producción podría asumir, en parte, un incremento del uso de este material. Ello depende, entre otras cosas, de: a) en el caso de la madera nativa, de la mejora del sistema de explotación actual para ampliar el manejo sostenible y aumentar de la superficie productiva que depende de regularización de tierras públicas y privadas; b) en el caso de la madera plantada, el mantenimiento de inversiones en la mejora genética y la optimización del manejo, así como la facilitación de la adquisición de zonas para plantío.

Además de la ampliación de la producción, el incremento del suministro de madera también está vinculado a mejoras en la infraestructura para el transporte de productos, una disminución de la burocracia para la comercialización de productos de madera nativa y la obtención de licencias ambientales, el incentivo al consumo de madera de fuentes sostenibles y un aumento del conocimiento técnico del material. En el caso de la madera nativa, debe haber un compromiso con la disminución de la ilegalidad en paralelo a las acciones de desarrollo sectorial.

El segmento de viviendas prefabricadas de madera consume preferencialmente madera nativa, que, a pesar de sus cualidades, presenta problemas en la cadena productiva y de suministro. El suministro de madera plantada, a su vez, es más sencillo, pero es la segunda opción de material para este fin, tal vez porque es más susceptible al biodeterioro y necesita tratamiento para aumentar su vida útil. Las casas prefabricadas de madera, aunque no se encuentran entre las principales preferencias del público brasileño, presentan aspectos que pueden ser observados para mejorar su desempeño en el reparto del mercado habitacional.

Se cree que el valor de comercialización de viviendas prefabricadas de madera no ha cambiado mucho en los últimos tres años. Se pudo comprobar que dos empresas del muestreo, que venden casas tipo “macho-hembra”, en 2013, mantienen los precios de venta<sup>39</sup> semejantes a los de 2010/2011; otras dos empresas no pertenecientes a la muestra comercializaron viviendas de entramado ligero de madera entre 600,00 y 940,00 USD/m<sup>2</sup> <sup>40</sup> (2013) [94][95], precios que caen dentro del rango identificado para 2010/2011.

En contrapartida el importe de la vivienda convencional (casa o piso) comprada ya fabricada ha aumentado considerablemente en el mercado brasileño (cerca del 50% en los últimos tres años)<sup>41</sup> [96][97]. Este hecho podría contar a favor de una inversión en la ampliación del mercado de viviendas prefabricadas. Además, el sistema “llave en mano”, que entrega la vivienda terminada al cliente, que normalmente ofrecen las empresas que comercializan viviendas prefabricada de madera, es otra facilidad para el consumidor, aunque es necesario evaluar si el tiempo entre la contratación de la empresa, el desarrollo del proyecto, la fabricación de la piezas y el montaje de vivienda es atractivo.

En este estudio, no se ha evaluado el tiempo total entre la compra y la entrega de la casa, pero se ha percibido que este factor puede ser un problema si el plazo si alarga. Según Johnsson (2008), en Suecia, el tiempo aproximado entre el diseño arquitectónico y la construcción es de veintisiete semanas, aunque desde el primer contacto con el cliente, pasando por las aprobaciones (legales y del consumidor), el proceso puede alargarse durante más de un año (aproximadamente sesenta y tres semanas), lo que se identifica como un problema en la cadena de suministro de vivienda prefabricada [98]. Una empresa que trabaja con el sistema *woodframe* en Brasil declaró que el tiempo medio entre el diseño arquitectónico y la entrega de la obra es de unos seis meses y medio [99].

También se ha notado que el precio unitario de la vivienda no tiene ventajas sobre los sistemas prefabricados de madera. Un estudio de 2012 comparó el coste de la construcción de una vivienda unifamiliar de 50 m<sup>2</sup> de albañilería, de entramado ligero de madera (*woodframe*) y prefabricada de madera nativa (tipo “macho-hembra”). Sumando los gastos del proyecto, la mano de obra y los materiales, la casa de *woodframe* resultó de media un 13% más barata que las otras dos [100]. En la práctica, los precios acaban estando en un mismo rango de poder adquisitivo, ya que los referidos costes, así como el transporte y otros gastos indirectos

---

<sup>39</sup> Según dos nuevos presupuestos hechos en agosto de 2013.

<sup>40</sup> Importe convertido según la tasa cambio de mayo de 2013 [29], según la fecha de publicación del precio de venta [94].

<sup>41</sup> Entre 2010 y 2012, se pudo comprobar un aumento de cerca del 49% y, en el primer semestre de 2013, cerca del 2%; precios estimados considerando algunas capitales [96][97].

(impuestos, alojamiento, etc.) varían según la localidad y la disponibilidad de suministro. Así, la competitividad de los sistemas prefabricados de madera en un nivel de calidad semejante al sistema convencional, depende de otros factores distintos del precio.

Una extensa evaluación del sector de la construcción realizada por el Gobierno de Suecia puso de manifiesto que es posible reducir costes de construcción de viviendas por medio de industrialización, procesos de construcción más eficientes y orientación del consumidor [91]. En contrapartida, en China (Hong Kong), el Gobierno incentivó la prefabricación en la construcción no para bajar los costes, sino para reducir los residuos y mejorar la calidad y eficiencia de los edificios [101].

En Brasil, con la vigencia de la norma de desempeño para edificaciones residenciales (NBR15.575), en 2013 [1], las empresas de casas prefabricadas de madera tendrán que adaptar sus sistemas constructivos a las exigencias previstas. Hasta el momento, se tiene noticia de que el sistema de entramado ligero de madera ha logrado calificarse según la normativa. Tykkä (2010) comenta que los cambios en la normativa de edificación en la Unión Europea han sido un prerequisite para el desarrollo comercial de empresas de entramado de madera. Además, los cambios demográficos en el medio ambiente fuera de la empresa, sostenibilidad y oferta de viviendas a grupos cuyos ingresos son menores han sido otros elementos comunes que motivan la innovación en estas empresas. Para ello, las empresas pudieron beneficiarse de instrumentos de política gubernamental que apoya la investigación y el desarrollo, así como la transferencia de conocimiento en construcción de madera. Sin embargo, las políticas no fueron la única fuente de innovación. Las empresas también ganaron conocimientos gracias a su propia experiencia [102].

En Brasil, el mercado de viviendas prefabricadas de madera todavía es incipiente y está concentrado en algunas localidades donde la cadena de suministro es más organizada y los consumidores están acostumbrados a este tipo de edificación. Por ello, se pueden explotar algunas ventajas de la prefabricación, como la mejor supervisión, el menor tiempo de construcción o la integridad del edificio [103], por ejemplo, mientras que algunas desventajas, como, por ejemplo, la inversión inicial [103][104], pueden considerarse un desafío que hay que superar.

## **4.5 Conclusiones del capítulo**

El capítulo se ha dividido en dos partes: la primera se caracterizó como un compendio de informaciones secundarias para entender el sector maderero y, la segunda, por datos primarios sobre el sector de viviendas prefabricadas de madera. Así, caben destacar los siguientes puntos importantes sobre el sector maderero:

- La madera suministrada en Brasil proviene de forestas nativas y plantaciones. Ambas cadenas pueden experimentar un potencial aumento de producción, aunque con diferencias significativas en la organización, la tecnología y el suministro.

- La madera nativa (tropical dura) de la Amazonia, a pesar de que su principal atractivo es la calidad, está infrautilizada en el mercado interno, pues se aprovechan pocas especies y productos de bajo valor añadido. La extracción convencional genera daños ambientales y la alta ilegalidad dificulta el desarrollo de la cadena, que depende de que se reduzca la ilegalidad y la burocracia, así como de avances tecnológicos, mejora logística y un aumento de conocimiento técnico, entre otras cosas.

- La madera plantada (blanda exótica) proveniente de monocultivo se destina a varios usos, desde celulosa hasta tablero. En la construcción civil se emplea como madera aserrada, tableros y contrachapados. Su comercialización se ve facilitada por la organización de la cadena cuyo desarrollo se vincula a la desburocratización, una reducción de impuestos y la mejora de infraestructura para el transporte de productos, entre otros. Los impactos ambientales de la producción de madera dependerán de las condiciones previas de la zona de plantío.

Como conclusiones sobre el contenido inédito de este capítulo, basado en una muestra sobre el mercado de viviendas prefabricadas de madera, se han obtenido las siguientes:

- El segmento de viviendas prefabricadas de madera está concentrado en las regiones sudeste y sur del país, tanto las empresas que comercializan como los consumidores.

- No hay muchas variaciones de sistemas constructivos en el mercado y los productos y servicios que ofrecen las empresas son muy semejantes. La técnica constructiva más común (macho-hembra) es ligera y de rápida construcción.

- La velocidad de construcción de las técnicas que la mayoría de las empresas ofrecen varía entre 1 y 3 m<sup>2</sup>/día y el consumo de madera por metro cuadrado de construcción, entre 0,10 y 0,12 m<sup>3</sup>.

- El precio medio de la vivienda prefabricada de madera, en general, no presenta ventajas en el mercado, aunque puede bajar hasta un 50% si se vende solamente el *kit* de madera para la autoconstrucción.

- Los clientes se agrupan en personas con altos ingresos que adquieren la vivienda para ocio y personas con pocos ingresos que buscan una opción barata para tener casa propia. Esto se explica en virtud de las variaciones que sufren los precios según el tipo de madera utilizado (nativa o plantada) y servicio contratado (solamente el *kit* de madera o la entrega de la casa terminada).

## 4.6 Referencias (capítulo 4)

- [1] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho”. ABNT, 2013.
- [2] SIDRA - IBGE, “Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura”, 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=VS&z=t&o=29>. [Consultado: 06-nov-2013].
- [3] V. Boni e S. J. Quaresma, “Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais”, *Em Tese*, vol. 2, n° 1, p. 68–80, 2005.
- [4] Bento, “Investigação em educação - a entrevista.”, nov-2011. [Online]. Disponível em: [www3.uma.pt/bento/ppt/Entrevista.ppt](http://www3.uma.pt/bento/ppt/Entrevista.ppt). [Consultado: 24-set-2013].
- [5] IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, “Madeiras Brasileiras”, *IBAMA*, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/pesquisa.php?idioma=portugues>. [Consultado: 13-dez-2010].
- [6] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, “Informações sobre madeiras”. [Online]. Disponível em: [http://www.ipt.br/consultas\\_online/informacoes\\_sobre\\_madeira/busca](http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca). [Consultado: 03-nov-2011].
- [7] IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, “Identificação de Espécies Florestais.” [Online]. Disponível em: <http://www.ipef.br/identificacao/>. [Consultado: 03-nov-2011].
- [8] SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais e SFB - Serviço Florestal Brasileiro, “Cadeia Produtiva”. [Online]. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/cadeia-produtiva>. [Consultado: 04-nov-2013].
- [9] “Florestas Nativas de Produção Brasileiras.”, SFB-Serviço Florestal Brasileiro e IPAM-Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, Brasília - DF, 2011.
- [10] SFB - Serviço Florestal Brasileiro, “Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados 2007-2012.”, Brasília, 2013.
- [11] Bp blogspot, “Biomassas do Brasil.” [Online]. Disponível em: [http://2.bp.blogspot.com/\\_MTLRnAY163M/TOV1g4-hLBI/AAAAAAAAAAU/-Gr6CsRe2o0/s1600/2.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_MTLRnAY163M/TOV1g4-hLBI/AAAAAAAAAAU/-Gr6CsRe2o0/s1600/2.jpg). [Consultado: 09-nov-2013].
- [12] Portal Amazônia, “Bioma Amazônia”. [Online]. Disponível em: <http://www.portalamazonia.com.br/editoria/files/2011/12/floresta-amaz%C3%B4nica.jpg>. [Consultado: 09-nov-2013].
- [13] Diário do nordeste, “Bioma Caatinga.” [Online]. Disponível em: <http://blogs.diariodonordeste.com.br/gestaoambiental/wp-content/uploads/2011/10/Tau%C3%A1.jpg>. [Consultado: 09-nov-2013].
- [14] Info Escola, “Bioma Cerrado”. [Online]. Disponível em: <http://www.infoescola.com/geografia/cerrados/>. [Consultado: 09-nov-2013].
- [15] Sesi, “Biomassas Brasileiros.” [Online]. Disponível em: <http://biomasbrasileirosesi.blogspot.com.br/>. [Consultado: 09-nov-2013].
- [16] Biomassas do Brasil, “Bioma Pampa.” [Online]. Disponível em: [http://biomasdobrasil.blog.com/files/2011/06/Picture\\_053\\_1.jpg](http://biomasdobrasil.blog.com/files/2011/06/Picture_053_1.jpg). [Consultado: 09-nov-2013].
- [17] MMA, “Florestas do Brasil em Resumo 2010”, Ministério do Meio Ambiente - Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, 2010.
- [18] D. Pereira, D. Santos, M. Vedoveto, J. Guimarães, e A. Veríssimo, *Fatos florestais da Amazônia - 2010*. Belém-PA: Imazon, 2010.
- [19] H. S. Eggleston e Intergovernmental Panel on Climate Change. National Greenhouse Gas Inventories Programme, *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [20] MCT, “Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.”, MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima., Brasília, 2010.
- [21] É. F. Campos, “Balanço de carbono e o impacto em mudanças climáticas da madeira serrada Amazônica.”, São Paulo, 2012.
- [22] MMA - Ministério do Meio Ambiente, “O Bioma Cerrado”, 2014. [Online]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomassas/cerrado>. [Consultado: 20-nov-2013].

- [23] SNIF - Sistema Nacional de Informações Florestais e SFB - Serviço Florestal Brasileiro, “Espécies Florestais”. [Online]. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/especies-florestais>. [Consultado: 07-nov-2013].
- [24] Setgio Adeodato, Malu Vilela, Luciana Stocco Betiol, e Mario Monzoni, *Madeira de ponta a ponta - o caminho desde a floresta até o consumo*, 1<sup>o</sup> ed. São Paulo: FGV RAE, 2011.
- [25] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2013.
- [26] UFF - Universidade Federal Fluminense, “Amazonia Legal.” [Online]. Disponível em: [http://www.uff.br/geoden/figuras/amazonia\\_legal.jpg](http://www.uff.br/geoden/figuras/amazonia_legal.jpg). [Consultado: 09-nov-2013].
- [27] D. Santos, D. Pereira, e A. Veríssimo, “O estado da Amazônia: uso da terra”, Imazon - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, Belém, 2013.
- [28] ITTO - International Tropical Timber Organization, “Annual review and assessment of the world timber situation - 2012.”, ITTO, Japan, 2012.
- [29] BCB, “Conversão de moedas”, 2011. [Online]. Disponível em: <http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>.
- [30] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “PEVS 2011: produtos madeireiros de florestas plantadas, com R\$ 13,0 bi, lideram valor da produção florestal brasileira (R\$ 18,1 bi)”, 06-dez-2012. [Online]. Disponível em: <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2281>. [Consultado: 27-jun-2013].
- [31] Marco W. Lentini, Patricia Cota Gomes, e Leonardo Sobral, *Acertando o alvo 3*. Piracicaba/SP: IMAFLORA, 2011.
- [32] S. Lawson e L. MacFaul, “Illegal Logging and Related: Trade Indicators of the Global Response”. Chatam House, jul-2010.
- [33] Incra - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, “Quilombolas”. [Online]. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/index.php/estrutura-fundiaria/quilombolas>. [Consultado: 06-nov-2013].
- [34] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, *Madeira Uso Sustentável na Construção Civil*, 2<sup>o</sup> ed. São Paulo: IPT, 2009.
- [35] A. R. Nahuz, “Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil”. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013.
- [36] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, “Madeiras na construção.”, *www.ipt.br*, 01-nov-2013. [Online]. Disponível em: [http://www.ipt.br/noticia/754-madeiras\\_na\\_construcao.htm](http://www.ipt.br/noticia/754-madeiras_na_construcao.htm). [Consultado: 08-nov-2013].
- [37] SFB - Serviço Florestal Brasileiro, “Perguntas frequentes sobre o manejo florestal”. [Online]. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/florestas-comunitarias/sobre-florestas-comunitarias/perguntas-frequentes-sobre-o-manejo-florestal-comunitario>. [Consultado: 06-nov-2013].
- [38] Governo Brasileiro, *Código Florestal*. 2012.
- [39] IBAMA, “Documento de Origem Florestal - DOF”. [Online]. Disponível em: <http://servicos.ibama.gov.br/index.php/autorizacoes-e-licencas/documento-de-origem-florestal-dof>. [Consultado: 21-out-2013].
- [40] SFB - Serviço Florestal Brasileiro e Imazon - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, “A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados”, Belém, 2010.
- [41] FSC - Forest Stewardship Council, “Norma para Certificação de Cadeia de Custódia FSC”, FSC-STD-40-004 V2-1 POR, 2011.
- [42] É. F. Campos, K. R. G. Punhagui, e V. M. John, “Emissão de CO<sub>2</sub> do transporte da madeira nativa da Amazônia”, *Ambiente Construído*, vol. 11, n<sup>o</sup> 2, p. 157–172, jun. 2012.
- [43] L. Sobral, J. A. de O. Veríssimo, T. Azevedo, e R. Smeraldi, *Acertando o alvo 2: Consumo da madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo*. Belém: Imazon, 2002.
- [44] S. Lawson e L. MacFaul, “Chatham House Illegal Logging Indicators Country Report Card - Brazil”. Chatam House, jul-2010.
- [45] Frank Miller, Rodney Taylor, e George White, *Seja Legal. Boas práticas para manter a madeira ilegal fora de seus negócios*. WWF, 2006.



- [46] E. Veiga, “Licença falha permite madeira ilegal”, *www.estadao.com.br*, 29-set-2013. [Online]. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/noticias/impreso,licenca-falha-permite-madeira-ilegal-1079978,0.htm>. [Consultado: 06-nov-2013].
- [47] F. Rebouças, “Grilagem de Terras”. [Online]. Disponível em: <http://www.infoescola.com/geografia/grilagem-de-terras/>. [Consultado: 06-nov-2013].
- [48] “Desmatamento Zero”. [Online]. Disponível em: <http://www.desmatamentozero.org.br/index.php>. [Consultado: 06-nov-2013].
- [49] INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, “DEGRAD, DETER, PRODES”. [Online]. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/degrad/>. [Consultado: 05-nov-2013].
- [50] S. Rivero, O. Almeida, S. Ávila, e W. Oliveira, “Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia”, *Nova Economia*, vol. 19, nº 1, p. 41–66, abr. 2009.
- [51] C. Cederberg, U. M. Persson, K. Neovius, S. Molander, e R. Clift, “Including carbon emissions from deforestation in the carbon footprint of brazilian beef”, *Environmental Science and Technology*, vol. 45, nº 5, p. 1773–1779, 2011.
- [52] UN, *Vital forest graphics*. Nairobi Kenya: UNEP, 2009.
- [53] É. F. de Campos, “Emissão de CO2 da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional.”, São Paulo, 2012.
- [54] J. S. Johns, P. Barreto, e C. Uhl, “Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon”, *Forest Ecology and Management*, vol. 89, nº 1–3, p. 59–77, dez. 1996.
- [55] IMAZON, *A Expansão Madeireira na Amazônia. Impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará.*, 2º ed. Belém-PA: Ana Cristina Barros & Adalberto Veríssimo, 2002.
- [56] A. J. Macpherson, M. D. Schulze, D. R. Carter, e E. Vidal, “A Model for comparing reduced impact logging with conventional logging for an Eastern Amazonian Forest”, *Forest Ecology and Management*, vol. 260, p. 2002–2011, nov. 2010.
- [57] G. P. Asner, “Selective Logging in the Brazilian Amazon”, *Science*, vol. 310, p. 480–482, out. 2005.
- [58] FFT - Fundação da Floresta Tropical, *O Futuro da Floresta*. 2005.
- [59] M. Schulze e J. Zweede, “Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon”, *Forest Ecology and Management*, vol. 236, nº 1, p. 56–64, nov. 2006.
- [60] ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente, “Estudo setorial 2009 ano base 2008”, 2009.
- [61] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2012.
- [62] MMA - Ministério do Meio Ambiente, “Corredores Ecológicos”. [Online]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protetidas/acoes-e-iniciativas/gestao-territorial-para-a-conservacao/corredores-ecologicos>. [Consultado: 08-nov-2013].
- [63] M. H. F. Vital, “Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto”, *Revista do BNDES*, vol. 14, nº 28, p. 235–276, dez. 2007.
- [64] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Censo demográfico 2010”, 2010. [Online]. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010rpu.asp?o=6&i=P>. [Consultado: 13-nov-2013].
- [65] IBGE, “PNAD - Pesquisa Nacional por amostras de Domicílios.”, 2013. [Online]. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/default.asp>. [Consultado: 15-set-2010].
- [66] Precasa, “Conheça a evolução das casas de madeira no Brasil.” [Online]. Disponível em: <http://precasa.com.br/evolucao.html>. [Consultado: 21-nov-2013].
- [67] Madezatti, “História”. [Online]. Disponível em: <http://www.madezatti.com.br/empresa/2/Historia>. [Consultado: 14-mar-2014].
- [68] A. F. Reisdorfer, “O engenheiro das Brizoletas”, *Conselho em Revista*, vol. 33, p. 20–21, 2007.
- [69] B. Camara, “Brizoletas”, *Revista de História*, 01-fev-2010.
- [70] V. Cemin, “Não só de pão vive o homem: a construção de escolas no governo Brizola a partir de fotografias da Assessoria de Imprensa do Palácio Piratini (1959-1963)”, Porto Alegre, dez-2010.
- [71] T. Townsend, T. Tolaymat, H. Solo-Gabriele, B. Dubey, K. Stook, e L. Wadanambi, “Leaching of CCA-treated wood: implications for waste disposal”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 114, nº 1–3, p. 75–91, out. 2004.

- [72] S. F. Ferrarini, H. S. dos Santos, L. G. Miranda, C. M. N. Azevedo, M. J. R. Pires, e S. M. Maia, “Classification of waste wood treated with chromated copper arsenate and boron/fluorine preservatives”, *Química Nova*, vol. 35, nº 9, p. 1767–1771, jan. 2012.
- [73] J. S. L. Appel, V. Terescovaa, V. C. B. Rodriguesa, e V. M. F. Vargas, “Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão”, *Revista Brasileira de Toxicologia*, vol. 19, nº 1, p. 33–47, 2007.
- [74] Reis das Casas Pré-Fabricadas, “Sistema construtivo”. [Online]. Disponível em: <http://www.reisdascasas.com.br/sistema.html>. [Consultado: 20-nov-2013].
- [75] Vimaden, “Produtos”. [Online]. Disponível em: <http://www.vimaden.com.br/Portugues/produtos.asp>. [Consultado: 20-nov-2013].
- [76] L. B. de Oliveira, “Construção de uma casa de madeira em São Paulo”. [Online]. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=MBmBUPGhEMM>. [Consultado: 10-nov-2013].
- [77] Real Casas Pré-fabricadas, “Fotos e Vídeos”. [Online]. Disponível em: <http://realcasas.com.br/fotosevideos.php>. [Consultado: 19-nov-2013].
- [78] Mercado Livre, “Vende casa de madeira.Vila Dona Guiomar.Pinhais.Paraná.” [Online]. Disponível em: [http://casa.mercadolivre.com.br/MLB-506777963-casas-pre-fabricadas-em-madeira-diversos-modelos-\\_JM](http://casa.mercadolivre.com.br/MLB-506777963-casas-pre-fabricadas-em-madeira-diversos-modelos-_JM). [Consultado: 19-nov-2013].
- [79] C. Laroça, “A Madeira como Alternativa na Construção de Habitações”, *Remade: Revista da Madeira*, nº 61, nov-2001.
- [80] Madeiras Girardi, “Madeiras Girardi”. [Online]. Disponível em: <http://www.madeirasgirardi.com.br/?pagina=produto&codigo=47>. [Consultado: 20-nov-2013].
- [81] Torquato materiais de construção, “Materiais de construção.” [Online]. Disponível em: <http://torquatobm.com.br/products.php?product=Sarrafo>. [Consultado: 19-nov-2013].
- [82] Nossa Casa - Casas pré-fabricadas, “Casa 5,40 x 4,00”. [Online]. Disponível em: <http://www.nossacasaprefabricada.com.br/?p=13>. [Consultado: 19-nov-2013].
- [83] M. Escobedo, “Urban Craft – Sistema construtivo”. [Online]. Disponível em: <http://urbancraftuah.wordpress.com/2012/11/13/sistema-construtivo/>. [Consultado: 19-nov-2013].
- [84] Pensamento Verde, “Curitiba constrói casas sustentáveis com a técnica do Wood Frame”. [Online]. Disponível em: <http://www.pensamentoverde.com.br/governo/curitiba-construi-casas-sustentaveis-com-a-tecnica-do-wood-frame/>. [Consultado: 19-nov-2013].
- [85] Casas Brazil, “Sistema wood frame.” [Online]. Disponível em: <http://www.casasbrazil.com.br/novidades/ver/id/12>. [Consultado: 08-ago-2013].
- [86] Casas Kurten, “O que é wood frame?” [Online]. Disponível em: <http://www.casaskurten.com.br/blog/casas-pre-fabricadas/o-que-e-wood-frame/>. [Consultado: 19-nov-2013].
- [87] Rede Tecverde, “Tecnologia Wood frame”. [Online]. Disponível em: <http://www.redeverde.com.br/tecnologia>. [Consultado: 19-nov-2013].
- [88] Meio século de aprendizagens, “Construir uma casa de troncos.” [Online]. Disponível em: <http://meioseculodeaprendizagens.blogspot.com.br/2012/11/construir-uma-casa-de-troncos.html>. [Consultado: 19-nov-2013].
- [89] Casabella Casas de Madeira, “Galeria de Fotos”. [Online]. Disponível em: [http://www.casabella.etc.br/fotos\\_detalhes.asp?id=1#prettyPhoto](http://www.casabella.etc.br/fotos_detalhes.asp?id=1#prettyPhoto). [Consultado: 19-nov-2013].
- [90] “Casas de madeira: Design inovador e conforto seduzem clientes.”, *Revista da Madeira*, nº 101, jan-2007.
- [91] M. Bergström e L. Stehn, “Matching industrialised timber frame housing needs and enterprise resource planning: A change process”, *International Journal of Production Economics*, vol. 97, nº 2, p. 172–184, ago. 2005.
- [92] Revista Pensei Imóveis, “Casas pré-fabricadas são mais baratas e rápidas”, 02-jun-2010. [Online]. Disponível em: <http://revista.penseimoveis.com.br/especial/rs/editorial-imoveis/19,0,2923142,Casas-pre-fabricadas-sao-mais-baratas-e-rapidas.html>. [Consultado: 21-nov-2013].
- [93] Cub.org, “O Custo Unitário Básico (CUB/m<sup>2</sup>): informações gerais”. [Online]. Disponível em: <http://www.cub.org.br/>. [Consultado: 13-nov-2013].
- [94] Casas Kurten, “Metro quadrado de madeira é o mais barato”, 24-maio-2013. [Online]. Disponível em: <http://www.casaskurten.com.br/blog/mercado-imobiliario/metro-quadrado-de-madeira-e-o-mais-barato/>. [Consultado: 21-nov-2013].

- [95] Tecverde, “Entenda o Valor da sua Obra”. [Online]. Disponível em: <http://www.tecverde.com.br/site/entenda-o-valor-da-sua-obra/>. [Consultado: 21-nov-2013].
- [96] Dw, “Preço de imóveis no Brasil dispara e eleva temor de ‘bolha’”, 03-ago-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.dw.de/pre%C3%A7o-de-im%C3%B3veis-no-brasil-dispara-e-eleva-temor-de-bolha/a-16143867-1>. [Consultado: 21-nov-2013].
- [97] Colonia Negócios Imobiliários, “Preços de imóveis avançam 0,9% em fevereiro, diz Fipe Brasil Econômico.”, 13-mar-2013. [Online]. Disponível em: <http://blog.colonia.com.br/category/evolucao-do-valor-dos-imoveis/>. [Consultado: 21-nov-2013].
- [98] H. Johnsson e Y. Sardén, “Industrialised timber housing: from trial to production”, apresentado em Procs 24th Annual ARCOM Conference, Cardiff, UK, p. 155–164.
- [99] Sócio director. Coordinador de producción., “Entrevista sobre las actividades de la empresa ‘T’”, 02-out-2013.
- [100] L. G. Souza, “Análise comparativa do custo de uma casa unifamiliar nos sistemas construtivos de alvenaria, madeira de lei e Wood Frame.”, *Especialize Revista on line*, jan. 2013.
- [101] Y.-H. Chiang, E. Hon-Wan Chan, e L. Ka-Leung Lok, “Prefabrication and barriers to entry—a case study of public housing and institutional buildings in Hong Kong”, *Habitat International*, vol. 30, n° 3, p. 482–499, set. 2006.
- [102] S. Tykkä, D. McCluskey, T. Nord, P. Ollonqvist, M. Hugosson, A. Roos, K. Ukrainski, A. Q. Nyruud, e F. Bajric, “Development of timber framed firms in the construction sector — Is EU policy one source of their innovation?”, *Forest Policy and Economics*, vol. 12, n° 3, p. 199–206, mar. 2010.
- [103] V. W. Y. Tam, C. M. Tam, S. X. Zeng, e W. C. Y. Ng, “Towards adoption of prefabrication in construction”, *Building and Environment*, vol. 42, n° 10, p. 3642–3654, out. 2007.
- [104] Casa de Madeira, “Casas modulares, vantagens e desvantagens”. [Online]. Disponível em: <http://casademadeira.org/casas-modulares-vantagens-desvantagens/>. [Consultado: 21-nov-2013].

## **5 Evaluación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada de los productos de madera para la construcción**

### **5.1 Contenido y objetivo**

Para poder evaluar los efectos del aumento del uso de la madera en la construcción en Brasil, es necesario conocer previamente los impactos de los materiales y sus procesos productivos y así poder comparar alternativas con misma base y el mismo método. En el país todavía no hay un banco de datos oficial consolidado que exponga el desempeño ambiental de los materiales. Las informaciones sobre emisiones y energía incorporada de los materiales aún son escasas y, por ello, es necesario realizar un gran esfuerzo para crear referencias en este ámbito. En 2010 el Gobierno aprobó el Programa Brasileño de Análisis del Ciclo de Vida (PBACV) [1] que prevé la construcción de un banco de datos con informaciones de inventarios de ciclo de vida de productos [2]. En la actualidad, se están definiendo las gobernanzas de los comités temáticos y sus bases metodológicas, se ha elaborado el sistema para el banco de datos, pero no hay disponible ninguna información ambiental sobre los productos.

Así, este capítulo tiene como objetivo cuantificar el rango de variación de la energía incorporada y las emisiones de dióxido de carbono de la madera aserrada y de otros productos destinados a la construcción civil en el país. Son consideradas las maderas tropicales nativas y exóticas plantadas (pino y eucalipto). Se ha utilizado el Análisis de Ciclo de Vida Simplificado porque se encontraron dificultades para obtener informaciones primarias detalladas. El alcance definido fue de la cuna (producción de semillas/plántulas obtención de la madera) a la puerta del consumidor. Se discutieron las consecuencias de considerar la madera como carbono neutro pues había considerables diferencias entre los sistemas de producción de madera plantada y nativa.

Con ello, se pretenden generar datos ambientales de los productos de madera brasileños que ayuden en la toma de decisiones de profesionales y consumidores (nacionales e internacionales), en la dirección de políticas públicas orientadas a la disminución de gases de efecto invernadero (GEI), la implementación de informaciones para el futuro banco de datos y los posteriores estudios sectoriales y científicos.

### **5.2 Método - Análisis del Ciclo de Vida Simplificado (ACVS)**

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta reconocida y adecuada para evaluar los impactos ambientales de los productos [3][4][5][6][7]. Según la normativa

internacional (ISO 14.044:2006), el ACV se desarrolla en cuatro fases: 1) objetivo y alcance del estudio; 2) análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV); 3) Análisis del Impacto del Ciclo de Vida (AICV); 4) e interpretación [8]. Estas fases ayudarán a comprender mejor y encauzar los impactos de un producto en todas las etapas del ciclo de vida, desde la adquisición del material hasta el final de su vida útil (de la cuna a la tumba) [8][9][10]. Sin embargo, su realización tiene un coste, requiere tiempo y un equipo que en algunos casos puede inviabilizar el estudio [11][12][13]. El Análisis del Ciclo de Vida Simplificado (ACVS) es una simplificación del método, complementario al ACV completo, que se caracteriza como una solución de compromiso entre el nivel de detalle y la viabilidad, lo que facilita aquellos estudios que no necesiten informaciones muy detalladas para sus objetivos o que no dispongan de suficientes datos primarios.

En este estudio, se utilizó el ACV simplificado para ajustarlo a los datos disponibles y las cargas ambientales consideradas más importantes para el análisis en el momento: la energía incorporada, la emisión de CO<sub>2</sub> y la producción de residuos. El ACVS contemplará dos fases: a) el objetivo y alcance del estudio y b) el Análisis del Inventario del Ciclo de Vida. Las “entradas” consideradas para el sistema estudiado fueron, la materia prima y energía, y las “salidas”, los residuos de madera y emisiones de CO<sub>2</sub>. Este alcance es reducido, pero puede ampliarse según el interés y la disponibilidad de datos primarios. Sigue parámetros establecidos por la ISO 14.044 y NBR 14.040 y 14.044 (2009), además de estar de acuerdo con el método empleado en el proyecto de Análisis del Ciclo de Vida Modular<sup>1</sup> [14], que a su vez se aceptó como estrategia que debe implantarse dentro del PBACV (Programa Brasileño de Análisis del Ciclo de Vida).

### 5.2.1 Objetivo

Estimar la energía incorporada y las emisiones de CO<sub>2</sub> de una tonelada seca de madera aserrada (bruta y aplanada), así como de otros productos de madera que se usan en las viviendas, provenientes de selva nativa tropical y plantaciones de especies exóticas en Brasil.

En el ámbito global se pretende elaborar un perfil ambiental de los productos de madera producidos en Brasil destinados a la construcción civil; definir un rango de valores referenciales que faciliten la comparación entre productos, el análisis de desempeño, la toma de decisión de profesionales del sector y consumidores (nacionales e internacionales); suministrar

---

<sup>1</sup> El proyecto Análisis del Ciclo de Vida Modular es una iniciativa del CBCS (Consejo Brasileño de Construcción Sostenible) cuyo objetivo es crear un banco de datos con indicadores de sostenibilidad de los materiales, productos y componentes para la construcción civil. Trata de un Análisis del Ciclo de Vida simplificado, denominado “modular” porque busca ampliar el alcance del ACV de forma progresiva. En un primer momento, se utilizó para analizar la producción bloques de hormigón. La iniciativa se llevó a cabo en colaboración con la ABCP (Asociación Brasileña de Cemento Portland y Bloco Brasil), profesores de la Universidad de São Paulo y el Senai (Servicio Nacional de Aprendizaje Industrial), que hará la auditoría [14].

informaciones que sean útiles para un futuro banco de datos sobre materiales y otros estudios científicos; y diseminar resultados que generen discusiones que puedan contribuir a políticas públicas para la disminución de GEI del país. De manera específica se desea generar valores que posibiliten la evaluación (parcial) del desempeño ambiental de la arquitectura de madera en Brasil.

## 5.2.2 Alcance

### 5.2.2.1 Sistemas productivos estudiados

Los sistemas analizados se refieren a la producción de madera aserrada bruta y aplanada, así como a otros productos destinados a la construcción civil, para consumo interno y exportación. Se consideraron dos tipos de sistemas: 1) uno que se denominará **SP (sistema plantado)** (Fig. 5. 2) y se refiere al procesamiento de la madera de especies exóticas (pino y eucalipto) proveniente de forestas plantadas, consideradas monocultivo, donde prácticamente no existe biomasa alrededor del árbol, mayoritariamente localizadas cerca de los principales mercados consumidores nacionales, en el sur y sureste; 2) otro que se llamará **SN (sistema nativo)** y se refiere a la *extracción selectiva convencional* (Fig. 5. 1) y al procesamiento de la madera dura tropical proveniente de la selva nativa tropical húmeda, caracterizada por considerable biomasa alrededor del árbol, localizada en la región amazónica, al norte del país, lejos de los principales mercados consumidores internos.

En la práctica, en el SN se puede extraer la madera de tres modos: supresión autorizada (clareo), extracción selectiva de impacto reducido (manejo) y extracción selectiva convencional. Las dos primeras son legales. En líneas generales, se caracterizan de la siguiente manera:

1) **La supresión autorizada (clareo)** consiste en la retirada total de la biomasa de una parte de la finca (en la zona amazónica, un 20% de la superficie [15]). La supresión de foresta puede realizarse con máquinas o mediante quema (véanse las figuras ilustrativas de la explotación por clareo en el apéndice de este capítulo).

2) **La extracción selectiva de impacto reducido (manejo)** consiste en la extracción de madera comercial siguiendo procedimientos previamente establecidos para la reducción de los impactos en la explotación. Hay actividades previas, coexistentes y posteriores a la explotación<sup>2</sup>. La extracción se da en partes de fincas llamadas UPA (Unidad de Producción Anual), que deben

---

<sup>2</sup> De modo general, las actividades previas a la explotación serían la delimitación de zona de corte y unidades de trabajo, el inventario, el corte de bejucos, la planificación de actividades de explotación, el sistema de supervisión. las actividades durante explotación serían el corte dirigido de árboles, el arrastre de troncos, el transporte y almacenamiento de troncos, el mantenimiento de vías. Las actividades posteriores a la explotación serían el mantenimiento de vías y patios de almacenamiento, la evaluación de actividades de explotación y las medidas de protección de la foresta [16].

mantenerse sin explotación durante un periodo aproximado de treinta años [17]. Se estima que los impactos en la foresta sean menores [18] (entre el 8% y el 14%<sup>3</sup> más de biomasa regenerada después de la extracción [19] en comparación con una extracción convencional). La capacitación de personal es otra cuestión (véanse las figuras ilustrativas de la explotación por manejo en el apéndice de este capítulo).

3) **La extracción selectiva convencional** (Fig. 5. 1) se caracteriza por la falta de planificación para la extracción y de cuidados para disminuir los daños en la foresta y el suelo, no prevé la cualificación de mano de obra, lo que genera un considerable impacto, pues para cada una tonelada de tronco extraído se pueden llegar a destruir cerca de 1,2 y 6,7 toneladas de biomasa (valores extremos) [20]. Este no es un método legal de extracción.

Los sistemas de extracción de madera nativa legalizados deben rendir cuentas sobre el origen y el destino de la madera extraída a través del DOF (Documento de Origen Forestal), que es obligatorio para maderas nativas. Según los registros de este documento, entre 2007 y 2010, el 51% de la madera nativa producida provenía de supresión autorizada (clareo) y el 49% de extracción de impacto reducido (manejo) [21]. Se estima que entre el 33% y el 80% de la madera nativa proviene de fuentes ilegales [22][23][24][25] y entre el 3% y el 20% de la madera legal suministrada procede de extracción lícita [26][25][27][28]. Además, el 86% de los planes de manejo forestal se consideraron de calidad media o baja, según la evaluación del IMAZON (Instituto del Hombre y Medio Ambiente de la Amazonia) [23] y solo el 4% de toda madera es certificada [29][26]. De este modo, se consideró más coherente adoptar la **extracción selectiva convencional para este estudio**, pues representa una gran parte del sistema de suministro de madera nativa.

Para que el producto de madera llegue al consumidor se suceden las siguientes fases: preparación previa a la extracción (apertura de vías y patios de almacenamiento en la foresta), extracción del árbol (corte y arrastre del tronco), transporte dentro de la foresta, almacenamiento en la foresta, transporte hasta el aserradero/industria, procesamiento y transporte hasta el consumidor o distribuidor (Fig. 5. 1).

---

<sup>3</sup> Valores estimados según la diferencia porcentual entre resultados de regeneración de biomasa posterior a la extracción de impacto reducido y convencional, considerando dos escenarios durante 120 años: 1) extracción y abandono y 2) ciclos de extracción a cada 40 años. Escenarios y datos de la referencia [19].



**1 – Selva amazónica (antes de la extracción)**

Fuente de la ilustración: [30]



**2 – Apertura de vías de acceso y patios de almacenamiento**

Fuente de la ilustración: [18]



**3 – Extracción (corte del árbol)**

Fuente de la ilustración: [18]



**4 – Extracción (arrastre del árbol)**

Fuente de la ilustración: [18]



**5 – Transporte dentro de la foresta (arrastre del árbol)**

Fuente de la ilustración: [20]



**6 - Almacenamiento en la selva**

Fuente de la ilustración: [31]

(continúa en la página siguiente)





**7 – Transporte desde la foresta hasta el lugar de procesamiento**

Fuente de la ilustración: [20]



**8 – Transporte desde la foresta hasta el lugar de procesamiento (vía fluvial cuando es necesario)**

Fuente de la ilustración: [31]



**9 – Carga, descarga y almacenamiento en el aserradero/industria**

Fuente de la ilustración: [32]



**10 – Procesamiento**

Fuente de la ilustración: [20]



**11 – Transporte desde el aserradero/industria hasta el consumidor**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**12 – Selva Amazónica (después de la extracción selectiva convencional)**

Fuente de la ilustración: [33]

**Fig. 5. 1 - Cadena productiva de madera nativa proveniente de extracción selectiva convencional**

En el SP las maderas exóticas, provenientes de plantaciones, no se necesita el Documento de Origen Forestal. Se tratan como monocultivo, es decir, no son productos de extracción forestal, sino, especies exóticas producidas para un fin determinado. Para que el producto de madera exótica plantada llegue al consumidor pasa por las siguientes fases: producción de semillas/plántulas, preparación del suelo, plantío, crecimiento (absorción de CO<sub>2</sub> e incorporación de carbono), mantenimiento y cuidado del árbol hasta la edad de corte (que varía según el destino que se le vaya a dar), extracción (corte y arrastre, o corte y procesamiento previo, según la maquinaria que se utilice), almacenamiento en la foresta, transporte hasta el aserradero/industria, procesamiento y transporte hasta el consumidor o distribuidor (Fig. 5. 2).



**1 – Manejo de semillas**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**2 – Producción de plántulas**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**3 – Preparación del suelo y plantío**

Fuente de la ilustración: [34]



**4 – Crecimiento**

Fuente de la ilustración: archivo del autor

(continúa en la página siguiente)



**5 – Mantenimiento y cuidado**  
Fuente de la ilustración: [35]



**6 – Plantación en edad de corte**  
Fuente de la ilustración: [30]



**7 – Extracción**  
Fuente de la ilustración: empresa 8



**8 – Almacenamiento en la foresta**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor



**9 – Transporte desde la plantación hasta el procesamiento**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor



**10 – Carga, descarga y almacenamiento en la aserradero/industria**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor



11 – Procesamiento

Fuente de la ilustración: archivo del autor



12 – Transporte desde el aserradero/industria hasta el consumidor

Fuente de la ilustración: archivo del autor

**Fig. 5. 2 - Cadena productiva de madera de especie exótica proveniente de plantación**

Las empresas del muestreo de este estudio además de presentar diferencias en las condiciones de extracción de la madera, en el desarrollo tecnológico, la calificación de recursos humanos y disposiciones normativas, también varían en sus procesos de producción y en la mezcla de productos manufacturados. Esto puede considerarse un retrato de la realidad de la industria maderera en el país, heterogéneo, con una competencia en el mercado muchas veces desigual.

La manufactura de un producto acabado puede realizarla una única empresa en la misma unidad de producción o dividirse entre más de una empresa. Esto genera una etapa intermedia de producción que es el transporte entre unidades manufactureras. En este estudio el objeto principal es el procesamiento, en un lugar, que transforma el tronco en producto final, al que se denominará PC1 (procesamiento 1). El procesamiento que convierte la madera aserrada (proveniente de otra empresa) en producto acabado se llamará PC2 (procesamiento 2), queda en un segundo plano y será considerado por separado, así como el transporte entre estas dos unidades de procesamiento, que se llamará TEPC (transporte entre procesamientos) (Fig. 5. 5).

Los principales productos analizados son la madera aserrada bruta (B) y la madera aserrada aplanada (A). Sin embargo, en el mismo lugar de manufactura hay empresas del SP que producen marcos, batientes, paneles (laminados, contrachapados, laminado encolado), puertas y pallets; y empresas del SN que producen piezas para suelos, paredes, falso techo, panel (laminado encolado). Estos se considerarán “otros productos” (O) (Fig. 5. 3), los cuales se analizarán en conjunto. Esto porque se quiere enfocar la madera aserrada ampliamente utilizada en la construcción, así como, porque la mayoría de las empresas no han podido ofrecer datos detallados para la estimación de insumos producto a producto.



**Imagen representativa de tronco**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Imagen representativa de madera aserrada bruta**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Imagen representativa de madera aserrada aplanada**  
Fuente de la ilustración: [36]



**Imagen representativa de marcos y batientes**  
Fuente de la ilustración: [37]



**Imagen representativa de puertas**  
Fuente de la ilustración: [38]



**Imagen representativa de pallets**  
Fuente de la ilustración: [39]



**Imagen representativa de panel laminado**  
Fuente de la ilustración: [39]



**Imagen representativa de panel contrachapado**  
Fuente de la ilustración: [39]



**Imagen representativa de panel laminado encolado**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Imagen representativa de suelos, paredes, falso techo**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Imagen representativa de suelos, paredes, falso techo**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Imagen representativa de panel laminado encolado**  
Fuente de la ilustración: archivo del autor

**Fig. 5. 3 - Imágenes ilustrativas de los productos producidos por las empresas analizadas**

### 5.2.2.2 Límite del sistema

El límite del sistema que se va a estudiar engloba las actividades previas a la extracción (PE), seguido de la extracción del árbol (E), el transporte de la madera desde la plantación/selva hasta la unidad de procesamiento (T1), el procesamiento que convierte el tronco en producto final (PC1), el transporte del producto final hasta el consumidor (o distribuidor) (T2). En

paralelo al sistema principal descrito, se hará la estimación de otras dos fases: el transporte entre la primera y segunda unidad de procesamiento (TEPC) y el segundo procesamiento, que convierte madera aserrada en producto acabado (PC2). Como estas dos fases no son obligatorias, se estudiarán por separado, como una ruta alternativa.

Se definieron las fases según las posibilidades de desagregación de los datos primarios, considerando las siguientes actividades (Fig. 5. 4, Fig. 5. 5):

- PE: producción de semillas y plántulas, preparación del suelo para el plantío, plantío, mantenimiento y cuidado de la plantación hasta la edad de corte (actividades exclusivas del SP); y apertura de vías de acceso y patios de almacenamiento en la selva (exclusivos del SN).
- E: corte del árbol, arrastre dentro de la plantación/selva y carga del vehículo que transportará el tronco hasta la unidad de procesamiento.
- T1: transporte desde la plantación/selva hasta la unidad de procesamiento.
- PC1: carga y descarga de los vehículos de transbordo, almacenamiento, transportes internos de materias primas y productos, y procesamiento de la madera.
- T2: transporte desde la unidad de procesamiento hasta el consumidor (o distribuidor).
- TEPC: transporte entre unidades de procesamiento (PC1 y PC2).
- PC2: carga y descarga de los vehículos de transbordo, transportes internos de materias primas y productos y procesamiento.

No han sido consideradas las fases posteriores al consumidor (construcción, uso, reutilización/reciclaje y descarte), pues existe una enorme variedad de utilidades en que los productos de madera pueden aplicarse, así como diferentes ciclos de vida que pueden variar desde menos de seis meses (maderas para encofrado de hormigón) hasta cincuenta años o más (viviendas).

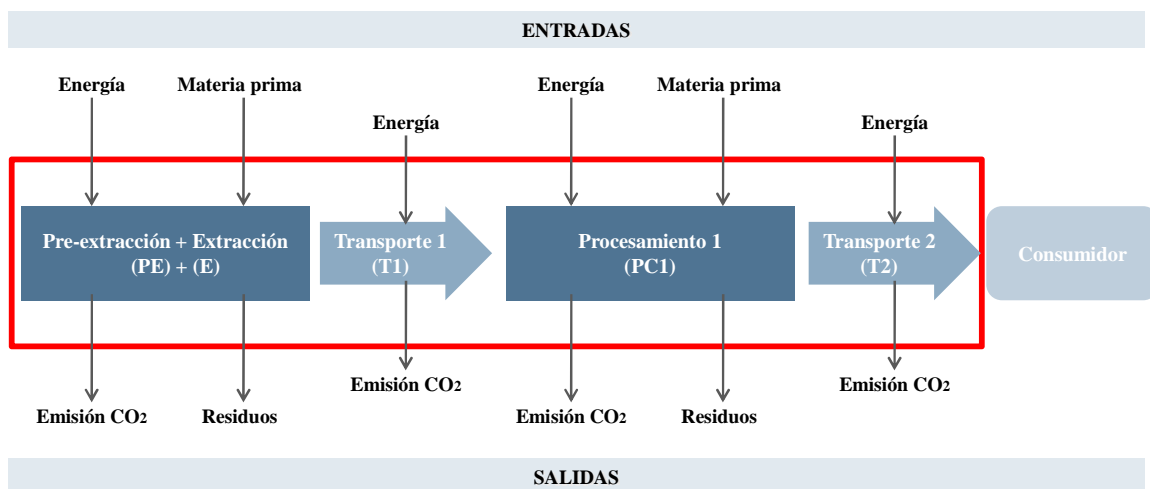
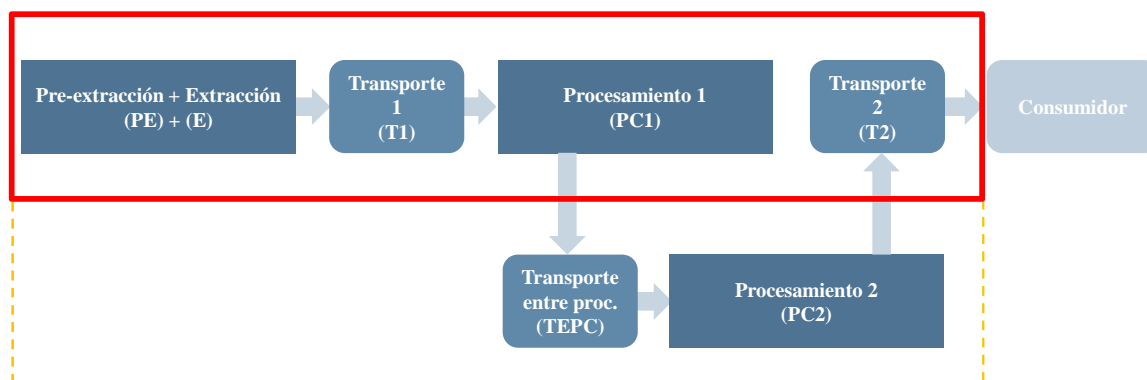


Fig. 5. 4 - Alcance del estudio (*system boundary*) destacado por la línea roja



**Fig. 5. 5 – Ruta alternativa para suministro de producto acabado (considerado aparte del sistema definido para este estudio que está dentro del alcance destacado por la línea roja)**

Se consideraron como los “entradas” (*inputs*) del sistema (Fig. 5. 4) las siguientes:

- **Materia prima:** se consideró tan solo la madera. No se estimaron los consumos de otros materiales de conservación o acabado, como conservantes, pegamentos, pinturas, barnices, *spackling*; tampoco productos químicos utilizados en las actividades forestales como termicida, herbicidas o fertilizantes.

- **Energía:** eléctrica y combustibles consumidos directa y exclusivamente en las actividades productivas del sistema analizado. No se consideraron la energía consumida en la producción y transporte del propio combustible o electricidad, la construcción de unidades industriales, equipos, vehículos, transporte de personal fuera de las actividades de producción ni la energía solar consumida por el árbol durante su crecimiento.

Las “salidas” (*outputs*) consideradas fueron (Fig. 5. 4) las siguientes:

- **Emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** se consideró la quema directa de los combustibles. Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los residuos de madera se calcularon según la cantidad estimada de carbono en la materia seca (0.47 tC.t<sup>-1</sup>, para residuos de la selva tropical, y 0.49 tC.t<sup>-1</sup>, para los demás residuos de madera [40]).

- **Residuos:** se contabilizaron solamente los residuos de madera producidos en las diversas fases de producción (actividades anteriores a la extracción, como apertura de vías acceso y patios de almacenaje en la selva (sistema nativo), extracción del árbol y arrastre y procesamiento del tronco).

Las entradas y salidas del sistema se definieron según las necesidades observadas para realizar una primera aproximación al tema. En el caso de la madera, los residuos son un elemento de importancia a tener en cuenta ya que pueden utilizarse como fuente energética, que disminuyen indirectamente las emisiones de CO<sub>2</sub> al usarse en detrimento de combustibles fósiles, o agravan escenarios con mayor alcance cuando se quema o degrada sin un fin específico. Teniendo en cuenta que la biomasa (residuos de madera) es una fuente de energía, se definió la

necesidad de tratar este parámetro no solo por su interés ambiental (como alternativa a combustibles fósiles), sino también por su beneficio económico.

El estudio tiene en cuenta el dióxido de carbono, pues es uno de los gases con efecto invernadero más importantes y el principal antropogénico [41]. En una ACV completa esta información sirve para analizar el impacto de calentamiento global, por ejemplo. Aunque el metano es veinticinco veces más potente para el calentamiento global que el CO<sub>2</sub> [42], no se tuvo en consideración, pues había muchas variantes<sup>4</sup> relacionadas con la descomposición de la madera no era posible manejar en esta investigación.

### 5.2.2.3 Unidad funcional

La unidad funcional definida fue una tonelada seca<sup>5</sup> (1t) de productos de madera, que son la madera aserrada bruta y aplanada y otros productos.

### 5.2.2.4 Asignación

Según la norma ISO 14.044/2006, debe evitarse la asignación de las entradas y salidas a los diversos productos. Si esto no es posible a través de la ampliación del sistema estudiado o su división en subprocesos, las entradas y salidas pueden asignarse siguiendo distintos procedimientos. Estos pueden considerar la relación física entre el producto y coproducto, el valor de mercado u otras relaciones que deben explicarse claramente [48][49][50].

En este estudio se consideró que las entradas y salidas deben ser asignadas al producto final, ya que este es el responsable de las demandas e impactos y, en algunos casos, los residuos no llegan a convertirse en coproductos, pues no alcanzan precio en el mercado. Este criterio puede denominarse *cut-off*, asignación por unidad de proceso o sin asignación [51][52].

### 5.2.2.5 Análisis de sensibilidad

El objetivo del análisis de sensibilidad es evaluar la fiabilidad de los resultados y los efectos en las conclusiones finales que pueden producirse por la incertidumbre en los datos, los métodos de asignación, los límites definidos, etc. [8]. Consiste en cambiar uno o más parámetros

---

<sup>4</sup> La descomposición de la madera depende de diversos factores como existencia de metanobacterias, termitas, radiación, régimen de lluvias y tipos de suelos, entre otros.

<sup>5</sup> Se adoptó el concepto de materia seca utilizado por el IPCC: “Materia seca se refiere a la biomasa que ha alcanzado el estado seco en la estufa, a menudo a 70°C” [43]. Según las referencias [44][45][46], para que la madera esté totalmente seca (sin contenido de humedad, 0%) es necesario que se seque en estufa a temperaturas por encima de los 100°C, tanto para maderas duras como las blandas. Las maderas que tienen entre el 8% y 19% (máximo) de contenido de humedad se consideran secas [44]. Para secar la madera hasta estos valores de contenido de humedad, la madera debe introducirse en una estufa. La temperatura y tiempo de secado necesarios dependerán del programa de secado que, a su vez, depende del tipo de madera, las dimensiones de las piezas, el contenido de humedad y el uso final de la madera. Como ejemplo, para que una madera dura alcance el 15% de contenido de humedad debe pasar por temperaturas superiores a 82°C [44], mientras que una madera blanda podría llegar a este contenido de humedad a 50°C, según el programa de secado [47]. Por ello, en este trabajo se considera “madera seca” aquella que tiene de media entre el 12% y el 15% aproximadamente de contenido de humedad.

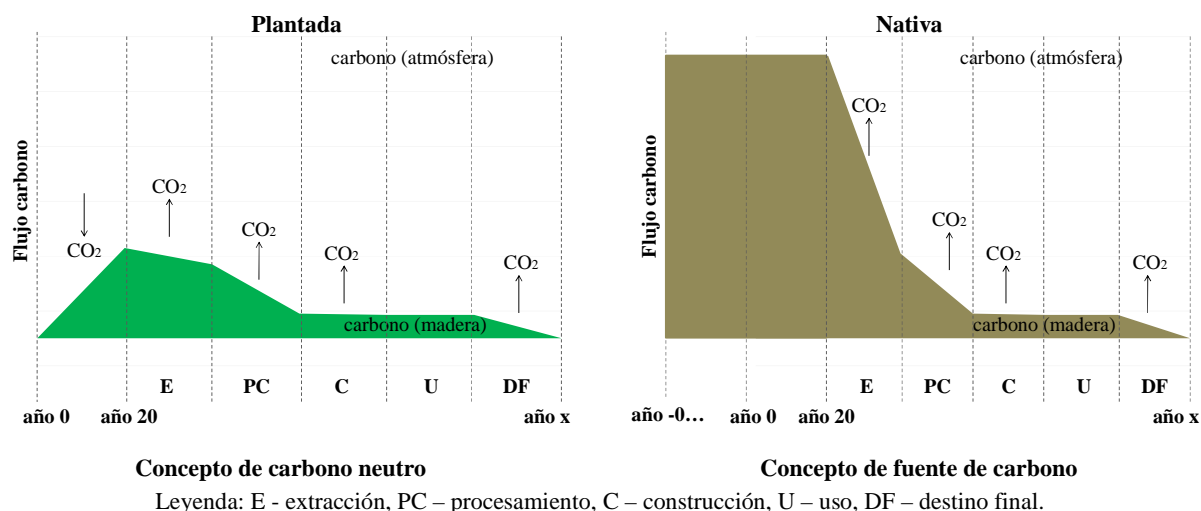


y comprobar las variaciones que se producen en los resultados. Esto sirve para identificar los elementos que más influyen en las conclusiones finales y en estudios comparativos [53][54][55].

En este estudio se hizo el análisis de sensibilidad para observar los efectos que las emisiones de CO<sub>2</sub> tienen en los resultados cuando se cambian **dos parámetros**. El primero se refiere al concepto de “**carbono neutro**”, que presume que la misma cantidad de carbono absorbida en la fotosíntesis y que se incorpora al árbol se emitirá al final del ciclo de vida, cuando la madera se quemó o degrade liberando el carbono almacenado de vuelta a la atmósfera. De esta manera, el saldo de carbono sería igual a cero, sin efecto emisor neto en la atmósfera [56][57][56]. Dentro del ciclo de vida de la madera, si al final de su vida útil el carbono emitido es cero, entonces se la podría considerar neutra en carbono, lo que quiere decir que las emisiones de carbono provenientes de su quema o degradación no son contabilizadas.

Se considera el inicio del ciclo de vida de la madera plantada en el año “cero” cuando empieza la producción de semillas o plántulas. A partir de ahí, el carbono pasa a ser absorbido y continúa a lo largo del crecimiento del árbol hasta la edad de corte. Desde la extracción hasta el empleo del producto de madera, una parte del carbono se incorpora a los productos y otra vuelve a la atmósfera por la quema o degradación de los residuos (de la extracción, procesamiento, construcción o mantenimiento). Al final del ciclo de vida de la madera, todo el carbono incorporado será emitido otra vez a la atmósfera. Por ello, a la madera plantada se aplicó el concepto de *carbono neutro*.

Este concepto no se utilizó por igual para la madera plantada y nativa [58][59]. La madera nativa proviene de la Amazonia (selva tropical húmeda), que es una foresta antigua natural y consolidada, considerada reserva de carbono. Al extraerse la madera, se destruye una parte considerable de la biomasa de este ecosistema que se convierte en residuo, que al descomponerse (o ser quemado) libera el carbono que estaba incorporado, revertiendo el proceso de fotosíntesis. Sin la recomposición de la biomasa destruida, como es usual en la extracción selectiva convencional, el carbono almacenado en la foresta disminuye y el saldo de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumenta. Con ello la madera nativa pasa a ser *fuentes de carbono*, por lo que deben contabilizarse las emisiones provenientes de su quema o degradación.



**Gráf. 5.1 - Representación conceptual del flujo de carbono a lo largo del ciclo de vida de un producto de madera nativa y plantada**

Los conceptos de *carbono neutro* y *fuentes de carbono* se emplearon de forma distinta para la madera plantada y la nativa debido al ciclo de vida y modo de extracción de la madera nativa definidos para este estudio. El ciclo de vida considerado es corto, referente a un período de producción de la madera plantada, lo que no permite evaluar las consecuencias de ciclos sucesivos de producción o reestructuración natural de la foresta. Además en el año “cero” definido, la foresta nativa tropical se consideró adulta. También se limitó a basarse en la extracción selectiva convencional de la madera nativa, que no prevé la regeneración de la foresta, lo que hace que la actividad de retirada de la madera comercial genere una disminución de las reservas de carbono de la selva. Si se consideraran otros modos de extracción que permiten la recomposición de la foresta, tal vez podría admitirse el concepto de carbono neutro pudiera para la madera nativa.

De esta forma, como principio para el ICV de este estudio, las emisiones provenientes de la quema o la degradación de la madera se consideraron nulas para las plantadas y emitentes para las nativas. Se discutirán cuales serían las consecuencias de considerar igualmente neutras las emisiones provenientes de la madera del SP y SN, que en Brasil poseen considerables diferencias. No se tuvo en cuenta el carbono bajo tierra.

El segundo parámetro se refiere a la **fuentes de energía**. Se han querido observar los cambios en las emisiones de CO<sub>2</sub> cuando se modifican las fuentes de energía. El primer ensayo consideró que la energía eléctrica de la red nacional<sup>6</sup> (donde un ~77% de la energía proviene de

<sup>6</sup> La mezcla de fuente de energía puede variar según la zona. Si bien, se consideró la mezcla energética genérica nacional, compuesta por un 76,9% de la energía proveniente de hidroeléctrica; un 6,8%, de biomasa (licor negro, leña, bagazo de caña y otras recuperaciones); un 0,9%, eólica; un 7,9%, de gas natural; un 3,3%, de derivados del petróleo; un 2,7%, nuclear; un 1,6%, carbón y derivados [60].

hidroeléctricas [60]) utilizada en el procesamiento fuera substituida por biomasa reutilizada proveniente de los residuos de madera; y el segundo, que el transporte entre fases del proceso no utilizaría diesel sino alcohol etílico hidratado (que proviene de fuente renovable y tiene menos emisión de dióxido de carbono por unidad de energía).

#### 5.2.2.6 Fuente de datos

La búsqueda de empresas para establecer el muestreo del estudio se llevó a cabo a través de Internet. La selección siguió dos criterios básicos: a) la empresa debería tener todos los procesos de producción ubicados en Brasil, y b) debería encontrarse en uno de los perfiles estipulados. Los perfiles incluían empresas que: a) producen materias primas para la industria de la madera (troncos), b) producen productos de madera brutos o acabados que se destinan a la construcción. Contar con todas las fases de producción no fue una premisa, tampoco tener los procesos de producción ubicados en un mismo lugar.

De las cincuenta y siete empresas seleccionadas, veinte aceptaron participar del estudio y diecinueve han sido capaces de proporcionar datos mínimos suficientes para el análisis. Entre ellas, nueve trabajan exclusivamente con madera plantada exótica, siete, exclusivamente con madera nativa tropical y tres, con las dos fuentes de madera. Como no hay homogeneidad entre las empresas, para poder entender mejor los resultados, se ha hecho una clasificación según la materia prima utilizada, el volumen de producción anual, las fases del proceso en que actúa y el grupo de producto que produce. Los criterios se definieron de la siguiente manera:

- **Materia prima:** madera nativa tropical, madera plantada exótica.
- **Producción anual:** hasta 99 t/mes considerada empresa de microescala, desde 100 hasta 999 t/mes pequeña, desde 1000 hasta 4999 t/mes media, desde 5000 hasta 9999 t/mes media-grande, y más de 10000 t/mes grande.
- **Fases del proceso:** forestal, que produce madera bruta (tronco); procesamiento 1, que convierte el tronco en producto final (PC1); procesamiento 2 que convierte madera aserrada en producto acabado (PC2).
- **Productos:** troncos (T); madera aserrada bruta o aplanada (A); madera acabada (AC) que engloba piezas para pared, piso y falso techo; panel laminado encolado (P), otros tipos de paneles (OP) que pueden ser de MDF (*Medium Density Fiberboard*), LVL (*Laminated Vanner Lumber*), OSB (*Oriented Strand Board*), contrachapado; muebles (M); residuos para la venta (R).

Las empresas participantes se caracterizan según la tabla siguiente, sus nombres no se exponen debido al acuerdo de confidencialidad respecto a su identidad para la obtención de la

información del proceso de producción. Se identifican por orden numérico, el cual se seguirá hasta el final de este capítulo.

**Tab. 5. 1 – Tabla de caracterización de las empresas participantes del estudio**

<b>Empresas</b>	<b>Materia prima</b>	<b>Producción anual</b>	<b>Fase del proceso</b>	<b>Productos</b>
1	Plantada	Grande	Forestal, procesamiento 1 y 2	T/A/AC/P/R
2	Plantada	Grande	Forestal, procesamiento 1	T/A/R
3	Plantada	Media	Forestal, procesamiento 1 y 2	T/A/AC/OP/R
4	Plantada	Media-grande	Forestal, procesamiento 1	A
5	Plantada y nativa	Pequeña	Forestal, procesamiento 1 y 2	T/A/AC
6	Plantada	Media	Forestal, procesamiento 1	T/A
7	Plantada	Grande	Forestal, procesamiento 2	T/OP
8	Plantada	Grande	Forestal	T
9	Plantada	Media	Forestal	T
10	Plantada	Media-grande	Forestal, procesamiento 2	T/M <sup>1</sup>
11	Nativa	Media-grande	Forestal, procesamiento 1	A
12	Nativa	Pequeña	Forestal, procesamiento 1	A
13	Nativa y plantada	Media	Forestal, procesamiento 1 y 2	A/AC/P/R
14	Nativa	Media-grande	Forestal, procesamiento 1 y 2	T/A/AC/R
15	Nativa	Micro	Forestal, procesamiento 1 y 2	A/AC
16	Nativa	Micro	Procesamiento 2	AC
17	Nativa	Micro	Procesamiento 2	AC
18	Nativa	Micro	Procesamiento 2	AC
19	Nativa y plantada	Micro	Procesamiento 2	AC

<sup>1</sup> En el estudio no se consideró el procesamiento, sino tan solo datos de la fase forestal.

### 5.2.2.7 Datos requeridos

La información se obtuvo de las empresas a través de dos cuestionarios: uno referente a los procesos previos a la extracción de la madera y otro, a los procesos de posteriores a la extracción. Se asignaron los cuestionarios a las empresas según sus actividades y se les solicitó información complementaria mediante correo electrónico, teléfono y visitas a la sede de las empresas o a las plantas de producción (cuando fue posible). El proceso de recolección de datos fue intermitente, desde diciembre del 2010 hasta el final del estudio, en 2013. Los cuestionarios evolucionaron según las necesidades del proceso de análisis o el tipo de empresa y disponibilidad de datos. Puede consultarse la última versión de los cuestionarios en el anexo de este capítulo.

**Tab. 5. 2 – Tipo de cuestionario proporcionado a cada empresa (la “x” significa que fue respondido)**

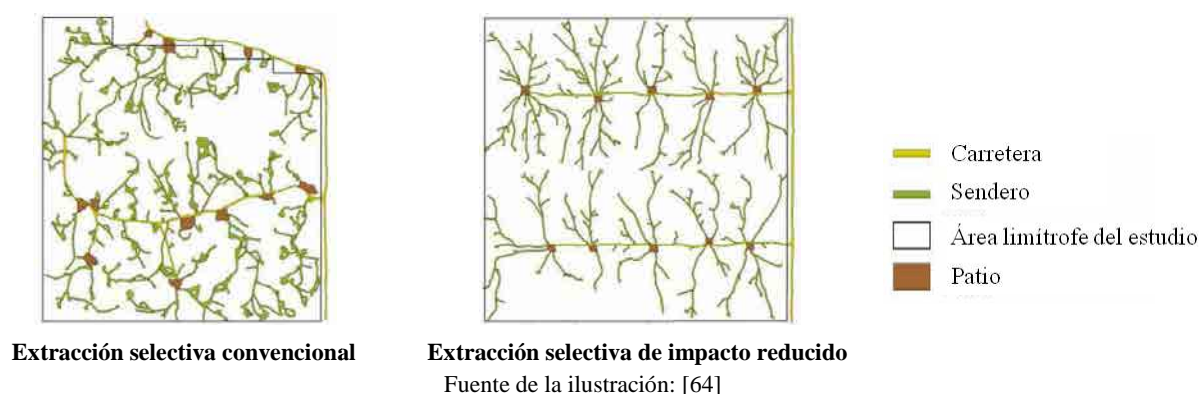
<b>Cuestionario/Empresa</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>Previo a la extracción</b>	x					x							x						
<b>Posterior a la extracción</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

El cuestionario relativo a los procesos previos a la extracción fue distinto para las empresas que trabajan con madera nativa y plantada, pues los procesos no son equivalentes. El cuestionario relativo a los procesos posteriores a la extracción se dividió en cuatro partes: extracción (corte del árbol y transporte dentro de la plantación/selva), transporte de la plantación/selva hasta el lugar de procesamiento (PC1), procesamiento (PC1) y transporte hasta el consumidor/distribuidor. En ambos, el objetivo fue conocer el consumo de combustible y

electricidad, producción de residuos, equipos, vehículos utilizados, distancia recorridas y proceso productivo.

A pesar de que había un cuestionario relativo a los procesos previos a la extracción y de que algunas empresas lo respondieron, las informaciones de esta fase que constan en el ICV se definieron mediante fuentes bibliográficas<sup>7</sup> [20][3][62] porque se evaluó que los datos obtenidos eran insuficientes para demarcar de manera satisfactoria un rango de resultados.

También se consideró que la madera de selva nativa se extrae de manera **selectiva convencional**, que es la extracción de árboles comerciales sin planificación, mano de obra poco preparada y que usualmente genera mayor destrucción de biomasa y producción de residuos que la extracción selectiva de impacto reducido, que intenta minimizar los impactos colaterales (Fig. 5. 6), posee recursos humanos capacitados y un plan de manejo [63][64][65][66].



**Fig. 5. 6 – Comparación entre la extracción selectiva convencional y la de impacto reducido**

Aunque algunas empresas declararon que realizan el manejo forestal y que la madera de fuente legal tiene que proceder de zonas con plan de manejo forestal o de supresión autorizada [23], se consideró que la extracción selectiva convencional reflejaría más de cerca la realidad global del país, como se describe en el apartado “Sistemas productivos estudiados”.

Las empresas proporcionaron las informaciones primarias, que derivan de su propia evaluación de producción anual (o típica cuando no se dispone de la de un año completo). No se realizó ninguna verificación independiente sobre la calidad de los datos.

<sup>7</sup> Una de las referencias [20] es una investigación desarrollada en el grupo de investigación del laboratorio de Microestructura de la Escola Politécnica de la Universidade de São Paulo que resultó en una tesis de máster. Esta se desarrolló en colaboración con esta tesis de doctorado y parte de la investigación fue publicada en una revista científica [61].

### 5.2.2.8 Presupuestos de cálculo

#### *Factores de conversión*

Para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía incorporada a partir de los datos de consumo de combustibles y energía eléctrica se utilizaron preferencial y mayoritariamente factores de conversión con índices nacionales y, en su defecto, se utilizaron referencias extranjeras. Los valores de energía incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub> son relativos a la quema directa de los combustibles. Los factores se definieron considerando el promedio entre las referencias adoptadas, como se muestra en la tabla siguiente (Tab. 5. 3):

**Tab. 5. 3 – Factores de conversión para energía y emisiones de CO<sub>2</sub>**

	Unidad	MJ/ud	kgCO <sub>2</sub> /ud	Ref.
Energía eléctrica	1kWh	3.60	0.04	[67][68]
Diesel	1L	35.52	2.68	[68][69][70][71]
Gasolina	1L	32.22	2.11	[68][69][72] [70][73][71]
Alcohol etílico hidratado	1L	21.34	1.47	[68][74][70][71]
Gas licuado de petróleo (GLP)	1L	25.56	1.61	[68][75][74][71][73]
Licor negro	1kg	11.97	1.13	[68][71][74]
Carbón mineral (coque)	1kg	28.89	2.65	[68][74][73][71]
Biomasa (madera), contenido de humedad 60-64% <sup>1</sup>	1kg	12.98	1.46	[68][74][73][71][43]
Biomasa (madera) empresa 1, contenido de humedad 60-64% <sup>1</sup>	1kg	5.12	0.57	[43][68]
Biomasa (madera), empresa 2, contenido de humedad 45-50% <sup>2</sup>	1kg	8.37	0.94	[43][68]
Biomasa (madera), contenido de humedad 60% <sup>3</sup>	1kg	6.07	0.68	[68][43][76][77][78]
Biomasa (madera), contenido de humedad 35% <sup>4</sup>	1kg	11.50	1.29	[68][43][78]

<sup>1</sup> Información del contenido de humedad facilitado por el informe técnico hecho para la empresa que caracteriza la biomasa utilizada con poder calorífico inferior a 1172-1273 Kcal/kg.

<sup>2</sup> Información proporcionada por la empresa que caracteriza la biomasa utilizada con poder calorífico inferior a 2000 Kcal/kg.

<sup>3</sup> Contenido de humedad máximo/crítico para quema de biomasa verde. [76]

<sup>4</sup> Contenido de humedad medio considerado para la biomasa almacenada. [76]

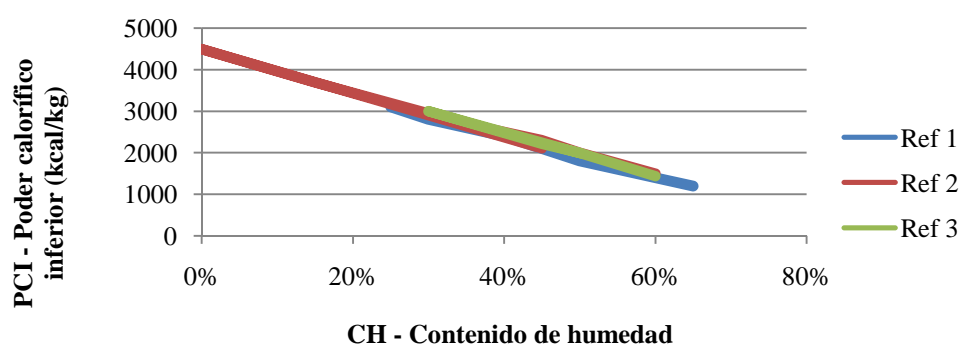
#### *Consideraciones para los cálculos de emisiones y energía incorporada*

Para las estimaciones de energía incorporada (EI) y emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), fue considerado que todos los insumos energéticos residuos de otro proceso productivo, como la biomasa o el licor negro, entran en el sistema estudiado con cero carbono. Para los residuos de madera nativa generados por el sistema estudiado y reutilizado en el propio sistema, se contabilizó el carbono en el cálculo de emisión. Esto porque se partió del principio que las emisiones de los residuos deben computarse dentro del sistema que las generó.

Las emisiones de la quema de biomasa (residuos de madera) se calcularon según el contenido de carbono estimado para la masa (o volumen) de madera declarada. Primero se convirtió la masa de madera verde en madera seca (en su caso), y sobre esta se aplicó el factor de conversión 0,49 tC/t<sub>madera seca</sub> [79] para encontrar el contenido de carbono incorporado. En

seguida, se convirtieron las emisiones de carbono en emisiones de dióxido de carbono multiplicando por el factor de conversión 3,67 (44/12) [40], que proviene de la relación estequiométrica. Las emisiones de CO<sub>2</sub> de la quema de residuos para generar energía se descontaron de aquellas que se refieren a la degradación de los residuos sin destino, para que no hubiera una doble contabilización de emisiones.

La capacidad de generación de energía de los residuos de madera varía según el poder calorífico, que a su vez está directamente relacionado al contenido de humedad (CH) del material. El siguiente gráfico (Gráf. 5. 2) ejemplifica lo descrito a través de datos obtenidos de la literatura [68][79][76][77][78][80][81]. Por ello, los resultados de energía incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub> pueden variar según el estado de la biomasa utilizada en la estufa o en la generación de energía. En el muestreo no hubo una situación homogénea y, por ello, se consideraron los valores referentes a los CH declarados. Para las empresas que declararon que utilizan biomasa “seca” se utilizaron valores de contenido de humedad entre el 12% y el 15%, que es equivalente al material que sale de la estufa. Para biomasa declarada “verde” se utilizaron datos referentes al CH=60%<sup>8</sup>, que es la situación crítica considerada. Para la biomasa almacenada (ni verde, ni seca) se consideró el CH=35%<sup>9</sup>. Por último, para las dos empresas que detallaran las características de su biomasa se consideraron los valores pertinentes a su propio caso.



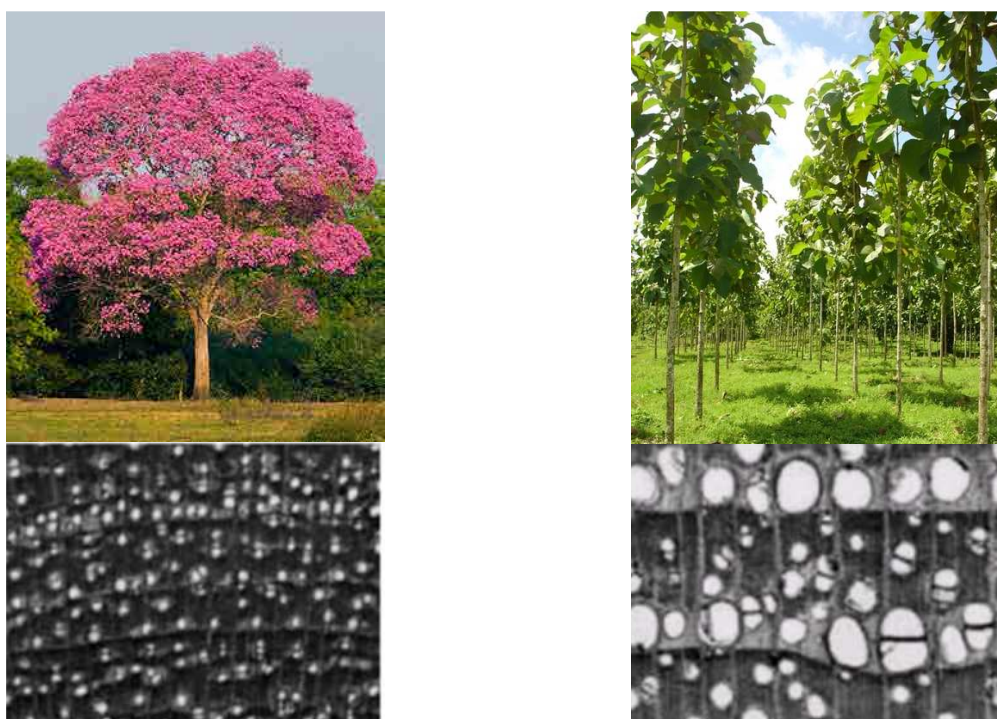
**Gráf. 5. 2 – Relación entre el poder calorífico y el contenido de humedad. Las referencias 1, 2 y 3 son respectivamente: [83][77][76]**

El contenido de humedad también influye en la densidad de la madera, que a su vez está relacionada con las características morfológicas de cada especie. En las siguientes imágenes se puede percibir la diferencia en la estructura de la madera de dos especies distintas (Fig. 5. 7). Esto afecta al peso de la madera en un determinado volumen, lo que varía los resultados de emisiones y energía incorporada. Por ello, para la fase de extracción y transporte de la

<sup>8</sup> Valor crítico de contenido de humedad para la quema en horno [76], los valores por encima del 70% inhiben la llama [82].

<sup>9</sup> Promedio aproximado estimado por la autora, según datos encontrados en la referencia [76] sobre el contenido de humedad mínimo y máximo verificado durante el almacenamiento de biomasa en un periodo que completa un año.

plantación/selva hasta el lugar de procesamiento, se consideró la densidad verde y, para las otras fases del proceso, la densidad aparente (12% humedad). **Si bien, todos los resultados se presentan en toneladas de madera seca.**



**Madera nativa tropical (dura)**

Nombre científico: *Tabebuia* sp., nombre popular: Ipê  
 Densidad verde: 1,24 g/cm<sup>3</sup>, densidad seca: 0,99g/cm<sup>3</sup>,  
 densidad aparente: 1,02 g/cm<sup>3</sup>  
 Referencia: [44][84]

**Madera exótica plantada (blanda)**

Nombre científico: *Tectona grandis*, nombre popular: Teca  
 densidad verde: 0,73 g/cm<sup>3</sup>, densidad seca: 0,58 g/cm<sup>3</sup>,  
 densidad aparente: 0,63 g/cm<sup>3</sup>  
 Referencia: [44][84][85][86][87][88]

En las imágenes los puntos claros son los poros/vacíos y las manchas oscuras, la masa. Se nota que la madera menos densa tiene menos masa por volumen y, en consecuencia, menos carbono por volumen.

**Fig. 5. 7 - Micrografía de una sección transversal representativa de cada especie de madera**

*Densidad de las maderas*

Además, las empresas trabajan con especies distintas, que tienen diferentes densidades. Así, el cálculo de cada empresa consideró el tipo de madera utilizado como materia prima. Para aquellas que trabajan con más de una especie, se consideró la mediana de las densidades de las especies usadas. Los valores de las densidades se definieron según datos encontrados en la literatura y el banco de datos del IBAMA (Instituto Brasileño de Medio Ambiente y Recursos Naturales Renovables) [84][89][90][91][92], conforme la siguiente tabla (Tab. 5. 4). La lista de las especies declaradas por las empresas, así como sus densidades se adjuntan a este capítulo.



**Tab. 5. 4 – Densidades medianas adoptadas para las maderas estudiadas**

<b>Madera / Densidad (t/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Verde</b>	<b>Seca (12-15%)</b>	<b>Básica</b>
Nativas	1,19	0,70	0,67
Eucalipto	1,10	0,54	0,47
Pino	0,94	0,50	0,37
Araucaria	0,85	0,53	0,46
Teca	0,75	0,64	0,57
Nativas y tecla	0,97	0,67	0,62
Pino y eucalipto	1,02	0,52	0,42
Pino y araucaria	0,89	0,51	0,41
Pino, eucalipto y nativas	0,97	0,58	0,51
Eucalipto y nativas	1,15	0,62	0,57

*Regularización de medidas (metro cúbico y metro cúbico “estéreo”)*

Algunas empresas declararon el volumen de madera en metro “estéreo”, que considera la madera amontonada, sumando los vacíos entre los troncos. Este valor fue regularizado para metros cúbicos multiplicando por el factor de conversión 0,56, para la madera nativa, y 0,61, para la madera plantada [93][94].

*Consumo de combustible: equipos y transporte*

Sobre el consumo de los equipos para la extracción, se utilizaron los datos declarados por cada empresa. Para aquellas que no disponían de esta información, se empleó la mediana de consumo calculada conforme a informaciones de la literatura, datos primarios de otras empresas y aquellos proporcionados por los fabricantes [95][96][97]. Se consideró solamente la quema directa de los combustibles, ignorándose los lubricantes y otros fluidos. Los equipos sobre los que fue necesario realizar el cálculo fueron la motosierra, el arrastrador y la cargadera (Tab. 5. 5).

**Tab. 5. 5 – Consumo de combustibles adoptados para equipamientos forestales.**

<b>Equipo</b>	<b>Combustible</b>	<b>Consumo (L/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Referencia</b>
		<b>Nativa</b>	<b>Plantada</b>	
Motosierra	Gasolina	0,18	-	[95][97][96] Emp. 10,11,12,13,15
Arrastrador	Diesel	0,76	0,48	[95][98][99][100][101][102] Emp. 11,12,13,14,19
Cargadera	Diesel	0,15	0,12	[95] Emp. 1,8,10,11,12,13,14

Asimismo, el factor de consumo de los camiones se calculó según datos primarios y, en aquellos casos que no se tenía información, se aplicaron los consumos de 0,005 L/t.km como mínimo, 0,017 L/t.km, como máximo, y 0,013 L/t.km, como mediana. Estos datos se basan en un estudio nacional sobre transporte de la madera [61].

### *Distancias de transporte*

Las empresas informaron de las distancias de transporte para todos los trayectos del sistema estudiado. Para los casos donde no había información sobre el transporte desde la plantación/selva hasta el lugar de procesamiento (PC1), se adoptó 117 km, para las maderas nativas [23][103], y 54 km, para las plantadas [104][105], resultado obtenido de la mediana entre los datos de la literatura y los primarios de las demás empresas.

Las distancias entre el lugar de procesamiento y el consumidor (o distribuidor) se estimaron utilizando la herramienta *Google Maps*. La distancia máxima consideró el trayecto entre el lugar de procesamiento y la capital más distante citada por la empresa y la distancia mínima consideró el valor teórico de 5 km para suministro local. El enfoque del estudio es el mercado nacional, pero se calcularon las distancias recorridas por los productos para la exportación hasta los puertos que utiliza cada empresa. Se consideraron trayectos por carretera y ríos, en su caso.

#### **5.2.2.9 Presentación de los resultados y tipo de análisis**

Se presentan los resultados separando el sistema nativo y el plantado. Los resultados individuales de cada empresa se puntúan dentro del sistema al cual pertenecen. Los valores de CO<sub>2</sub> y EI se muestran por rangos de variación entre un valor mínimo y máximo ya que las incertidumbres deben tenerse en consideración, porque el perfil de las empresas varía, así como el consumo de combustible, las distancias y la cantidad de residuos, entre otros. Las fases PC2 y TEPC, pertenecientes a la ruta alternativa, se calcularon por separado y será así como se presenten.

Según se ha descrito, las emisiones de CO<sub>2</sub> exhibidas resultan de los conceptos de “neutro en carbono”, para el sistema de plantación de madera, y “fuente de carbono”, para la selva nativa.

## **5.3 Resultados y Análisis del Inventario del Ciclo de Vida**

### **5.3.1 Insumos y residuos**

#### **5.3.1.1 Insumos**

Los insumos analizados fueron la madera bruta (tronco) utilizada como materia prima, la electricidad, los combustibles fósiles (diesel, gasolina, gas licuado de petróleo (GLP), licor negro y carbón mineral) y renovables (biomasa)<sup>10</sup>. De modo general, los combustibles fósiles se

---

<sup>10</sup> Resultados por empresa en el apéndice de este capítulo.

utilizan en los equipos y el transporte, solo una empresa utiliza carbón y licor negro para generar electricidad y otra utiliza diesel para la misma función. La ubicación de la empresa influye en la fuente de energía utilizada, pues hay zonas de difícil acceso y que carecen de red pública de distribución de electricidad. La mayoría de las empresas usan la electricidad suministrada por la red pública. La biomasa se utiliza para el funcionamiento de la estufa (el 58% de las empresas), así como para la generación de electricidad (el 10% de las empresas).

Comparando los dos sistemas (plantado y nativo), la diferencia sustancial en el consumo de combustibles se da en la fase de procesamiento, donde las empresas que trabajan con maderas plantadas reutilizan más residuos de madera de su propio proceso, para el funcionamiento de la estufa. La madera plantada, por ser menos densa, requiere tratamientos diferentes de la madera densa tropical, por lo tanto, para la madera plantada, el uso del secado artificial es más común.



**Madera plantada secada al aire**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



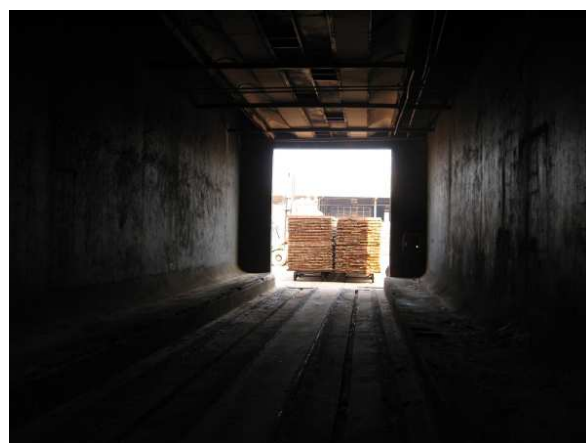
**Madera plantada secada en estufa**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Madera nativa secada al aire**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Madera nativa secada en estufa**

Fuente de la ilustración: archivo del autor

**Fig. 5. 8 – Métodos de secado de la madera**

En la tabla siguiente (Tab. 5. 6) se presenta el consumo de combustible en la fase de extracción de madera. Varían según los equipos, la densidad de la madera y las distancias y

condiciones del transporte. En el sistema plantado hay una mayor mecanización, gracias al tamaño de los árboles y las condiciones de acceso. Las empresas que extraen madera nativa suelen utilizar un sistema semimecanizado, con motosierra y equipos de arrastre (*skidder*). En el transporte 1 (desde la foresta hasta el lugar de procesamiento) no se apreciaron diferencias considerables ya que los rangos de variación de distancia, carga transportada y factor de consumo son de orden de magnitud semejante entre los sistemas (Tab. 5. 7). Los equipos utilizados para la extracción del árbol plantado citados por las empresas fueron: *harvester*, *forwarder*, *feller*, *munck*, *shovel logger*, cabrestante, cargadera, tractor agrícola, excavadora, motosierra, camión; y por las empresas que extraen árbol nativo: *skidder*, cargadera, motosierra y camión.

**Tab. 5. 6 - Consumo de combustible y distancia recorrida en la fase de extracción de la madera (PE+E)**

	Plantada			Nativa		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Consumo de diesel (L/t <sub>tr</sub> )	0,69	3,37	2,66	1,46	3,26	2,24
Consumo de gasolina (L/t <sub>tr</sub> )	0,00	1,31	0,00	0,14	0,34	0,25
Distancia recorridas (km)	0,25	12	5	0,50	15	8

<sup>tr</sup> Tronco seco

Resultados según datos de las empresas 1 a 15 y suministradora de madera de la empresa 19.

**Tab. 5. 7 - Consumo de combustible y distancia recorrida en el transporte 1 (desde la foresta hasta el procesamiento 1) (T1).**

	Plantada			Nativa		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Consumo de diesel (L/t <sub>tr</sub> )	0,19	10,39	2,28	0,89	7,87	2,09
Factor de consumo (L/t.km)	0,005	0,027	0,018	0,007	0,025	0,009
Carga transportada (t <sub>tr</sub> )	8	41	19	18	42	32
Distancia recorridas (km)	7	150	33	35	145	74

<sup>tr</sup> Tronco seco

Resultados según datos de las empresas 1 a 15 y suministradora de madera de la empresa 19.

El procesamiento (PC1) de la madera nativa presentó un menor consumo de combustibles y electricidad por tonelada seca de madera, debido a diferencias tecnológicas y de proceso productivo (Tab. 5. 8).

**Tab. 5. 8 - Consumo de combustibles en el procesamiento 1 (PC1)**

	Plantada			Nativa		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
<b>Producto aserrado bruto y aplanado</b>						
Energía eléctrica (kWh/t <sub>p</sub> )	43,7	425,3	182,8	0,0	97,3	46,6
Diesel (L/t <sub>p</sub> )	1,0	169,4	8,7	4,0	7,1	6,0
GLP (L/t <sub>p</sub> )	0,0	4,5	0,9	0,0	0,0	0,0
Biomasa <sup>1</sup> (kg/t <sub>p</sub> )	0,0	1.219,9	460,4	0,0	192,3	34,3
Carbón <sup>2</sup> (kg/t <sub>p</sub> )	0,0	0,0	0,0	0,0	25,5	0,0
Licor negro <sup>2</sup> (kg/t <sub>p</sub> )	0,0	0,0	0,0	0,0	42,6	0,0
<b>Otros productos<sup>3</sup></b>						
Energía eléctrica (kWh/t <sub>p</sub> )	87,8	732,0	498,6	193,5	236,0	214,7
Diesel (L/t <sub>p</sub> )	0,0	9,3	7,6	4,8	6,1	5,4
GLP (L/t <sub>p</sub> )	1,1	13,7	1,6	0,0	0,0	0,0
Biomasa <sup>1</sup> (kg/t <sub>p</sub> )	364,7	1.219,9	1.019,6	0,0	282,1	141,1
Carbón <sup>2</sup> (kg/t <sub>p</sub> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Licor negro <sup>2</sup> (kg/t <sub>p</sub> )	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----

<sup>p</sup> Producto seco.  
<sup>1</sup> Residuos de madera.  
<sup>2</sup> Solo lo utiliza una empresa.  
<sup>3</sup> Otros productos de madera plantada son marcos, batientes, paneles (laminados, contrachapados, laminado encolado), puertas y pallets; y de madera nativa, piezas para suelos, paredes, falso techo, panel (laminado encolado).  
Resultados según datos de las empresas 1 a 06 y 11 a 15.

En el transporte 2 (desde el procesamiento 1 hasta el consumidor/distribuidor) las empresas que trabajan con madera nativa presentan un mayor consumo de combustible debido principalmente a las distancias de transporte. Su ubicación al norte la posiciona lejos de los principales mercados consumidores, que están al sureste, mientras que las empresas que trabajan con madera plantada están más cerca de esta región (Tab. 5. 9). Además, las condiciones de las carreteras en SN no siempre son idóneas.

**Tab. 5. 9 - Consumo combustible y distancia recorrida en el transporte 2 (desde el procesamiento 1 hasta el consumidor) (T2)**

	Plantada			Nativa		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Consumo de diesel (L/t <sub>p</sub> )	1,4	83,7	10	0,6	67,9	26,3
Factor de consumo (L/t.km)	0,005	0,025	0,017	0,005	0,022	0,013
Carga transportada (t <sub>p</sub> )	15	27	26	14	40	26
Distancia recorridas (km)	150	4169	672	116	3656	1975

<sup>p</sup> Producto seco  
Resultados según datos de las empresas 1 a 07 y 11 a 15.

La misma situación se produce en el transporte entre unidades de procesamiento (TEPC), donde la distancia es el principal factor que afecta el consumo de diesel (Tab. 5. 10). En el procesamiento 2, los insumos energéticos son menores debido al tipo de actividad, que solo es el acabado de la madera aserrada bruta (Tab. 5. 11).

**Tab. 5. 10 - Consumo de combustible y distancia recorrida en el transporte entre unidades de procesamiento (TEPC)**

	Plantada <sup>1</sup>			Nativa		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
Consumo de diesel (L/t <sub>p</sub> )	16,1	28,4	19,7	2,5	103,1	32,1
Factor de consumo (L/t.km)	0,012	0,021	0,015	0,005	0,035	0,013
Carga transportada (t <sub>p</sub> )	12	28	20	12	28	22
Distancia recorridas (km)	-	-	1350	500	3509	2451

<sup>1</sup> Datos de una empresa solamente.  
<sup>p</sup> Producto seco.  
Resultados según datos de las empresas 5 y de 16 a 19.

**Tab. 5. 11 - Consumo de combustible en el procesamiento 2 (PC2)**

	Plantada			Nativa <sup>1</sup>		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
<b>Producto acabado</b>						
Energía eléctrica (kWh/t <sub>pa</sub> )	-	-	-	46,0	145,7	62,9
Diesel (L/t <sub>pa</sub> )	-	-	-	0,0	20,8	1,3
GLP (L/t <sub>pa</sub> )	-	-	-	0,0	3,2	0,0

<sup>1</sup> Una de las empresas también procesa madera plantada (eucalipto).  
<sup>pa</sup> Producto acabado seco.  
Resultados según datos de las empresas 16 a 19.

### 5.3.1.2 Residuos

La producción total de residuos<sup>11</sup> desde la fase previa a la extracción hasta el procesamiento 1 varía entre cerca de una y seis toneladas de residuos por tonelada de producto producido (mediana de 2  $t_{\text{residuos}}/t_{\text{producto}}$ ) en el sistema de madera plantada, mientras que para la madera nativa este valor varía entre tres y veinticinco toneladas de residuos por tonelada de producto (mediana de 9  $t_{\text{residuos}}/t_{\text{producto}}$ ). Solo el procesamiento 2 genera cerca de dos y nueve toneladas de residuos por tonelada de producto (medianas) en los sistemas plantado y nativo, respectivamente. La producción de residuos por fase se caracteriza según la siguiente tabla (Tab. 5. 12):

**Tab. 5. 12 - Producción de residuos en el proceso, desde la etapa previa a la extracción hasta el procesamiento (1 y 2)**

	Plantada			Nativa		
	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana
<b>Residuos (<math>t_{\text{residuo}}/t_{\text{producto}}</math>)</b>						
Actividades forestales	0,2	2,1	0,6	2,3	21,2	7,2
Procesamiento 1	0,9	3,8	1,5	0,7	3,4	1,9
<b>Total en el PC1</b>	<b>1,1</b>	<b>5,9</b>	<b>2,0</b>	<b>2,9</b>	<b>24,6</b>	<b>9,1</b>
Procesamiento 2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
<b>Total en el PC2</b>	<b>1,3</b>	<b>6,2</b>	<b>2,3</b>	<b>3,1</b>	<b>24,9</b>	<b>9,3</b>

Resultados según datos de todas las empresas excepto 8, 9 y 10.

La gran diferencia en la generación de residuos se produce en la fase de extracción de la madera, en función del ambiente en se encuentra el árbol que se va a cortar. La foresta tropical húmeda se caracteriza por una enorme cantidad de biomasa que se destruirá cuando se extraiga la madera nativa comercial. En la extracción selectiva convencional, la apertura de vías, necesaria para el transporte de la producción, la creación de patios de almacenaje y la propia caída del tronco destruyen una considerable cantidad de biomasa, desde 1,4 hasta 4,8 toneladas de residuo por tonelada de tronco extraído [20]. Esto no ocurre en plantaciones, pues prácticamente no existe biomasa circundante al árbol, las vías de acceso están proyectadas y muchas veces también sirven de lugar de almacenaje.

Además, los residuos del árbol (ramas y hojas) que se dejan en el lugar de extracción son diferentes entre los sistemas, pues dependen de las características morfológicas de cada especie (Fig. 5. 9, Fig. 5. 10). Del 3% al 30% (mediana del 15%) del árbol plantado se rechaza en la extracción, y del 15% al 70% (mediana del 50%) del árbol nativo se desaprovecha. Esto ocurre porque los arboles tropicales tienen un mayor tamaño, las copas son más anchas, mientras que los árboles exóticos plantados se cuidan para que tengan menos ramas y se extraen con un menor tamaño.

<sup>11</sup> Resultados por empresa en el apéndice de este capítulo.



**Pino del Paraná** (*Araucaria angustifolia*)

Fuente de la ilustración: [106]



**Sapucaia** (*Lecythis pisonis*)

Fuente de la ilustración: [106]

**Fig. 5.9 – Ejemplo ilustrativo de diferencias morfológicas entre diferentes especies<sup>12</sup>**



**Residuos generados en la extracción de madera en el sistema plantado**

Fuente de la ilustración: archivo del autor y cedido por la empresa 8, respectivamente.



<sup>12</sup> Las imágenes son ilustrativas y sirven solamente para mostrar la diferencia morfológica entre las especies. La forma del árbol (tamaño de la copa, altura) también depende del ambiente en el que se desarrollan.



**Residuos generados en la extracción de madera nativa**

Fuente de la ilustración: [107]

**Fig. 5.10 - Comparación entre los residuos producidos en la extracción de madera nativa y plantada**

En el procesamiento 1, que transforma el tronco en producto final<sup>13</sup>, la producción de residuos entre las empresas que trabajan con maderas nativas y plantadas es más similar, del 45% al 79% (mediana del 50%) se convierte en residuo en SP, y del 40% al 78% (mediana del 65%), en el SN. Sin embargo, las empresas del SP reutilizan más sus residuos, del 32% (mediana) al 51% de los residuos se reinvierte en del sistema como insumo para la estufa. Las empresas del SN reutilizan menos cantidad de residuos, cerca del 2,8% (mediana). Esto porque el uso de estufa es menos común.

En Brasil, se hallaron valores de producción de residuos entre el 27% y el 82%<sup>14</sup> (promedios entre el 40% y el 60%, aproximadamente) en el procesamiento primario de la madera [108][109][110][111][112]. En Estados Unidos, el procesamiento del tronco puede generar cerca del 47% y del 39% de residuos para la producción de madera aserrada bruta (blanda y dura, respectivamente); o entre el 58% (madera blanda) y el 54% (madera dura) para la conversión del tronco en madera aserrada aplanada [113][114].

<sup>13</sup> Los principales productos finales del procesamiento 1 son madera aserrada bruta y aplanada; pero hay empresas de la muestra que en la misma planta también manufacturan marcos, batientes, paneles (laminados, contrachapados, laminado encolado), puertas y pallets (empresas que trabajan con madera plantada) y piezas para suelos, paredes, falso techo, panel (laminado encolado) (empresas que trabajan con madera nativa). Estos fueron considerados “otros productos” finales, pues no se han podido separar los datos de la producción por tipo de producto.

<sup>14</sup> Según Souza (2007) [108], el rendimiento en el desdoblado del eucalipto para la producción de madera serrada bruta fue entre el 37% y el 38% (producción de residuos entre el 62% y el 63%). Según Schuch (2008) [109], el rendimiento en el desdoblado de la jacatirão-açu (*Miconia cinnamomifolia*) fue entre el 18% y el 73% (promedio del 42%) (producción de residuos entre el 27% y el 82%, promedio del 58%). Según Oliveira (2003) [110], el rendimiento en el desdoblado del tronco de varias especies para productos aserrados de calidad fue entre el 28% y el 72%, promedio del 49% (producción de residuos entre el 28% y el 72%, promedio del 51%). Según Ferreira (2004) [111], el rendimiento resultante del desdoblado del tronco del eucalipto para la producción de madera aserrada fue del 48% y el 52% (producción de residuos entre el 52% y el 48%). Según Biasi (2007) [112], el rendimiento promedio en el desdoblado del tronco para madera aserrada de especies nativas fue entre el 57% y el 62% (promedio del 60%) (producción de residuos entre el 38% y el 43%, promedio del 40%).





**Residuos de madera resultantes del procesamiento**

Fuente de la ilustración: [107], archivo del autor, [115], [116], respectivamente.



**Residuos vendidos.**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Residuos aprovechados, reutilizados dentro del sistema.**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Residuos sin aprovechamiento**

Fuente de la ilustración: archivo del autor



**Residuos sin aprovechamiento**

Fuente de la ilustración: archivo del autor

**Fig. 5. 11 – Destino de los residuos de madera provenientes del procesamiento 1**

El porcentaje de pérdidas, además de estar relacionado con la tecnología utilizada y la relación entre el valor del producto y los posibles coproductos, es parte inherente a la transformación del tronco, de forma cilíndrica e irregular, en producto, de formas regulares (Fig. 5. 12) y, por lo tanto, el rendimiento depende de la longitud y diámetro del tronco [117] y forma en la sección transversal. Según un análisis puramente geométrico, el porcentaje de aprovechamiento varía entre el 30% y el 80% [117][118][119][108]. En la fase de acabado, que convierte la pieza regular en otras más trabajadas y con utilidades definidas (como pieza macho-hembra, por ejemplo), hay otra pérdida de material, entre el 18% y el 23% del producto bruto se convierte en residuo en el PC2.



Fuente de la ilustración: [39]

**Fig. 5. 12 – Figura ilustrativa del aprovechamiento de la madera<sup>15</sup>**

El destino de los residuos dependerá del valor comercial. Si es inexistente, los residuos se degradan en los patios de las empresas o son quemados, pero si existe valor económico, se vende como insumo energético a terceros o como cama para animales en establos y granjas avícolas. El destino comercial puede depender del lugar de ubicación de la empresa, su logística y la distancia con los posibles consumidores.

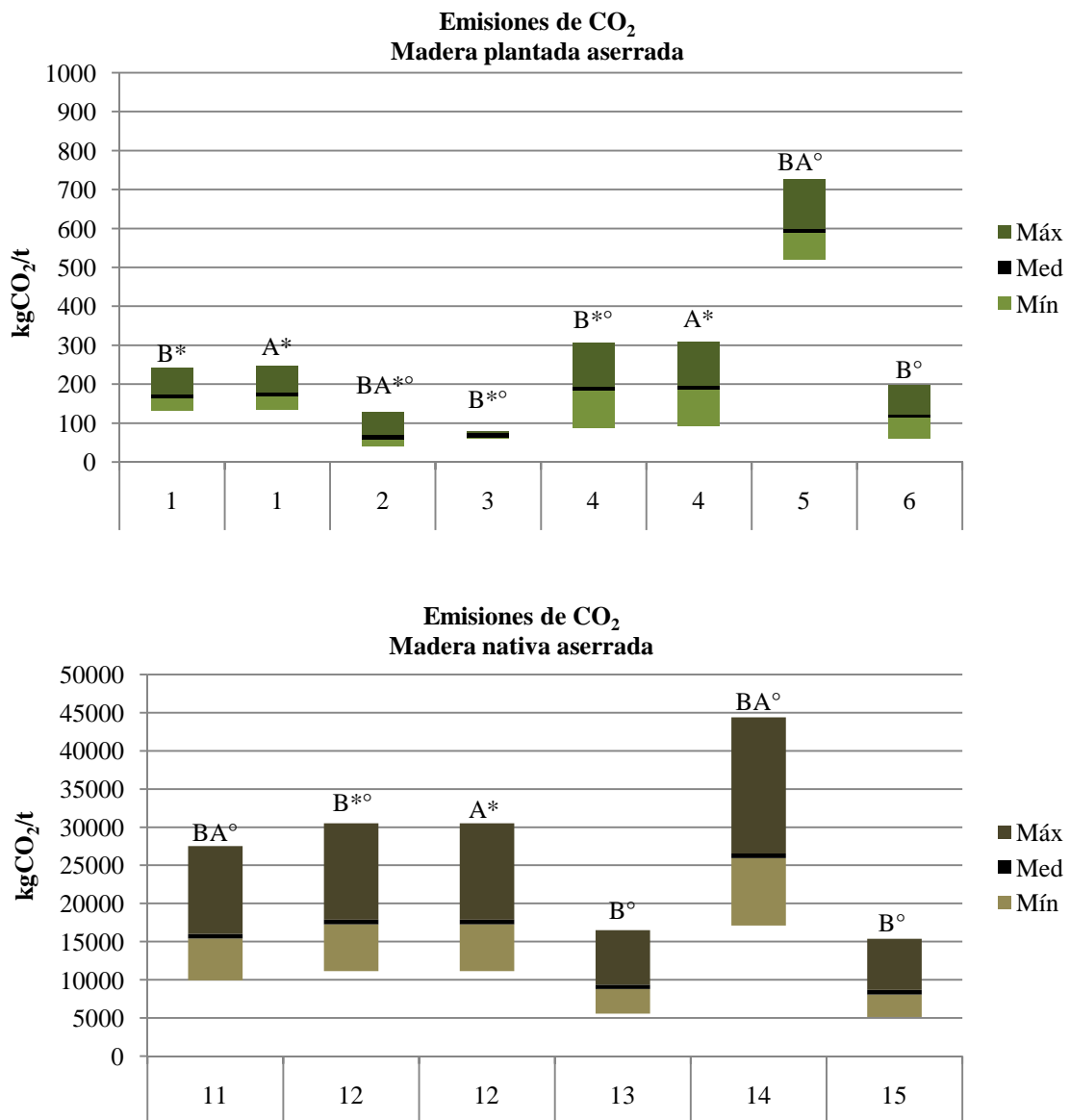
### **5.3.2 Emisiones de dióxido de carbono**

La descomposición o quema de los residuos son la causa principal de emisión de dióxido de carbono en el sistema estudiado. Del 96,7% al 99,8% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sistema de producción de madera aserrada nativa se refieren a los residuos. Si los residuos de madera plantada no se consideran carbono neutro, el porcentaje sería semejante, del 87,9% al 98,7% de las emisiones provendría de la misma fuente. Sin embargo, como los residuos de madera plantada se consideran neutros en carbono, las emisiones de CO<sub>2</sub> del SP presentados en este estudio se refieren a la quema de combustibles.

---

<sup>15</sup> La figura es ilustrativa y representa un aprovechamiento óptimo que todavía no es posible con la tecnología actual.

En la producción de madera aserrada nativa, del 77% al 87% (mediana del 79%) de las emisiones se refieren a la fase de obtención de la materia prima (etapa previa a la extracción y extracción) (Gráf. 5. 4), debido a la generación de grandes cantidades de residuos que se convierten en emisiones de CO<sub>2</sub> (y otros gases). Esto hace que los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de producto sean tres órdenes de magnitudes mayores que los productos de madera plantada. Una tonelada seca de madera aserrada nativa **en la puerta del consumidor** emite de 5.135 a 44.394 kgCO<sub>2</sub> (mediana de 16.263 kgCO<sub>2</sub>), mientras que de madera plantada emite de 41 a 726 kgCO<sub>2</sub> (mediana de 155 kgCO<sub>2</sub>) (Gráf. 5. 3).



Leyenda de los códigos: B = bruta, A= aplanada, \* = secada en estufa, ° = secada al aire

Gráf. 5. 3 - Emisiones de dióxido de carbono de una tonelada seca de madera aserrada (en la puerta del consumidor)

En el Gráf. 5. 3 se presentan los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> por empresa. En el SP la empresa 5 produce más emisiones debido al consumo de diesel. Al contrario que otras empresas que emplean una mezcla mayor de combustibles durante el proceso, la empresa 5 solo utiliza diesel. Este puede emitir más dióxido de carbono por unidad de energía que un gas licuado de petróleo, por ejemplo, (que habitualmente se utiliza en la carretilla elevadora). En esta empresa se utiliza el diesel para la carretilla elevadora, los camiones, la cargadera, los *munchs*, la motosierras, así como para los vehículos del personal. En esta única empresa, no se pudo separar el consumo<sup>16</sup> de los vehículos del personal porque las informaciones primarias no fueron suficientemente detalladas, por lo que este elemento puede ser la causa de la diferencia a más en el cálculo de las emisiones. Dentro del límite empleado en este estudio, el valor de emisión máximo referente a la empresa 5 debería tomarse con reservas debido a esta diferencia de medición. No obstante, si se amplía el alcance del sistema evaluado, podría aceptarse el valor. Por esta razón, no se descartó el resultado de la empresa 5. En contrapartida, las empresas 2, 3 y 6 tuvieron las menores emisiones de CO<sub>2</sub> debido al menor consumo de energía en el procesamiento (principalmente diesel y biomasa). No se pudieron evaluar las causas.

En el SN, la mayor emisión se refiere a la empresa 14 debido a la generación de residuos en el procesamiento del tronco (PC1). En el aserradero se utilizan cerca de 4,4 toneladas de tronco para producir una tonelada de producto (generación de  $3,4 \text{ t}_{\text{residuo}}/\text{t}_{\text{producto}}$ ), mientras que en las otras empresas del SN se utilizan entre 1,7 y 3,0 toneladas de troncos por cada tonelada de producto resultante. Entre las empresas, no varía muchos los tipos de productos<sup>17</sup>. La singularidad de este consumo de madera puede estar relacionada con el destino de los residuos, que en el caso de la empresa 14 se envían a una termoeléctrica, que además de generar calor para las estufas produce electricidad para la población local. Esta es la única empresa del SN que declaró que aprovecha (retirándolos de la foresta) los residuos de extracción. Entre las demás empresas, o no tienen permiso del organismo ambiental para retirar los residuos de extracción de la foresta o no logran comercializar los restos de la producción.

Además, para el sistema nativo, el valor máximo de emisión de CO<sub>2</sub> es el de la peor situación, es decir, de la suma de la máxima emisión en la fase de extracción con la máxima emisión encontrada entre los procesamientos (además del transporte). El valor mínimo es el inverso. Las empresas que presentaron unas menores emisiones de CO<sub>2</sub> en el SN fueron las que

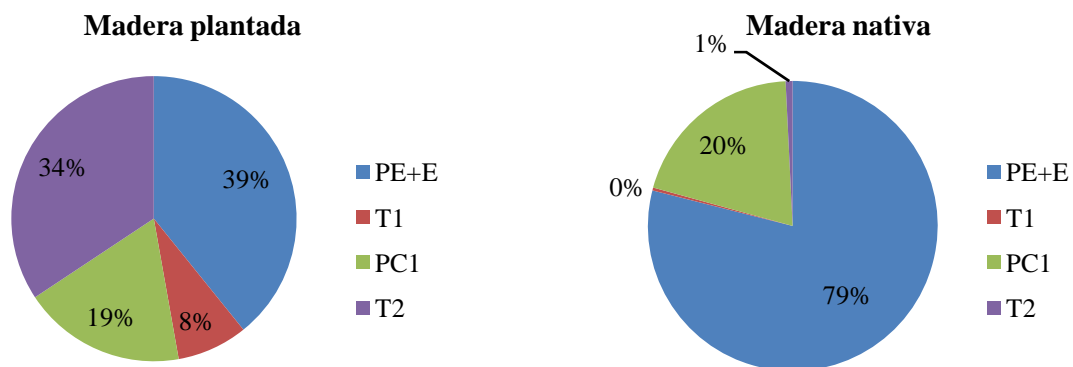
---

<sup>16</sup> Considerado desde la extracción hasta la industria.

<sup>17</sup> Los productos son aserrados brutos y aplanados; excepto la empresa 13 que además de estos también produce suelo, *deck*, piezas para paredes (que son piezas aserradas acabadas) y panel laminado encolado (que es madera aserrada encolada) y la empresa 12 que produce además aserrados, falso techo y paredes (que son piezas aserradas acabadas).

producían menos residuos en el procesamiento; que combinado con valor de menor producción de restos en la extracción (obtenido de la literatura) tuvieron como resultado el índice más bajo.

En el sistema plantado, gran parte de las emisiones se concentran en el transporte hasta el consumidor, cerca del 34% (mediana) de las emisiones, debido al suministro no solo al principal mercado consumidor en el sureste, sino también a todas las otras regiones de Brasil. Mientras que en el sistema nativo, la mayor parte es en la extracción (PE+E), debido al volumen considerable de producción de residuos entre 1,4 y 4,8 tonelada de biomasa destruida por tonelada de tronco extraído[20] (Gráf. 5. 4).



Leyenda de los códigos: PE+E = pre-extracción y extracción, T1 = transporte desde la plantación/selva hasta el procesamiento 1, PC1 = procesamiento, T2 = transporte hasta el consumidor.

**Gráf. 5. 4 - Distribución porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> por fase del proceso analizado (basado en los valores medianos)**

Sin tener en consideración el transporte al consumidor, **en la puerta de la industria**<sup>18</sup> una tonelada de madera aserrada plantada emite desde 32 hasta 559 kgCO<sub>2</sub> (mediana de 92 kgCO<sub>2</sub>/t), y de madera nativa desde 5.017 hasta 44.382 kgCO<sub>2</sub>/t (mediana de 16.149 kgCO<sub>2</sub>/t). A los productos que pasan por un segundo procesamiento (PC2) (ruta alternativa), se les deben sumar las emisiones del transporte entre unidades (TEPC), las emisiones de las operaciones de acabado (PC2) y el transporte hasta el consumidor (T2). Estas tres fases emiten desde 431 hasta 824 kg/CO<sub>2</sub> (mediana de 685 kgCO<sub>2</sub>/t) por tonelada seca de producto acabado.

En la Fig. 5. 13 se presentan los porcentajes<sup>19</sup> de emisiones de CO<sub>2</sub>/t producto seco, con y sin el procesamiento 2, para madera aserrada bruta y aplanada, por fase, en la puerta de la industria y del consumidor. Las emisiones de otros productos se adjuntan a este capítulo.

<sup>18</sup> Los valores extremos y medianos se refieren a la mínima, máxima y mediana de los resultados de todas las empresas del muestreo (del sistema nativo y plantado por separado).

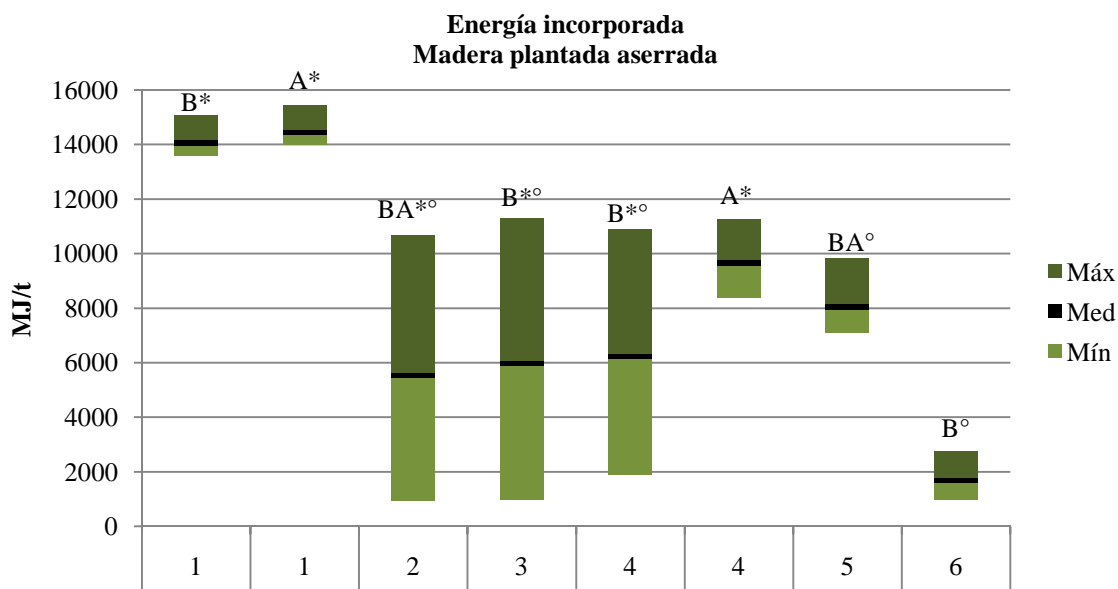
<sup>19</sup> Los valores extremos y sus porcentajes se refieren a la empresa que presentó la menor emisión y a la empresa que presentó la mayor emisión, siendo que el valor mediano y sus porcentajes se refieren a la mediana de los resultados de todas las empresas del muestreo (del sistema nativo y plantado por separado). Esta distinción por empresa en los casos mínimos y máximos se hizo para que los porcentajes relativos a cada fase fueran fieles al resultado encontrado.

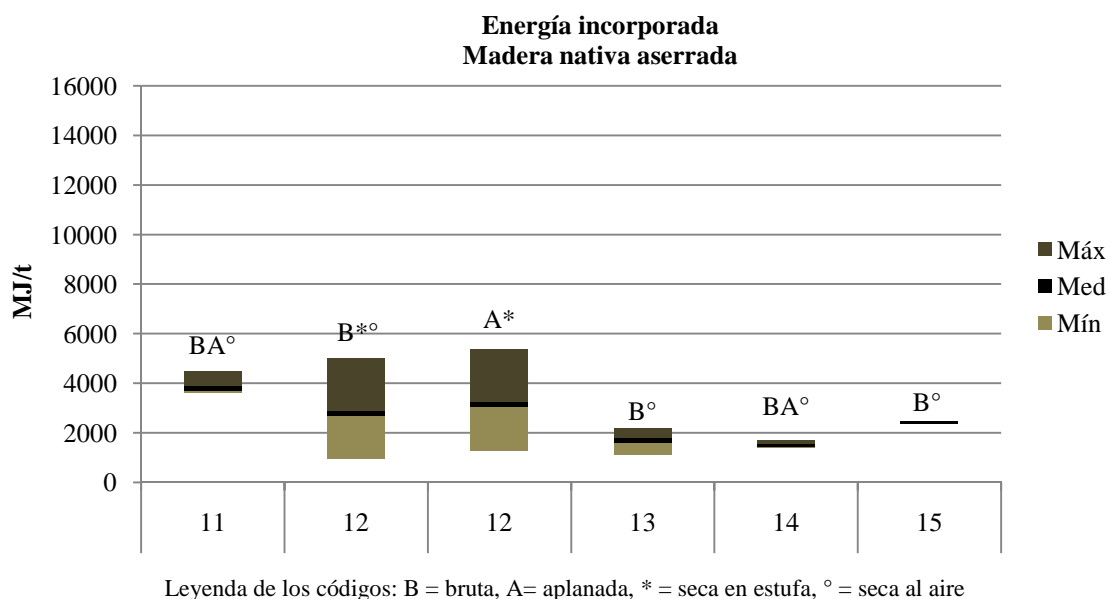
<u>Emisión de CO<sub>2</sub></u>		Fases de proceso				Total (kgCO <sub>2</sub> /t)
		PE + E	T1	PC1	T2	
<b>Madera plantada</b>						
Mín.		46,1%	9,4%	23,3%	21,1%	41
Máx.		11,3%	2,8%	63,0%	23,0%	726
Med.		39,0%	7,8%	18,3%	34,1%	155
<b>Madera nativa</b>						
Mín.		78,7%	0,6%	18,4%	2,3%	5.135
Máx.		86,0%	0,1%	14,0%	0,0%	44.394
Med.		78,6%	0,1%	19,7%	0,6%	16.263

Fig. 5. 13 - Distribución porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada seca de madera aserrada, por fase del proceso dentro del alcance (ruta principal del estudio)

### 5.3.3 Energía incorporada

La energía incorporada **en la puerta del consumidor**, varió desde 945 hasta 15.451 MJ/t (mediana de 9.062 MJ/t), de madera aserrada plantada, y desde 948 hasta 5.357 MJ/t (mediana de 2.474 MJ/t), de madera aserrada nativa. Los valores más altos, tanto para la madera aserrada plantada como para la nativa, se refieren a los productos secados en estufa, y los más bajos, a los secados al aire (Gráf. 5. 5).



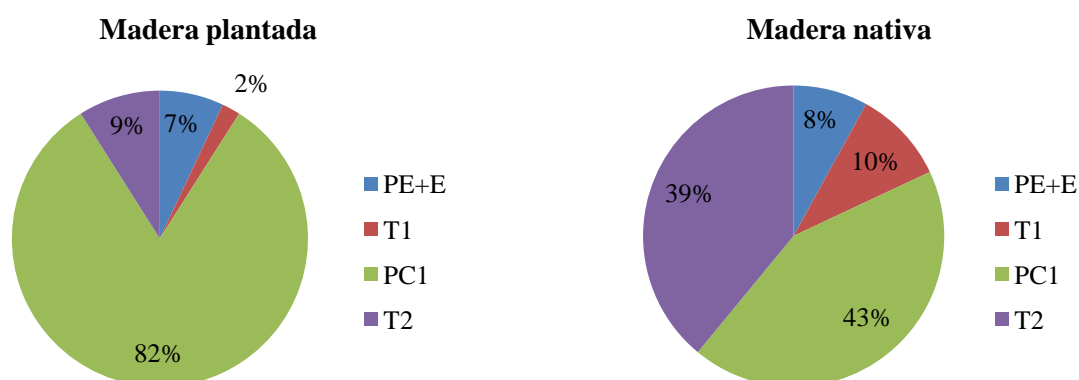


**Gráf. 5. 5 - Energía incorporada en una tonelada seca de madera aserrada (en la puerta del consumidor)**

La empresa 1 del SP presentó un mayor consumo de energía por producto seco, pues utiliza biomasa con un alto contenido de humedad (entre el 60% y el 64%) en las estufas, con lo que pierde eficiencia en el proceso. El tipo de estufa también influye. Así, en la planta había dos tipos de estufas y las más antiguas aumentaban cerca de un 60% la cantidad de horas del proceso de secado, lo que genera un mayor consumo energético. En el sistema nativo, no hubo diferencias extremas entre los resultados de las empresas.

La energía se incorpora en gran parte durante el procesamiento 1. Cerca del 82% de la energía total del sistema plantado estudiado está en la fase de procesamiento 1 y cerca del 43% en la misma fase en el SN (Gráf. 5. 6). El 66% de las empresas del SP tenían como principal fuente energética la biomasa, que suministra entre el 73% y el 97% del total energético en el procesamiento 1. Aquellas que no emplean biomasa utilizan mayoritariamente electricidad y diesel en las operaciones de esta fase. En el SN, el 80% de las empresas utilizan biomasa en la mezcla energética (aunque en poca cantidad), de forma que este insumo suministra del 48% al 79% de la energía consumida en el PC1.

En el sistema nativo, el transporte hasta el consumidor consume cerca del 39% de la energía (Gráf. 5. 6), debido a las distancias existentes entre el PC1 (norte) y el mercado consumidor (sureste). Las distancias variaron de 116 a 3.656 km (mediana de 1.975 km) en el SN, pero otro estudio muestra que la distancia promedio para este recorrido es de 1.956 km [61]. En el sistema plantado, la mediana de la distancia hasta el consumidor fue de 672 km, variando entre 150 y 4.169 km.



Leyenda: PE+E = etapa previa a la extracción y extracción, T1 = transporte desde la plantación/selva hasta el procesamiento 1, PC1 = procesamiento, T2 = transporte hasta el consumidor.

**Gráf. 5. 6 - Distribución porcentual de la energía utilizada en cada fase del proceso analizado (basado en los valores medianos)**

Aunque las distancias en el último recorrido del proceso son considerables, el mayor porcentaje de energía en SP está en el PC1, debido al uso de estufa. Este normalmente se usa para secar la madera, que es ligera y muy susceptible a ataques de hongos y termitas, de forma que el secado es parte del tratamiento conservante de la madera. Para el funcionamiento de la estufa se utiliza biomasa (residuos de madera), que en muchos casos no está seca ni en su mejor potencial energético. El contenido de humedad de los residuos de cada empresa es diferente. Cuando está húmedo, su poder calorífico disminuye y la estufa es menos eficiente.

Desconsiderando el transporte hasta el consumidor, la energía incorporada en **la puerta de la industria**<sup>20</sup> disminuye hasta aproximadamente 7.868 MJ/t de madera aserrada plantada (varía entre 729 y 14.944 MJ/t); y desde 786 hasta 3.307 MJ/t (mediana de 1.379 MJ/t), para la madera nativa. Para los productos que son procesados de nuevo en un lugar diferente (PC2), se deben sumar de 568 a 5.155 MJ/t (mediana de 2.750 MJ/t), correspondientes a la energía gastada en el transporte entre locales de procesamiento (TEPC), el procesamiento 2 (PC2) y el transporte hasta el consumidor (T2).

La energía consumida (como, las emisiones de CO<sub>2</sub>) está asignada al producto, pues, se entiende que este es el elemento generador de la actividad y responsable de todos los impactos del proceso. Si se utilizara otro tipo de asignación, como, por ejemplo, por masa, los valores de energía incorporada disminuirían considerablemente, ya que la producción de residuos es alta. Como ejemplo se toma la empresa 1, que tiene 14.161 MJ/t (mediana) de energía incorporada a la madera aserrada bruta (bajo la asignación del producto), si esta fuera asignada por masa, la

<sup>20</sup> Los valores extremos y medianos se refieren a la mínima, máxima y mediana de los resultados de todas las empresas del muestreo (del sistema nativo y plantado por separado).



energía incorporada disminuiría a 2.974 MJ/t de madera aserrada bruta, variando en un orden de magnitud.

En la Fig. 5. 14 se presentan los porcentajes<sup>21</sup> de energía incorporada por tonelada seca de producto, con y sin el procesamiento 2, para madera aserrada bruta y aplanada, por fase, en la puerta de la industria y del consumidor. Las energías incorporadas de otros productos se adjuntan a este capítulo.

<u>Energía incorporada</u>	Fases de proceso				Total (MJ/t)
	PE + E	T1	PC1	T2	
<b>Madera plantada</b>					
Mín.	26,3%	5,4%	56,3%	12,0%	945
Máx.	10,9%	2,6%	83,2%	3,3%	15.451
Med.	7,6%	2,3%	82,1%	8,7%	9.062
<b>Madera nativa</b>					
Mín.	28,3%	10,2%	59,3%	2,2%	948
Máx.	5,8%	1,9%	54,1%	38,3%	5.357
Med.	8,3%	10,3%	43,9%	39,8%	2.474

**Fig. 5. 14 - Distribución porcentual de la energía incorporada por tonelada seca de madera aserrada, por fase del proceso dentro del alcance (ruta principal del estudio)**

### 5.3.4 Normalización de los resultados de emisión de CO<sub>2</sub> y energía incorporada

El muestreo puso de manifiesto en los resultados por empresas que debido a diferencias tecnológicas, tamaño, maquinaria, tipos de combustibles empleados, distancias recorridas (parámetros que varían caso por caso) que productos con un menor procesamiento, como la madera aserrada, pueden presentar resultados más altos que productos más procesados como, por ejemplo, la madera acabada. Hay empresas con mayor desempeño en el proceso productivo que consiguen ofrecer productos más procesados con menores índices de EI y CO<sub>2</sub> que otras que trabajan con menor eficiencia y ponen en el mercado productos menos procesados con mayores impactos.

Dentro de la perspectiva que un material menos procesado debería presentar valores más bajos de EI y CO<sub>2</sub> que materiales más procesados, se propuso una suavización de las diferencias encontradas entre las empresas de la muestra. Partiendo de los valores de EI y de emisión de CO<sub>2</sub> encontrados en la puerta **de la industria**, se demarcaron los extremos de la

<sup>21</sup> Los valores extremos y sus porcentajes se refieren a la empresa que presentó la menor emisión y la empresa que presentó la mayor emisión, de forma que el valor mediano y sus porcentajes se refieren a la mediana de los resultados de todas empresas del muestreo (del sistema nativo y plantado por separado). Esta distinción por empresa en los casos mínimos y máximos se hizo para que los porcentajes referentes a cada fase fueran fieles al resultado obtenido.

franja de variación buscando preservar los resultados originales dentro de la lógica propuesta. El resultado de este ejercicio se presenta en la Tab. 5. 13 y se utilizaron en las estimaciones del capítulo siguiente.

**Tab. 5. 13 – Resultados regularizados de emisión de CO<sub>2</sub> y energía incorporada de productos de madera en la puerta de la industria**

	Emisión de CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /t)			
	Plantada		Nativa	
	Madera aserrada bruta y aplanada	Madera acabada <sup>1</sup>	Madera aserrada bruta y aplanada	Madera acabada <sup>1</sup>
Mín.	<b>32</b>	137	<b>5.017</b>	5.381
Máx.	559	<b>697</b>	44.382	<b>45.164</b>
Med.	92	196	16.149	13.056

	Energía incorporada (M J/t)			
	Plantada		Nativa	
	Madera aserrada bruta y aplanada	Madera acabada <sup>1</sup>	Madera aserrada bruta y aplanada	Madera acabada <sup>1</sup>
Mín.	<b>729</b>	1.135	<b>786</b>	1.191
Máx.	14.944	<b>18.830</b>	3.307	<b>7.194</b>
Med.	7.868	12.709	1.379	3.299

<sup>1</sup> Madera acabada tanto procesada en el PC1 como en el PC2 (en este caso se suma el transporte hasta el lugar del procesamiento secundario). Los productos acabados se refieren a piezas para pared, piso y falso techo.

## 5.4 Discusión

### 5.4.1 Residuos

Los residuos han sido el mayor problema del sistema de manufactura de productos de madera. El aprovechamiento de la materia prima es bajo, pues varía entre el 21% y el 60% en el primer procesamiento, y la generación de residuos en la fase de extracción de madera nativa es considerable. Para producir una tonelada de madera aserrada se produce de 1,1 a 5,9 (mediana de 2,0) toneladas de residuos en el SP y de 2,9 a 24,6 (mediana de 9,1) toneladas en el SN.

Sin embargo, hay unas pérdidas inherentes al proceso, al convertirse un tronco de formas irregulares en objetos regulares, y otras que son innatas al material, como la existencia de vacíos y agrietamientos. Algunas hendiduras se producen durante el derrumbe del árbol. En el manejo, donde el árbol debe caer hacia el lado con menos biomasa para causar menos daños, las pérdidas por agrietamientos generados por el impacto del árbol contra el suelo, pueden llegar al 20% de la madera extraída [120]. Así, por ejemplo, en un aserradero integrado los residuos podrían aprovecharse para producir energía.

La reducción de los residuos depende de diversas variables que, a veces, no son manejables, por lo que su destino debe considerarse una herramienta para minimizar los impactos globales. Algunas de las decisiones que podrían disminuir la presión sobre el medio ambiente nativo y aumentar las reservas de carbono serían: la reutilización o reciclaje de los

residuos en los procesos industriales u otros y la aplicación las maderas nobles (duras, de crecimiento más lento) a usos con ciclo de vida más largo y de mayor valor añadido.

También debe tenerse en cuenta el destino de los residuos. Hay empresas que logran dar un destino comercial a los residuos, que venden como combustibles o insumos para cama de animales en establos y granjas avícolas. Esto añade valor al residuo, convirtiéndolo en coproducto debido a las ganancias que genera, en algunos casos es una parte importante de la facturación de la empresa. No obstante, hay compañías que no consiguen dar un destino comercial a sus residuos, por no tener capacidad para invertir en tecnología que sirva para aprovecharlos dentro de su propio sistema de producción, por no conseguir un valor de mercado para su venta como insumo o por la falta de clientes. En Estados Unidos y Canadá, un estudio sobre los residuos de la producción de aserraderos (2006) constató que el 95% de los restos de madera (plaquetas) se destinaron a pulpa y las virutas y serrín se utilizaron para producción de tableros (59%), como combustibles (25%), cama de animales (7%) y solo al 5% no se le dio ningún destino [121].

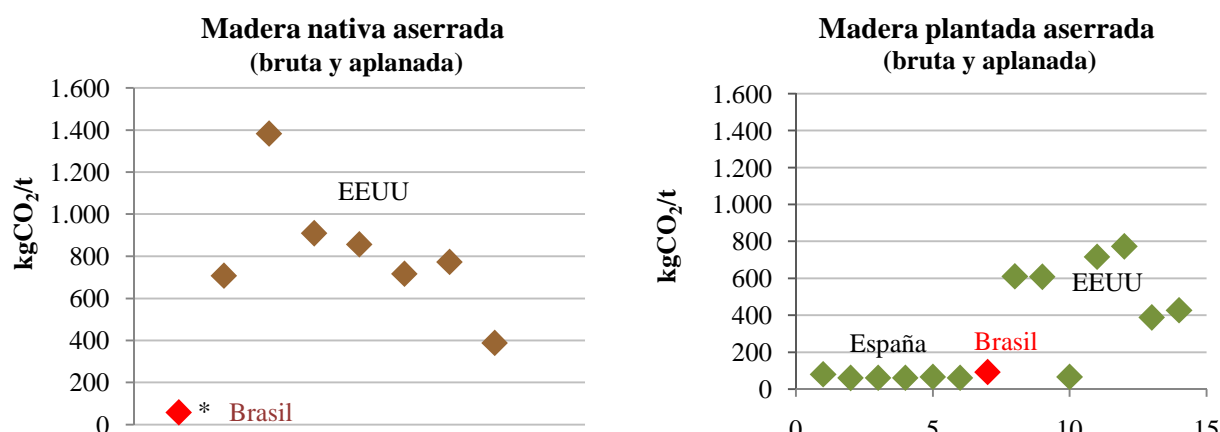
En el muestreo hubo dos ejemplos diferentes de destino de residuos. La empresa 1 (localizada al sur), tiene mercado para sus residuos y es una de las pocas suministradoras de este insumo en la región, así, consigue un valor por encima del mercado, lo que hace que los residuos sean una fuente de renta importante para sus actividades. Por el contrario, la empresa 13 (situada al norte), además de no tener licencia del organismo fiscalizador para el extraer los restos de madera de la foresta, está situada en una zona de actividad maderera y sus residuos no tienen mercado, pues transportarlos hasta lugares donde haya consumidores no es económicamente viable. A pesar de utilizar sus residuos como combustible, no es capaz de consumir todos los desechos generados, que se descomponen en el patio de la empresa.

Por lo tanto, para los productores dar un destino útil a los residuos es una dificultad, cuya solución depende de tecnología, el crédito y la política pública.

#### **5.4.2 Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Para este trabajo se han estimado tan solo las emisiones de CO<sub>2</sub>, cuyo resultado fue de 16 tCO<sub>2</sub> (mediana) por tonelada seca de madera nativa aserrada: tres órdenes de magnitud mayor que referencias internacionales, que no consideran las emisiones causadas por la destrucción de la biomasa (Gráf. 5. 7). Comparar los resultados de ACV es difícil, pues existen diferencias en las definiciones del alcance del estudio, factores de emisión, etc. En el siguiente gráfico se puede percibir como afecta desconsiderar los residuos de madera provenientes de la destrucción de la

selva o considerarlos como carbono neutro. (Datos complementarios al Gráf. 5. 7 en tabla adjunta)



Legenda: marrón = referencias internacionales para madera nativa; verde = referencias internacionales para madera plantada, rojo = resultado nacional.

\* Si los residuos de madera fueran considerados carbono neutro.

**Gráf. 5. 7 - Resultados nacionales e internacionales de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la madera aserrada (bruta y aplanada)**

Estas diferencias podrían ser mayores si se suman otros gases, como el metano, que no se tuvieron en cuenta debido a incertidumbres y cambios de las variables que interfieren en la descomposición de la madera como el régimen de lluvias, la variación de temperatura, la humedad relativa, la densidad de la selva, la altura y cantidad de residuos, el porcentaje de masa en descomposición anaeróbica o aeróbica, el tipo de suelo, los organismos existentes y la presencia de quema, entre otros.

Productos provenientes de forestas de climas templados o fríos, donde predominan las coníferas, prácticamente no tienen biomasa alrededor del árbol en comparación con selvas tropicales húmedas. Por ello, las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la extracción de la madera son más bajas. Lo mismo sucede en plantaciones de árboles, donde las emisiones en esta fase son prácticamente nulas. De esta manera, los productos que utilizan madera de selva tropical nativa son aproximadamente cien veces más emitentes que los productos que utilizan madera plantada. Así, los productos de madera tropical deberían durar como mínimo cien veces más, para que al final de la vida útil las emisiones por unidad funcional fueran equivalentes. La madera plantada aserrada (en la puerta del aserradero) emite de 32 a 559 kg/CO<sub>2</sub> por tonelada de producto seco (mediana de 92 kgCO<sub>2</sub>/t), pues además de prácticamente no tener emisiones provenientes de destrucción de biomasa de foresta, también había residuos del proceso considerados carbono neutro.

Tan solo se utilizó el concepto de carbono neutro (*carbón neutral*) para las plantaciones porque el ciclo de vida analizado empezó en el año cero con la producción de semillas o

plántulas y finalizó con la extracción de la madera para el procesamiento, en un tiempo aproximado de veinte años. Dentro de este periodo, no se pueden evaluar los consecuentes cambios en las emisiones por los distintos usos del suelo o los sucesivos ciclos de plantío, por ejemplo. Si se amplía el alcance, podrían analizarse otros factores influyentes como: a) el incremento de las emisiones de carbono por la supresión de la selva nativa para la creación de zonas de para silvicultura; b) el incremento de las emisiones de carbono por la supresión de la selva nativa para la apertura de zonas para ganado y monocultivo que se extienden sobre nuevos territorios por la presión que ejercen las ampliaciones de zonas de silvicultura; c) la disminución de emisiones por posibles incorporaciones de carbono resultantes de la silvicultura en zonas degradadas, entre otras situaciones. No se tuvieron en cuenta en este estudio estas consecuencias, ni el carbono bajo suelo, pero podrían variar los resultados según el modo de análisis y deberían considerarse en estudios holísticos.

El concepto de fuente de carbono (*carbon source*) se aplicó a la madera nativa, pues para tener un ciclo de vida equivalente al de la madera plantada, el inicio no estaría en la formación de la selva tropical nativa, sino, en la selva ya consolidada con unas reservas de carbono prácticamente estables (que pueden incorporar carbono [57]). El tipo de extracción de la madera interfiere en la decisión de este concepto. En la práctica, la extracción de madera en Brasil es selectiva convencional, sin planificación, y la retirada de la madera comercial precede las quemas para la apertura de zonas para la ganadería seguida de plantaciones de monocultivos [122][123][124]. De esta forma, tras la extracción, si no se regenera la biomasa de la selva, el carbono que estaba almacenado en la foresta es liberado a la atmósfera. Por el contrario, si después de la extracción de la madera la selva se dejara inmune hasta la restitución de su biomasa original, que puede llevar más de cien años [19][125], incluso en extracciones de impacto reducido, el flujo de carbono sería considerado cero, pues las cantidades de carbono emitidas son equivalentes a las absorbidas, por lo que el concepto de carbono neutro podría emplearse en el sistema nativo, aunque también dependería del tipo de bosque, capacidad de crecimiento, perturbaciones y tiempo [126].

En el manejo forestal en Brasil, tras la extracción debe protegerse el zona de producción durante un periodo aproximado de treinta años, lo que asegura tan solo una reconstitución parcial de la selva [127][19][125] y la consecuente recomposición parte de las reservas de carbono. Después del periodo de protección estipulado, el destino de la zona queda a cargo del ente titular del terreno, (gobierno o particulares), sin garantizar que futuras acciones locales mantengan el carbono incorporado.

La emisión de CO<sub>2</sub> para una tonelada seca de madera nativa aserrada, bajo el concepto de reservas de carbono, fue cerca de 16 tCO<sub>2</sub> (mediana). Considerando un sistema sostenible de producción de madera, en el que todo el carbono emitido fuera absorbido por la recomposición de la selva en los años siguientes, los residuos podrían considerarse neutros en carbono, lo que cambiaría los resultados de las emisiones a un rango entre 49 y 296 kgCO<sub>2</sub>/t (mediana de 143 kgCO<sub>2</sub>/t) en la puerta del consumidor y de 48 a 114 kgCO<sub>2</sub>/t (mediana de 54 kgCO<sub>2</sub>/t) en la puerta de la industria. El problema de las emisiones de dióxido de carbono en la manufactura de productos de madera nativa no es una cuestión metodológica, sino una consecuencia del sistema productivo convencional brasileño. No solo es necesario mejorar el sistema productivo aumentando su desempeño, sino ampliar las buenas prácticas, la fiscalización y asegurar un mantenimiento real de la biomasa original.

De esta manera, considerando la práctica convencional de extracción de madera nativa, se cree que las emisiones de los residuos deben contabilizarse y considerarse como el principal problema ambiental de la cadena de productos de madera nativa.

### 5.4.3 Energía incorporada

La madera plantada aserrada presentó una energía incorporada **en la puerta de la fábrica** que varía entre 729 y 14.944 MJ/t (mediana de 7.868 MJ/t). Es un rango más alto que las referencias internacionales, que varían entre 661 y 8.948 MJ/t (mediana de 2.104 MJ/t)<sup>22</sup> [113][128][129]. Este hecho puede haberse producido por diferencias metodológicas de análisis, pero también por diferencias tecnológicas entre países, en particular con respecto al secado en estufa. Las maderas nativas aserradas, en la puerta de la fábrica, variaron de 786 a 3.307 MJ/t (mediana de 1.379 MJ/t). Es un rango más bajo, tal vez porque el secado artificial no es común, y, por lo tanto, no interfiere considerablemente en la energía consumida en este sistema.

Los “otros productos” (paneles laminados, contrachapados, laminado encolado) fabricados con madera plantada presentaron una energía incorporada que variaba entre 6.915 y 19.202 MJ/t (mediana de 15.586 MJ/t) en la puerta de la fábrica. Los resultados con rango intermedio comparado con referencias internacionales variaron entre 2.100 y 25.000 MJ/t (mediana de 10.168 MJ/t) [130][10][129]. Otra referencia internacional demuestra que la energía consumida para la manufactura de otros productos aún puede ser más alta y llegar casi a 35GJ/t de suelo (entre puertas de la fábrica) [131].

---

<sup>22</sup> Más información en el apéndice de este capítulo.

El consumo de energía dependerá de los productos y la tecnología. En los resultados de este estudio, la mayor parte de la energía se consume en la fase de procesamiento debido al uso de estufas que utilizan biomasa para su funcionamiento. En el sistema plantado, el uso de secado artificial es más frecuente y, por ello, se consume más energía. El impacto del uso de la biomasa para este sistema no afecta a las emisiones, ya que los residuos se consideran neutros en carbono, al contrario del sistema nativo. Por otra parte, si el sistema nativo utilizara parte de los residuos producidos, la necesidad de otras fuentes de energía sería menor.

El consumo de energía es un problema según la fuente utilizada. En el muestreo, el 82% de las empresas utilizan la electricidad suministrada por la red (con un uso del ~77% de energía proveniente de hidroeléctrica [60]). Si toda la electricidad suministrada por la red fuera sustituida por los residuos de biomasa del propio sistema, el impacto en las emisiones de CO<sub>2</sub> sería bajo o casi despreciable. Las emisiones disminuirían hasta el 14% (mediana del 9%), para productos aserrados de madera plantada, y hasta el 0,1%, para productos aserrados de madera nativa. Por lo tanto, desde una óptica holística, utilizar los residuos de biomasa sirve para disminuir la presión sobre otras fuentes de energía que pueden utilizarse en otras actividades. Sin embargo, desde una visión puntual de los sistemas analizados, el uso de los residuos de biomasa no afecta mucho a los impactos causados por las emisiones de CO<sub>2</sub>. Lo mismo pasa con el cambio del uso de diesel por alcohol hidratado (combustible renovable con menor emisión de CO<sub>2</sub> por unidad de energía) en los transportes entre fases. Esta modificación no afectaría a las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sistema nativo y disminuiría hasta un 3% aquellas de los productos aserrados de madera plantada.

La energía incorporada no tuvo relación directa con las emisiones de CO<sub>2</sub>. En los sistemas analizados no se consideró un problema mayor, ya que parte de la energía utilizada proviene de fuentes renovables y de la reutilización de residuos. Si bien, el desempeño del sistema puede mejorar en términos de consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> si se consideran cambios en el modo de extracción de la madera nativa, secado de la madera y distancias de transporte.

#### **5.4.4 Consecuencias de las limitaciones del estudio**

La cadena de manufactura de los productos de madera plantada, pese a presentar bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, tiene otros impactos que no se han tratado en este estudio, como el uso de **conservantes químicos**. Entre los más usuales está el CCA (cobre, cromo y arsénico)

[132][133], que puede contaminar suelos y aguas por lixiviación<sup>23</sup> o a seres vivos por inhalación, contacto o ingestión. Los trabajadores que tienen relación ocupacional con el producto son los que sufren los mayores riesgos. La contaminación por medio de la madera conservada también puede producirse durante la construcción o el mantenimiento de las construcciones o en personas con las que tienen contacto constante con este material [136][137][138][132][139][140].

A diferencia de países como Estados Unidos, Canadá, Japón, Indonesia, Vietnam, la Unión Europea, entre otros, cuya legislación regula o prohíbe el uso del CCA [141][132], en Brasil, no hay una herramienta que limite su utilización o que se exprese sobre la disposición final de la madera conservada a base de arsénico. Aunque se haya establecido que los residuos de la madera conservados con CCA deban considerarse peligrosos [137][142] (clase I, según la normativa ABNT NBR 10.004 sobre la clasificación de residuos sólidos) [132], el Gobierno brasileño no ha actualizado la resolución 307 del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), que clasifica los residuos de madera de forma indiscriminada como clase B con destino final para el reciclaje o reutilización [143][144].

El Consejo Brasileño de Construcción Sostenible (CBCS) se manifestó sobre la necesidad de separar los residuos de madera conservada y sobre los peligros de un destino final mal orientado y solicitó la revisión de la resolución [145]. El destino de este tipo de residuo debería limitarse al reciclaje y reutilización en aplicaciones que no conlleven un riesgo de contaminación (ambiental y de seres vivos), la destrucción térmica en hornos industriales de alta temperatura u otros métodos de tratamiento biológico o electrodiálítico y extracción química [146][133][147].

En Brasil, la mayor parte de la madera se conserva con CCA (en 2006 el 80% [148]). En 2011 se conservaron entre 1,2 y 1,5 millones de metros cúbicos de madera [149][150], lo que corresponde a menos del 3% de la madera plantada consumida<sup>24</sup> en el país [149]. De estos solamente entre el 5% y el 10% se destinan a la construcción civil [151][152]. No obstante, aunque el uso de madera conservada en Brasil sea muy pequeño en comparación con países como Estados Unidos, es necesario posibilitar técnica y económicamente soluciones que estén de

---

<sup>23</sup> Aunque un estudio llevado a cabo en Brasil verificó que después de aproximadamente treinta años de exposición de muestras de madera tratadas con CCA y CCB, los índices de contaminación del suelo cerca de aquellas con mayor retención de conservante (11 kg/m<sup>3</sup>) estaban por debajo de aquellos los índices de valores de referencia de calidad estipulados por de la CETEB, que se considera sin contaminación [134]. Por otra parte, el mismo autor, en otro estudio, concluye que el índice de descomposición presenta una relación directa con el nivel de retención utilizado en la muestras tratadas con CCA-C y que el índice de descomposición más bajo (mayor expectativa de durabilidad, más de sesenta años) corresponde a los tratamientos con CCA-C en retenciones por encima de 8,0 kg/m<sup>3</sup> [135].

<sup>24</sup> Excluyendo la madera plantada para papel, celulosa, carbón y leña.



acuerdo con la tendencia mundial basada en resultados científicos, para la regulación específica sobre la aplicación y el desecho de la madera conservada.

También debe tratarse la **durabilidad o vida útil** de la madera. Atendiendo a escenarios extremos, aunque no sea común hay ejemplos de casas en Brasil construidas con madera nativa de más de cien años, por otra parte, hay casos de viviendas edificadas con madera plantada de mala calidad que empiezan a presentar patologías en menos de una década. El número de reposiciones de estas construcciones en un mismo periodo puede cambiar los resultados finales de CO<sub>2</sub> emitido y energía consumida entre los sistemas plantado y nativo. Ampliar la vida útil del material puede disminuir impactos, siempre que los procedimientos de mantenimiento necesarios no provoquen un mayor impacto que una reposición completa.

Las **emisiones de CO<sub>2</sub>** estimadas en este trabajo son resultados de definiciones previas de diversos elementos. Los resultados pueden cambiar según se modifiquen estos factores:

- alcance del estudio;
- tipo de emisiones (directas o indirectas, considerando CO<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub> equivalente);
- asignación (sin asignación, o con asignación por masa, valor de mercado, etc.);
- tiempo de análisis (retrato atemporal o con período definido);
- carbono incorporado (considerando o no el carbono bajo el suelo);
- tipo de extracción (selectiva convencional, selectiva manejada, clareo);
- cambio de uso del suelo (sin cambio o con cambio de selva para ganadería, agricultura, silvicultura u otra).

Si se ampliara el alcance definido se incorporarían emisiones causadas por el mantenimiento de los productos de madera, la reutilización, el reciclaje y la disposición final. Además del alcance del sistema, se pueden definir qué tipos de emisión considerar (directas, indirectas). El GHG Protocol divide la evaluación de un sistema en tres grados de consideraciones, donde el primero está relacionado a emisiones directas, el segundo, a emisiones provenientes de la adquisición de energía eléctrica o térmica y, el tercero, a emisiones indirectas [153]. Cuanto mayores sean el alcance y el número de factores considerados, mayores serán las emisiones estimadas.

Del mismo modo cuando se incorpora la equivalencia de otros gases de efecto invernadero generados en el proceso estudiado, como el metano proveniente de la degradación o la quema de la biomasa, por ejemplo, más altos serán los valores de las emisiones. En este trabajo no se ha tenido en consideración el metano pues hay muchas variables que afectan a su producción, como la temperatura, el tipo de suelo, el pH (potencial hidrógeno), la radiación, el

régimen de lluvias, la existencia de metanobacterias, las termitas y la condición de descomposición de la materia orgánica (aeróbica o anaeróbica) [154][155]. Existen grandes incertidumbres en el sistema analizado e incluir otro factor de difícil medida no ayudaría en la apreciación inicial de la problemática, más bien aumentaría las variabilidades e incertidumbres.

La asignación es otro factor que influye sobre los resultados y hacen que cambien las conclusiones [52]. Según Jungmeier (2002)[52], la no asignación considera que todas las emisiones estimadas deben aportarse al producto principal, sin dividirse entre los coproductos o residuos. Si fuera una asignación por masa, las emisiones se dividirían entre estos, lo que reduciría los resultados finales de emisión de los productos de madera. La asignación puede hacerse por relación física, económica u otros según cada caso [156][157]. En este trabajo, como se considera que el producto es el responsable de la actividad y que no siempre los residuos tienen valor en el mercado, no se ha hecho asignación.

Las consideraciones sobre el cambio del uso del suelo también varían los resultados de las emisiones. Ejemplo 1: en un sistema donde inicialmente había selva, que fue convertida en zona agrícola y, posteriormente, en silvicultura, si las emisiones provenientes de la deforestación fueran consideradas y asignadas para las posteriores actividades, el valor final de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los productos agrícolas y de madera sería mayor. Ejemplo 2: si después de la extracción selectiva de madera nativa no se produjera un cambio del uso del suelo, sin perturbar el bosque, la reestructuración de la biomasa haría que el saldo final de las emisiones de CO<sub>2</sub> fuera menor. Lo contrario sucedería si se considerara que después de la extracción de la madera nativa hubiera cambio del uso de la selva, de bosque para pasto.

En una misma situación (por ejemplo, extracción selectiva periódica), con periodos de análisis distintos, el balance de carbono (en consecuencia, de las emisiones estimadas) variará, pues el volumen final de biomasa en cuarenta años es mayor que en veinte años. Otras variaciones se producen cuando el tiempo de análisis es el mismo pero la situación cambia. El balance de carbono en un período de análisis de cien años es diferente entre la extracción manejada con ciclos periódicos y la extracción selectiva convencional (véase ejemplo en la Tab. 5. 14).

**Tab. 5. 14 – Reservas previas a la extracción y total extraído (extracción seguida de abandono y ciclos de extracción de cuarenta años) (tabla adaptada, datos de la referencia [19])**

	Año 0		Año 40		Año 80		Año 120
	Madera disponible (m <sup>3</sup> /he)	Madera extraída (m <sup>3</sup> /he)	Madera disponible (m <sup>3</sup> /he)	Madera extraída (m <sup>3</sup> /he)	Madera disponible (m <sup>3</sup> /he)	Madera extraída (m <sup>3</sup> /he)	Madera disponible (m <sup>3</sup> /he)
Sin extracción	41,0	0,00	38,3	0,00	40,6	0,00	43,3

EIR - seguido de abandono	41,0	30,0	20,0	0,00	29,9	0,00	34,1
EC - seguido de abandono	41,0	30,0	15,5	0,00	25,5	0,00	30,7
EIR - ciclo de extracción de 40 años	41,0	30,0	20,0	20,0	22,1	22,1	24,2
EC - ciclo de extracción de 40 años	41,0	30,0	15,5	15,5	16,4	16,4	18,1
EIR – extracción de impacto reducido							
EC – extracción convencional							

Otro factor variante es la consideración del carbono bajo el suelo incorporado en las raíces (proporción de la biomasa de las raíces y parte aérea del árbol entre el 18% y el 30% [158][159]) o en la tierra. Después de la extracción del árbol, la reserva de carbono bajo el suelo variará según las condiciones climáticas, biológicas o perturbaciones antropogénicas existentes [160][161]. No se consideró este factor dadas las múltiples variables.

Los resultados de energía incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub> se han presentado por tonelada de producto seco, aunque si se presentaran en metros cúbicos, los valores serían más bajos, ya que 1 m<sup>3</sup> de madera plantada seca pesa cerca de 0,5 toneladas (promedio) y de madera nativa, 0,7 toneladas. Es decir, siempre que los resultados de madera plantada y nativa fueran iguales cuando se presentan en masa, para un objeto con mismo volumen, los impactos relacionados serían más altos en la madera nativa.

Todas las limitaciones del estudio se definieron según las respuestas necesarias para lograr el objetivo de esta investigación, la cantidad de información primaria disponible y las referencias adoptadas. El análisis, antes de abarcar todas las situaciones y factores posibles, se ha centrado en los elementos principales dentro del sistema y en los sistemas más comunes. La intención no fue hacer un análisis exhaustivo de las emisiones provenientes de las actividades del sector maderero, sino, sintetizar las posibilidades de estudio para identificar y puntuar la dimensión de los impactos (energía y emisiones de CO<sub>2</sub>) y diagnosticar problemas y potencialidades del sistema productivo. Sin embargo, para la toma de decisión y creación de políticas públicas, es necesario tener una visión holística y considerar no solo los aspectos arriba descritos sino también los factores sociales y económicos conexos.

## 5.5 Conclusiones del capítulo

Conociendo las limitaciones del estudio y con base en los valores obtenidos, se pueden presentar como principales resultados los siguientes:

- Los residuos son el principal agente emisor de dióxido de carbono. Cuando se consideran como reserva de carbono, son responsables del 97% al 99%, de las emisiones del

sistema de manufactura de productos de madera nativa, y del 88% al 99%, de sistema de madera plantada.

- Las emisiones de una tonelada seca de madera nativa aserrada emite, en la puerta del consumidor, de 5.135 a 44.394 kgCO<sub>2</sub> (mediana de 16.236 kgCO<sub>2</sub>/t). Valores con tres órdenes de magnitud por encima de las referencias internacionales. Este hecho se debe a la gran cantidad de residuos producidos en la extracción (mediana de 7,2 t/t) que son considerados reserva de carbono que se sustrae de la selva tropical húmeda.

- Las emisiones de la madera plantada aserrada emiten, en la puerta del consumidor, de 41 a 726 kgCO<sub>2</sub>/t (mediana de 155 kgCO<sub>2</sub>/t). La producción de residuos en la extracción es baja (mediana de 0,6 t/t), pues se trata de un monocultivo, que se considera carbono neutro, ya que al final de su vida útil el flujo de carbono es prácticamente cero.

- La energía incorporada en la madera plantada aserrada, en la puerta del consumidor, varía de 945 a 15.451 MJ/t (mediana de 9.062 MJ/t). Los valores más altos se refieren a los productos secados en estufa. Práctica muy común ya que la madera es menos densa y más susceptible a ataques de termitas y hongos.

- En la madera nativa aserrada la energía incorporada, en la puerta del consumidor, varía de 948 a 5.357 MJ/t (mediana de 2.474 MJ/t). La práctica de secado en estufa es menos común, pues la madera es densa y el riesgo de ataques externos y deformaciones es menor.

- La madera nativa tropical produce una mayor emisión de CO<sub>2</sub> debido básicamente a la fase de extracción selectiva de la madera comercial, en la que gran cantidad de biomasa se destruye y no se repone, con lo que se convierte en una fuente de carbono. También presentó menor energía incorporada debido, principalmente, al desuso de secado artificial. Por otro lado, la madera plantada exótica tuvo como resultado una mayor energía incorporada debido al secado en estufa (muy común) y una menor emisión de CO<sub>2</sub>, por ser un monocultivo donde prácticamente no hay biomasa alrededor del árbol, lo que genera menos residuos en la extracción, y también porque estos se consideraron carbono neutro, ya que a lo largo de la vida útil el flujo de carbono (sobre tierra) es prácticamente nulo.

- El transporte desde el lugar de procesamiento (PC1) hasta el consumidor incorpora cerca del 39% de la energía consumida en el sistema de producción de madera nativa, debido a la distancia de suministro de material y primer procesamiento (región norte) hasta el principal mercado consumidor (región sureste).

Los resultados pueden variar según el tipo de extracción de madera considerado, el modo de asignación y el período de ciclo de vida. Por ello, para futuros estudios se indican algunos temas que podrían contemplarse como la comparación de los resultados de emisiones de

CO<sub>2</sub> para maderas provenientes de manejo forestal, el análisis de los impactos y las emisiones de productos utilizados en el proceso como conservantes, pegamento y pinturas, entre otros, el análisis de los impactos del cambio de uso del suelo causados por la actividad maderera en el total de emisiones nacionales.

## 5.6 Referencias (capítulo 5)

- [1] Ministerio do Desenvolvimento, Industria e Comercio Exterior, “Resolução n.º 03, de 22 de abril de 2010”. 22-abr-2010.
- [2] Jornal da Ciência, “SICV-Brasil completa seis anos de atuação”, <http://www.jornaldaciencia.org.br>, 20-ago-2012. [Online]. Disponible en: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=83790>. [Consultado: 17-jan-2013].
- [3] B. May, J. R. England, R. J. Raison, e K. I. Paul, “Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forests: Embodied energy, water use and other inputs”, *Forest Ecology and Management*, vol. 264, p. 37–50, jan. 2012.
- [4] J. Perez-Garcia, B. Lippke, D. Briggs, J. B. Wilson, J. Bowyer, e J. Meil, “The environmental performance of renewable building materials in the context of residential construction”, *Wood and Fiber Science*, vol. 37, p. 3–17, 2005.
- [5] B. Nebel, B. Zimmer, e G. Wegener, “Life cycle assessment of wood floor coverings: A representative study for the German flooring industry”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 11, n.º 3, p. 172–182, 2006.
- [6] M. E. Puettmann, R. Bergman, S. Hubbard, L. Johnson, B. Lippke, E. Oneil, e F. G. Wagner, “Cradle-to-gate life-cycle inventory of us wood products production: Corrim phase i and phase II products”, *Wood and Fiber Science*, vol. 42, n.º SUPPL. 1, p. 15–28, 2010.
- [7] B. Rivela, M. T. Moreira, I. Muñoz, J. Rieradevall, e G. Feijoo, “Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture”, *Science of The Total Environment*, vol. 357, n.º 1–3, p. 1–11, mar. 2006.
- [8] British Standard, “BS EN ISO 14040:2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework”. 2006.
- [9] J. Guinée, M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Klejn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener Sleswijk, S. Suh, H. Udo de Haes, H. de Brujin, R. van Duin, e M. J. Huijbrecs, “Life cycle assessment An operational guide to the ISO standards”. Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [10] M. E. Puettmann e J. B. Wilson, “Life-cycle analysis of wood products: Cradle-to-gate LCI of residential wood building materials”, *Wood and Fiber Science*, vol. 37, p. 18–29, 2005.
- [11] T. Hur, J. Lee, J. Ryu, e E. Kwon, “Simplified LCA and matrix methods in identifying the environmental aspects of a product system”, *Journal of Environmental Management*, vol. 75, n.º 3, p. 229–237, maio 2005.
- [12] E. Hochschorner e G. Finnveden, “Evaluation of two simplified Life Cycle assessment methods”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 8, n.º 3, p. 119–128, maio 2003.
- [13] G. Fleischer, K. Gerner, H. Kunst, K. Lichtenvort, e G. Rebitzer, “A semi-quantitative method for the impact assessment of emissions within a simplified life cycle assessment”, *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 6, n.º 3, p. 149–156, 2001.
- [14] CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, “Projeto ACVm: Avaliação do Ciclo de Vida Modular”. [Online]. Disponible en: <http://www.acv.net.br/website/acvs/show.asp?ppgCode=B7EEA3A3-747A-457B-8210-EC73F949FB82>. [Consultado: 16-mar-2014].
- [15] Governo Brasileiro, *Código Florestal*. 2012.
- [16] C. Sabogal, J. N. M. Silva, J. Zweede, R. P. Júnior, P. Barreto, e C. A. Guerreiro, “Diretrizes técnicas para a Exploração de Impacto Reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia brasileira.”, CIFOR - Center for International Forestry Research; Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; FFT - Fundação Floresta Tropical; IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, Belém-PA, jun. 2000.
- [17] Conama - Conselho Nacional do Meio ambiente, *Resolução n.º 406 de 02 de fevereiro de 2009*. 2009.

- [18] FFT - Fundação da Floresta Tropical, *O Futuro da Floresta*. 2005.
- [19] A. J. Macpherson, M. D. Schulze, D. R. Carter, e E. Vidal, “A Model for comparing reduced impact logging with conventional logging for an Eastern Amazonian Forest”, *Forest Ecology and Management*, vol. 260, p. 2002–2011, nov. 2010.
- [20] É. F. de Campos, “Emissão de CO2 da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional.”, São Paulo, 2012.
- [21] SFB - Serviço Florestal Brasileiro, “Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados 2007-2012.”, Brasília, 2013.
- [22] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, *Madeira Uso Sustentável na Construção Civil*, 2º ed. São Paulo: IPT, 2009.
- [23] D. Pereira, D. Santos, M. Vedoveto, J. Guimarães, e A. Veríssimo, *Fatos florestais da Amazônia - 2010*. Belém-PA: Imazon, 2010.
- [24] S. Lawson e L. MacFaul, “Chatham House Illegal Logging Indicators Country Report Card - Brazil”. Chatam House, jul-2010.
- [25] Frank Miller, Rodney Taylor, e George White, *Seja Legal. Boas práticas para manter a madeira ilegal fora se seus negócios*. WWF, 2006.
- [26] Setgio Adeodato, Malu Vilela, Luciana Stocco Betiol, e Mario Monzoni, *Madeira de ponta a ponta - o caminho desde a floresta até o consumo*, 1º ed. São Paulo: FGV RAE, 2011.
- [27] Rebeca Lerer e Marcelo Marquesini, “Tolerância zero: chega de madeira ilegal.” Greenpeace Brasil, dez-2005.
- [28] Ideflor, “O mercado florestal do Pará (PAOF-Parte III)”. 2011.
- [29] Marco W. Lentini, Patricia Cota Gomes, e Leonardo Sobral, *Acertando o alvo 3*. Piracicaba/SP: IMAFLORA, 2011.
- [30] Governo Brasileiro, “Floresta Amazônica.”, <http://www.brasil.gov.br/imagens/noticias/imagens-2013/abril/floresta-amazonica/image>. .
- [31] Greenpeace, “Verde até quando?”, *Brasil*, 17-out-2012. [Online]. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/Verde-ate-quando/>. [Consultado: 10-jul-2013].
- [32] André Raboni, “Ibama apreende mais de 10 mil metros cúbicos de madeira ilegal no Pará”, 14-fev-2008. [Online]. Disponível em: <http://acertodecontas.blog.br/wp-content/uploads/2008/02/desmatamento3.jpg>. [Consultado: 15-jul-2013].
- [33] FFT - Fundação da Floresta Tropical, “Manejo Florestal e Exploração de Impacto Reduzido”. [Online]. Disponível em: <http://www.inteligentesite.com.br/modelos/modelo71/conteudo.asp?ID=489&IDLINK=3932>. [Consultado: 11-jul-2013].
- [34] R. M. de M. Sixel e F. M. Gomez, “Produção de florestas com qualidade: técnicas de plantio”, 02-jul-2008. [Online]. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/plantio.asp>. [Consultado: 10-jul-2013].
- [35] R. M. de M. Sixel, “Condução da floresta”, jun-2008. [Online]. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp>. [Consultado: 10-jul-2013].
- [36] “Madera aplanada.” [Online]. Disponível em: [http://www.leroymerlin.com.br/resources/images/products/product/87167423/87167423\\_1\\_600.jpg](http://www.leroymerlin.com.br/resources/images/products/product/87167423/87167423_1_600.jpg). [Consultado: 17-jul-2013].
- [37] “Batiente eucalipto”. [Online]. Disponível em: [http://www.madridmoveis.com.br/img\\_produtos/batiente-marco-eucalipto.jpg](http://www.madridmoveis.com.br/img_produtos/batiente-marco-eucalipto.jpg). [Consultado: 11-jul-2013].
- [38] “Porta pinus.” [Online]. Disponível em: <http://www.pormatex.com.br/image-products/portas/big/pinus-natural-1.jpg>. [Consultado: 11-jul-2013].
- [39] “Aprovechamiento de la madera.” [Online]. Disponível em: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=205552466267826&set=pb.167862593370147.-2207520000.1373550522.&type=3&theater>. [Consultado: 11-jul-2013].
- [40] IPCC, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.*, vol. Workbook. Module I. Energy, 3 vols. Bracknell: JT Houghton, LG Meira Filho, B Lim, K Treanton, I Mamaty, Y Bonduki, 1997.

- [41] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, “IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Synthesis Report.”, *www.ipcc.ch*, 2007. [Online]. Disponível em: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/mains2-1.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/mains2-1.html). [Consultado: 17-mar-2014].
- [42] IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, “CO<sub>2</sub> equivalents in Fourth Assessment Report (AR4).”, 2007. [Online]. Disponível em: [http://www.climatechangeconnection.org/emissions/CO2\\_equivalents.htm](http://www.climatechangeconnection.org/emissions/CO2_equivalents.htm). [Consultado: 17-mar-2014].
- [43] H. S. Eggleston e Intergovernmental Panel on Climate Change. National Greenhouse Gas Inventories Programme, *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 1 Introduccion*. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [44] Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, *Wood handbook—Wood as an engineering material*. Madison, Wisconsin, USA: Forest Products Laboratory, 2010.
- [45] D. G. Briggs, “Forest products measurements and conversion factors: with special emphasis on the U.S. Pacific Northwest”, .
- [46] V. A. Martins e Ministerio da Agricultura, “Secagem da madeira”. IBDF/DPq — LPF, 1988.
- [47] E. J. Santini e C. R. Haselein, “Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm.”, *Ciência Florestal*, vol. 12, nº 2, 2002.
- [48] ISO, “ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework”. 2006.
- [49] I. EU - JRC, “International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance”, Luxembourg, 1 ed., mar. 2010.
- [50] GHG Protocol, “Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard - Summary of the Product Standard Road Testing Workshop”, The Greenhouse Gas Protocol Initiative; World Business Council for Sustainable Development; World Sources Institute, maio 2010.
- [51] F. Werner, H.-J. Althaus, K. Richter, e R. W. Scholz, “Post-consumer waste wood in attributive product LCA Context specific evaluation of allocation procedures in a functionalistic conception of LCA”, *Wood and Other Renewable Resources (Subject Editor: Jörg Schweinle)*, vol. 12, nº 3, p. 160–172, 2007.
- [52] G. Jungmeier, F. Werner, A. Jarnehammar, C. Hohenthal, e K. Richter, “Allocation in lca of wood-based products experiences of cost action E9 part i. methodology”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 7, nº 5, p. 290–294, ago. 2002.
- [53] J. B. Guinée, *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. Springer, 2002.
- [54] CMHC - Canada Mortgage and Housing Corporation, International Energy Agency, e Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, “Sensitivity and Uncertainty. Annex 31. Energy-Related Environmental Impact of Buildings”. 2004.
- [55] G. Benedet Jr, “Avaliação de incertezas em Inventarios do Ciclo de Vida”, Florianópolis, 2007.
- [56] M. John A., “Carbon-negative biofuels”, *Energy Policy*, vol. 36, nº 3, p. 940–945, mar. 2008.
- [57] S. Luyssaert, E.-D. Schulze, A. Börner, A. Knohl, D. Hessenmoller, B. E. Law, P. Ciais, e J. Grace, “Old-growth forests as global carbon sinks”, *Nature*, vol. 455, nº 7210, p. 213–215, 2008.
- [58] J. Eric, “Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right”, *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 29, nº 3, p. 165–168, abr. 2009.
- [59] W. Sören, “Carbon dioxide emissions from wood fuels in Sweden 1980–2100”, *Journal of Forest Economics*.
- [60] MME - Ministério de Minas e Energia, “Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012”, Ministério de Minas e Energia - Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2013.
- [61] É. F. Campos, K. R. G. Punhagui, e V. M. John, “Emissão de CO<sub>2</sub> do transporte da madeira nativa da Amazônia”, *Ambiente Construído*, vol. 11, nº 2, p. 157–172, jun. 2012.
- [62] NREL - National Renewable Energy Laboratory, “U.S. Life-Cycle Inventory Database”, 2013. [Online]. Disponível em: <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>. [Consultado: 16-dez-2012].
- [63] G. P. Asner, “Selective Logging in the Brazilian Amazon”, *Science*, vol. 310, p. 480–482, out. 2005.

- [64] M. Keller, G. P. Asner, N. Silva, e M. Palace, “Sustainability of selective logging of upland forests in the Brazilian Amazon: carbon budgets and remote sensing as tools for evaluation of logging effects”, *Columbia University Press*, 2003.
- [65] E. A. T. Matricardi, D. L. Skole, M. A. Pedlowski, W. Chomentowski, e L. C. Fernandes, “Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery”, *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, nº 5, p. 1117–1129, maio 2010.
- [66] R. Pereira Jr., J. Zweede, G. P. Asner, e M. Keller, “Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil”, *Forest Ecology and Management*, vol. 168, nº 1–3, p. 77–89, set. 2002.
- [67] MCT, “Programa Nacional de Mudanças Climáticas. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Fatores de Emissão. Arquivos de Fatores de Emissão”, *Ministério da Ciência e Tecnologia*, 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>. [Consultado: 24-out-2011].
- [68] Empresa de Pesquisa Energética e Ministério de Minas e Energia, “Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011”, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2012.
- [69] MCT, “Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis, no Setor Energético.”, MCT, Brasília, 2006.
- [70] CETESB, “1º Relatório de Referência do Estado de São Paulo de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, período de 1990 – 2008. Inventário das Emissões de CO<sub>2</sub> por queima de combustíveis no Estado de São Paulo, 1990 a 2008: Abordagem de Referência (Top Down)”, CETESB, São Paulo, 2010.
- [71] GHG Protocol e FGV, “Programa Brasileiro GHG Protocol. Arquivo em excel. Fatores de conversão.”, *Programa Brasileiro GHG Protocol*, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.fgv.br/ces/ghg/>. [Consultado: 31-out-2011].
- [72] O. de M. Álvares Jr e Renato Ricardo Antonio Linke, “Metodologia simplificada para cálculo das emissões de gases do efeito estufa das frotas de veículos no Brasil.” CETESB, 2001.
- [73] IPCC, “Carbon metrics”, *Carbon Metrics*, 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.carbonmetrics.com/ipcc-emission-factors-tool>. [Consultado: 31-jan-2011].
- [74] CETESB, “Inventário de emissões de CO<sub>2</sub>. Manual de preenchimento.”, CETESB, São Paulo.
- [75] ANP, “Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - 2010”, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil), Rio de Janeiro, N 1983-5884, 2010.
- [76] M. A. Brand e G. I. B. de Muñiz, “Influência da época de colheita da biomassa florestal sobre sua qualidade para a geração de energia.”, *Sciencia Florestalis*, vol. 38, nº 88, p. 619–628, 2010.
- [77] C. Ortolan, E. W. Azevedo, A. C. Antiquiera, F. A. S. Ortolan, e H. Bonisch, “Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal.”.
- [78] V. Francescato, E. Antonini, e L. Z. Bergomi, *Wood Fuels Handbook (UK). BiomassTrade Centres*. AIEL - Italian Agriforestry Energy Association, 2008.
- [79] H. S. Eggleston e Intergovernmental Panel on Climate Change. National Greenhouse Gas Inventories Programme, *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [80] M. A. Brand, “Relatório técnico de declaração energética”. Universidade do Planalto Catarinense, 17-jul-2008.
- [81] Administrador Geral da Fábrica - empresa 02, “Declaração verbal do poder calorífico da biomassa utilizada.”, 18-nov-2010.
- [82] M. F. M. Nogueira, “Biomassa energética: caracterização de biomassa.”, apresentado em EBMA - Energia, biomassa e meio ambiente, Florianópolis, 2007.
- [83] M. A. Brand, “Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem”, 2008.
- [84] IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, “Madeiras Brasileiras”, *IBAMA*, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/pesquisa.php?idioma=portugues>. [Consultado: 13-dez-2010].



- [85] IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, “Informações sobre madeiras: Teca”. [Online]. Disponível em: [http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras3.php?madeira=78](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=78). [Consultado: 06-nov-2012].
- [86] WFC - World Forestry Centre, “AgroForestryTree Database. Tectona grandis.” [Online]. Disponível em: <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea/products/afdbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=1603#Identity>. [Consultado: 06-nov-2012].
- [87] Forest Products Laboratory - USDA Forest Service, “Search Common Names Database Search Results. Teak.” [Online]. Disponível em: [http://www.fpl.fs.fed.us/search/commonnamesearch\\_action.php?phrasesAndKeywords01=teak&phrasesAndKeywords02=&phrasesAndKeywords03=&sorting\\_rule=3d](http://www.fpl.fs.fed.us/search/commonnamesearch_action.php?phrasesAndKeywords01=teak&phrasesAndKeywords02=&phrasesAndKeywords03=&sorting_rule=3d). [Consultado: 13-nov-2012].
- [88] O. Seely, “Physical Properties of common woods”. [Online]. Disponível em: <http://www.csudh.edu/oliver/chemdata/woods.htm>. [Consultado: 13-nov-2012].
- [89] G. P. de M. Palermo, J. V. de F. Latorraca, M. A. de Rezende, A. M. do Nascimento, E. T. D. Severo, e H. dos S. Abreu, “Análise da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. por meio de radiação gama de acordo com as direções estruturais (longitudinal e radial) e a idade de crescimento.”, *Floresta e Ambiente*, vol. 10, n° 2, p. 47–57, dez. 2003.
- [90] S. Nisgoski, G. I. B. D. Muñiz, e U. Klock, “Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage”, 1998.
- [91] D. Melchiorretto e J. R. Eleotério, “Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas.”, apresentado em XVIII Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica, Blumenau, 2003, p. 5.
- [92] R. Marchesan, P. P. de Mattos, e J. Y. Shimizu, “Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell.”, 25-abr-2006. [Online]. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/313542>. [Consultado: 03-fev-2012].
- [93] D. A. Gatto, E. J. Santini, C. R. Haselein, e M. A. Durló, “Características da lenha produzida na região da quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul”, *Ciência Florestal*, n° 002, p. 7–16, 2003.
- [94] L. A. G. Jacovine, J. L. P. Rezende, A. P. de Souza, H. G. Leite, e C. Trindade, “Descrição e uso de uma metodologia para avaliação dos custos da qualidade na colheita florestal semimecanizada.”, *Ciência Florestal*, vol. 9, n° 1, set. 2009.
- [95] E. O. Figueiredo e Q. S. Lima, “Coeficientes técnicos para o inventário e manejo florestal com emprego do Modelo Digital de Exploração Florestal (Modelflora).”, 30-abr-2009. [Online]. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/511370>. [Consultado: 03-fev-2012].
- [96] “A Expansão Madeireira na Amazônia: Impactos e Perspectivas para o Desenvolvimento Sustentável no Pará — Imazon”. [Online]. Disponível em: <http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/a-expansao-madeireira-na-amazonia-impactos-e>. [Consultado: 03-fev-2012].
- [97] E. D. de Oliveira Jr. e A. D. de Moraes Fl., “Consumo de combustíveis e lubrificantes em atividades diretas e indiretas de colheita e transporte florestal”, *Revista científica eletrônica de ciências agrárias da FAIT*, n° 3, jan. 2006.
- [98] E. D. de O. Júnior e F. Seixas, “Análise energética de dois sistemas mecanizados na colheita do eucalipto.”, *Sciencia Florestalis*, vol. 70, p. 49–57, abr. 2006.
- [99] R. J. de Oliveira, C. C. Machado, H. C. Fernandes, e J. L. do Canto, “Clambunk skidder: avaliação econômica no arraste de madeira”, *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 29, n° 3, p. 547–556, 2008.
- [100] M. H. B. Birro, C. C. Machado, A. P. de Souza, e L. J. Minetti, “Technical and economical evaluation of eucalypt wood log extraction using a Track-Skidder on a mountainous area”, *Revista Árvore*, vol. 26, n° 5, p. 525–532, out. 2002.
- [101] S. r. Valverde, C. C. Machado, J. L. P. Rezende, A. P. Souza, e A. c. Antqueira, “Análise Técnica e econômica do arraste com skidder no sistema de colheita de árvores inteiras de eucalipto”, *Revista Árvore*, vol. 20, n° 1, p. 101–109, 1995.
- [102] K. E. Freitas, “Análise Técnica e Econômica da Colheita Florestal Mecanizada”, Viçosa - MG, 2005.
- [103] IMAZON, *A Expansão Madeireira na Amazônia. Impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará.*, 2° ed. Belém-PA: Ana Cristina Barros & Adalberto Veríssimo, 2002.

- [104] L. O. Pagotto, “Avaliação do desempenho operacional e da logística das atividades silviculturais da Aracruz Celulose S.A”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2007.
- [105] J. L. do Canto, C. C. Machado, F. M. Gontijo, e L. A. G. Jacovine, “Colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no estado do Espírito Santo.”, *Revista Árvore*, vol. 30, nº 6, p. 989–998, 2006.
- [106] “Árvores e arbustos nativos do Brasil.” [Online]. Disponível em: [http://www.vivaterra.org.br/arvores\\_nativas.htm](http://www.vivaterra.org.br/arvores_nativas.htm). [Consultado: 17-jul-2013].
- [107] S. Numazawa, “Exploração Florestal e indústrias madeireiras.”
- [108] Á. N. Souza, A. D. Oliveira, J. R. S. Solforo, J. M. Mello, e L. M. T. Carvalho, “Modelagem do rendimento no desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal”, *Cerne*, vol. 13, nº 2, p. 222–238, jun. 2007.
- [109] C. Schuch, A. Siminski, e A. C. Fantini, “Usos e potencial madeireiro do Jacatirão-Açu (*Miconia cinnamomifolia* (de candolle) naudin) no litoral de Santa Catarina.”, *Floresta*, vol. 38, nº 4, p. 735–741, dez. 2008.
- [110] A. D. de Oliveira, E. P. Martins, J. R. S. Scolforo, J. L. P. de Rezende, e A. N. de Souza, “Viabilidade econômica de serrarias que processam madeira de florestas nativas - o caso do município de Jaru, estado de Rondonia”, *CERNE*, vol. 9, nº 1, p. 1–15, 2003.
- [111] S. Ferreira, J. T. Lima, S. C. da S. Rosado, e P. F. Trugilho, “INFLUÊNCIA DE MÉTODOS DE DESDOBRIO TANGENCIAIS NO RENDIMENTO E NA QUALIDADE DA MADEIRA DE CLONES DE *Eucalyptus* spp.”, *Cerne*, vol. 10, nº 1, p. 10–21, 2004.
- [112] C. P. Biasi e M. P. da Rocha, “Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para tres espécies tropicais”, *Floresta*, vol. 37, nº 1, p. 95–108, abr. 2007.
- [113] R. D. Bergman, “Gate-to-Gate Life-Cycle Inventory on Hardwood Sawmills in the Northeastern Region of the United States”, University of Wisconsin - Madison, 2007.
- [114] R. D. Bergman e S. A. Bowe, “ENVIRONMENTAL IMPACT OF MANUFACTURING SOFTWOOD LUMBER IN NORTHEASTERN AND NORTH CENTRAL UNITED STATES.”, *Wood and Fiber Science*, vol. 42, nº (CORRIM Special Issue), p. 67–78, 2010.
- [115] “Virutas de madeira.” [Online]. Disponível em: <http://www.biot.fm.usp.br/ilustracoes/Maravalha1.jpg>. [Consultado: 11-jul-2013].
- [116] “Micro polvo de madeira.” [Online]. Disponível em: <http://winefolly.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2013/04/wood-tannin-powder-for-wine.jpg>. [Consultado: 11-jul-2013].
- [117] P. Gjerdrum, “A combined analytic-empiric approach for modelling sawn timber yield”, apresentado em Modelling Othe wood chain: forestry - wood industry - wood product markets, Helsinki, 2007, p. 10.
- [118] F. Hapla e D. Ohnesorge, “Modelling of the sawn timber yield of beech logs with regard to the dimension and red heartwood proportion”, in *Broad Spectrum Utilization of Wood*, Viena, 2005, p. 24.
- [119] S. Ferreira, J. T. Lima, S. C. da S. Rosado, e P. F. Trugilho, “Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeir de clones de *Eucalyptus* spp””, *Cerne*, vol. 10, nº 1, p. 10–21, jun. 2004.
- [120] Director propietario, “Entrevista sobre el proceso de producción de la empresa ‘I’”, 04-nov-2010.
- [121] H. Spelter, D. McKeever, e M. Alderman, “Profile 2007: Softwood Sawmills in the United States and Canada.”, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory., Madison, Research Paper FPL–RP– 644, out. 2007.
- [122] C. Cederberg, U. M. Persson, K. Neovius, S. Molander, e R. Clift, “Including carbon emissions from deforestation in the carbon footprint of brazilian beef”, *Environmental Science and Technology*, vol. 45, nº 5, p. 1773–1779, 2011.
- [123] S. Rivero, O. Almeida, S. Ávila, e W. Oliveira, “Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia”, *Nova Economia*, vol. 19, nº 1, p. 41–66, abr. 2009.
- [124] P. M. Fearnside, “Deforestation in Amazonia: dynamics, impacts and control”, *Acta Amazonica*, vol. 36, nº 3, p. 395–400, jan. 2006.
- [125] Sebbenn, B. Degen, V. Azevedo, M. Silva, A. Delacerda, A. Ciampi, M. Kanashiro, F. Carneiro, I. Thompson, e M. Loveless, “Modelling the long-term impacts of selective logging on genetic diversity and demographic structure of four tropical tree species in the Amazon forest”, *Forest Ecology and Management*, vol. 254, nº 2, p. 335–349, 2008.

- [126] B. Lippke, E. Oneil, R. Harrison, K. Skog, L. Gustavsson, e R. Sathre, “Life cycle impacts of forest management and wood utilization on carbon mitigation: knowns and unknowns”, *Carbon Management*, vol. 2, nº 3, p. 303–333, jun. 2011.
- [127] Prof. Dr. Edson José Vidal da Silva, “Entrevista sobre el sector maderero en Brasil (madera nativa).”, 28-ago-2012.
- [128] R. D. Bergman e S. A. Bowe, “Life-Cycle Inventory of Hardwood Lumber Manufacturing in the Southeastern United States”, University of Wisconsin - Madison, 2010.
- [129] ITEC - Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya., “Banco BEDEC”.
- [130] M. E. Puettmann e J. B. Wilson, “Gate-to-gate life-cycle inventory of glued-laminated timbers production.”, *Wood and Fiber Science*, vol. 37, nº Special Issue, p. 99–113, 2005.
- [131] R. D. Bergman e S. A. Bowe, “Life cycle inventory of manufacturing prefinished engineered wood flooring in eastern US with comparison to solid strip wood flooring”, *Wood and Fiber Science*, vol. 43, nº 4, p. 421–441, 2011.
- [132] J. S. L. Appel, V. Terescovaa, V. C. B. Rodriguesa, e V. M. F. Vargas, “Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão”, *Revista Brasileira de Toxicologia*, vol. 19, nº 1, p. 33–47, 2007.
- [133] L. Helsen e E. Van den Bulck, “Review of disposal technologies for chromated copper arsenate (CCA) treated wood waste, with detailed analyses of thermochemical conversion processes”, *Environmental Pollution*, vol. 134, nº 2, p. 301–314, mar. 2005.
- [134] I. P. Jankowsky, E. S. Lepage, C. Salvela, e J. M. Vidal, “Soil accumulation of CCA and CCB active ingredients measured inside a stake field test [Conference Poster].”, apresentado em 2012 IUFRO Conference Division 5 Forest Products, Lisboa, Portugal, 2012, p. PP089.
- [135] I. P. Jankowsky, E. S. Lepage, C. Salvela, J. M. Vidal, e S. Takeshita, “Effectiveness of CCA-C and CCB preservatives after a 30 years stake test.”, Suécia, Section 3 Wood protecting chemicals IRG/WP 12-30606, 2012.
- [136] T. Shibata, H. M. Solo-Gabriele, L. E. Fleming, Y. Cai, e T. G. Townsend, “A mass balance approach for evaluating leachable arsenic and chromium from an in-service CCA-treated wood structure”, *Science of The Total Environment*, vol. 372, nº 2–3, p. 624–635, jan. 2007.
- [137] T. Townsend, T. Tolaymat, H. Solo-Gabriele, B. Dubey, K. Stook, e L. Wadanambi, “Leaching of CCA-treated wood: implications for waste disposal”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 114, nº 1–3, p. 75–91, out. 2004.
- [138] ATSDR - Agency for Toxic Substances & Disease Registry, “ToxFAQ for Arsenic”, ago-2007. [Online]. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts2.pdf>. [Consultado: 25-jun-2013].
- [139] US EPA - Environmental Protection Agency, “Reregistration Eligibility Decision for Chromated Arsenicals. List A. Case No. 0132.” EPA, 25-set-2008.
- [140] S. L. Shalat, H. M. Solo-Gabriele, L. E. Fleming, B. T. Buckley, K. Black, M. Jimenez, T. Shibata, M. Durbin, J. Graygo, W. Stephan, e G. Van De Bogart, “A pilot study of children’s exposure to CCA-treated wood from playground equipment”, *Science of The Total Environment*, vol. 367, nº 1, p. 80–88, ago. 2006.
- [141] O. of P. P. US EPA, “CCA Guidance - Questions and Answers”, 2012. [Online]. Disponível em: [http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/cca\\_guidance\\_q\\_a.htm#5](http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/cca_guidance_q_a.htm#5). [Consultado: 25-jun-2013].
- [142] S. F. Ferrarini, H. S. dos Santos, L. G. Miranda, C. M. N. Azevedo, M. J. R. Pires, e S. M. Maia, “Classification of waste wood treated with chromated copper arsenate and boron/fluorine preservatives”, *Química Nova*, vol. 35, nº 9, p. 1767–1771, jan. 2012.
- [143] T. de P. Pinto, “Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil. A experiência do SindusCon-SP”. Obra Limpa; I&T; Sinduscom-SP, 2005.
- [144] CONAMA - Conselho Nacional do Meio ambiente, *Resolução nº 307*. 2002.
- [145] CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, “Uso sustentável da madeira na construção civil.” CBCS, ago-2009.
- [146] O. of P. P. US EPA, “Consumer Safety Information Sheet - Inorganic Arsenical Pressure-Treated Wood”, 2012. [Online]. Disponível em: [http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/cca\\_consumer\\_safety.htm](http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/cca_consumer_safety.htm). [Consultado: 25-jun-2013].

- [147] C.-H. Ko, P.-J. Chen, S.-H. Chen, F.-C. Chang, F.-C. Lin, e K.-K. Chen, “Extraction of chromium, copper, and arsenic from CCA-treated wood using biodegradable chelating agents”, *Bioresource Technology*, vol. 101, nº 5, p. 1528–1531, mar. 2010.
- [148] J. de C. Silva, “Madeira preservada – Os impactos ambientais”, *Revista da Madeira*, nº 100, nov-2006.
- [149] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2012.
- [150] Agência Amazônia, “O uso da madeira tratada na construção civil.”, 14-jan-2011. [Online]. Disponível em: <http://www.apreflorestas.com.br/noticias/construcao-civil/132/o-uso-da-madeira-tratada-na-construcao-civil>. [Consultado: 15-jun-2013].
- [151] Jenifer Rosa, “Associação cria selo para expandir o uso de madeira tratada”, <http://noticias.terra.com.br>, 25-jul-2012. [Online]. Disponível em: <http://noticias.terra.com.br/ciencia/sustentabilidade/900939160467b310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>. [Consultado: 25-jun-2013].
- [152] EcoD, “Mercado de madeira reflorestada já movimentou R\$ 600 milhões por ano no Brasil”, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2012/julho/mercado-de-madeira-tratada-ja-movimentou-r-600>. [Consultado: 25-jun-2013].
- [153] WRI e FGV, “Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol. Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa.”.
- [154] P. C. Alvalá, V. W. J. H. Kirchoff, e H. G. Pavão, “Metano na atmosfera. Produção de metano em regiões de queimadas e áreas alagadas.”, *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, vol. 2, nº 7, p. 40–43, fev-1999.
- [155] B. J. Zanchim, F. Furlan, e R. F. Garrone, “LSN 5897 - Matéria Orgânica do Solo. Revisão literária. Emissões de gases do solo em sistemas agrícolas.” Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, maio-2013.
- [156] ISO, “ISO 14044:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines”. 2006.
- [157] GHG Protocol, WRI - World Resources Institute, WBCSD - World Business Council for Sustainable Development, Business Council for Sustainable Development, e WBCSD - World, “Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard”. set-2011.
- [158] H. K. Gibbs, S. Brown, J. O. Niles, e J. A. Foley, “Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality”, *Environ. Res. Lett.*, vol. 2, nº 4, p. 045023, out. 2007.
- [159] S. Brown, “Measuring carbon in forests: current status and future challenges”, *Environmental Pollution*, vol. 116, nº 3, p. 363–372, mar. 2002.
- [160] L. B. Guo e R. M. Gifford, “Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis”, *Global Change Biology*, vol. 8, nº 4, p. 345–360, 2002.
- [161] K. E. Clemmensen, A. Bahr, O. Ovaskainen, A. Dahlberg, A. Ekblad, H. Wallander, J. Stenlid, R. D. Finlay, D. A. Wardle, e B. D. Lindahl, “Roots and Associated Fungi Drive Long-Term Carbon Sequestration in Boreal Forest”, *Science*, vol. 339, nº 6127, p. 1615–1618, mar. 2013.

## **6 Evaluación de las emisiones de dióxido de carbono y energía incorporada por el uso de la madera en el sector de viviendas en Brasil**

### **6.1 Objetivo**

El objetivo de este capítulo es investigar si el incremento del empleo de la madera en la construcción de viviendas en Brasil sirve para disminuir la energía incorporada y mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector y si puede considerarse un instrumento que las políticas públicas deban implementar.

Para ello, se analizaron escenarios de variaciones de CO<sub>2</sub> y energía resultantes del uso de la madera. Se definieron los factores de emisión de dióxido de carbono y energía incorporada de los materiales de construcción, se delimitaron el tipo y el tamaño más frecuente de viviendas en Brasil, se caracterizaron las técnicas constructivas de interés (albañilería y madera), se estimó el consumo de materiales por metro cuadrado de pared y superficie útil y se diseñaron escenarios para el estudio de las consecuencias del uso de la madera en la construcción de viviendas en Brasil. La aportación original de este capítulo está en la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada del sector, así como en los resultados sobre las consecuencias de implementar el uso de la madera para construcción de casas en el país.

### **6.2 Método**

Para conocer las implicaciones y variaciones en la energía incorporada (EI) y emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la construcción de viviendas en Brasil por el aumento del uso de la madera, se definió la investigación por medio de escenarios hipotéticos a partir de un escenario de referencia basado en el estado corriente de prácticas de la construcción de viviendas. Se discutieron variaciones causadas por cambios en los parámetros relacionados al uso de la madera y la vida útil de las viviendas.

Para limitar el estado actual de la construcción de viviendas, sus emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía incorporada fue necesario definir y relacionar los siguientes parámetros: tipo y tamaño de las viviendas más habituales, intensidad de la pared por metro cuadrado de superficie útil, técnicas constructivas usuales, consumo de material por metro cuadrado de pared y superficie útil, vida útil de las viviendas, factores de emisión de CO<sub>2</sub> y EI de los materiales, así como CO<sub>2</sub> y EI por metro cuadrado de superficie útil.

La caracterización de la vivienda en Brasil sirvió de base para el estudio de plantas de edificaciones que basaron la estimación de la intensidad de pared por metro cuadrado de superficie útil. Gracias a ellos y a la definición de las técnicas constructivas fue posible estimar el consumo de material por metro cuadrado de pared y superficie útil, que multiplicados por los factores de emisión de CO<sub>2</sub> y EI de los materiales tuvieron como resultado los valores de emisión de CO<sub>2</sub> y EI por metro cuadrado de pared y superficie útil. El cruce de informaciones sobre la evolución del parque de viviendas y la posible vida útil de las casas tuvo como resultado la estimación de unidades habitacionales construidas anualmente, con lo que se pudo estimar de forma aproximada los metros cuadrados construidos por año y sus consecuentes EI y CO<sub>2</sub>; lo que se consideró como escenario de referencia. Las implicaciones sobre el escenario de referencia se estudian mediante cambios en los parámetros de interés. Este proceso metodológico se representa de forma gráfica en la Fig. 6. 1 y la definición de los parámetros se detalla a continuación.

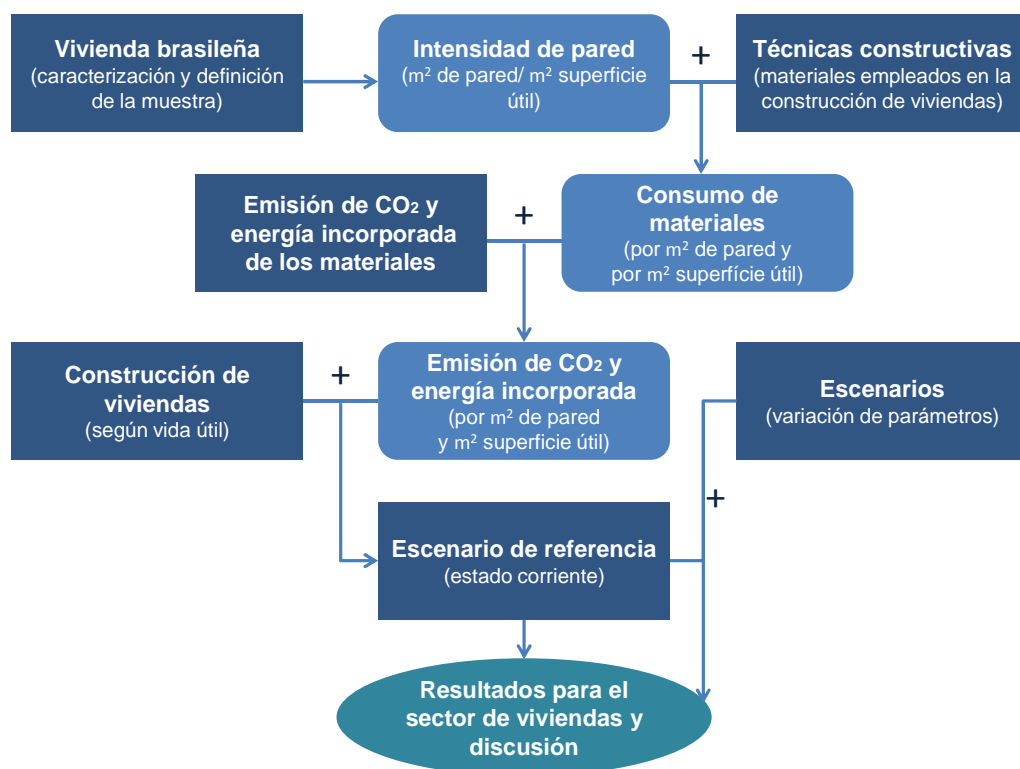
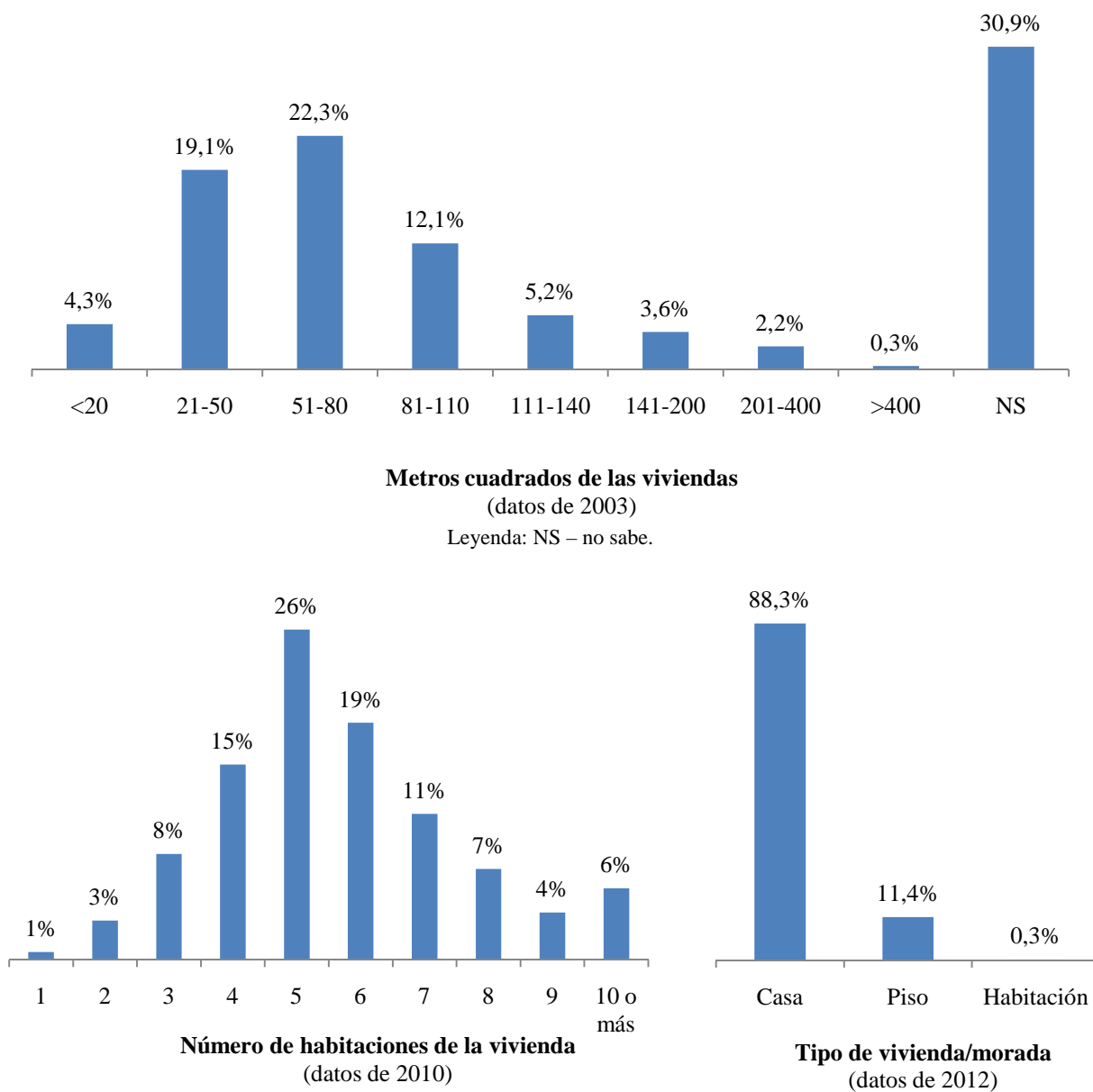


Fig. 6. 1 – Diagrama del método

### 6.2.1 Muestra de la vivienda en Brasil

La primera etapa fue conocer el perfil de la vivienda brasileña y delimitar las características más frecuentes, como tipo, tamaño y número de habitaciones. Para ello se utilizaron las informaciones disponibles de la PNAD (Encuesta Nacional por Muestreo de Domicilio) del IBGE (Instituto Brasileño de Geografía y Estadística) [1], del año 2012 (para tipo

de vivienda) y 2010 (para el número de habitaciones), así como datos del BME (Banco Multidimensional de Estadísticas) [2] del IBGE, del año 2003 (últimos disponibles), para conocer los tamaños de viviendas más frecuentes. Las residencias se caracterizan por ser un 88% casas, con entre una y tres habitaciones (96%) y entre 20 y 110 m<sup>2</sup> (53%) (Gráf. 6. 1).



**Gráf. 6. 1 - Caracterización de las viviendas brasileñas**

Sobre este perfil, y entendiendo que gran cantidad de unidades habitacionales se destinan a una población con bajos ingresos mensuales, se buscaron proyectos completos o plantas bajas<sup>1</sup> de viviendas (de albañilería y madera) que tuvieran el citado perfil. La recopilación de información se hizo por Internet en las webs del banco *Caixa Econômica*

<sup>1</sup> Plantas y fuentes de referencia en el apéndice de este capítulo.

*Federal*, de las Cohab (Compañías Metropolitanas de Viviendas), de constructoras que trabajan en el programa federal habitacional MCMV (*Minha Casa Minha Vida*), de una empresa especializada en venta de proyectos a bajo precio, de empresas de viviendas prefabricadas de madera, trabajos académicos, demás sitios de Internet que disponían de plantas referentes a vivienda de interés social, viviendas generalistas, programa MCMV, BNH (Banco Nacional de Vivienda) y casas de madera; y mediante una visita a la CDHU (Compañía de Desarrollo Habitacional Urbano) de São Paulo y empresas de viviendas prefabricadas localizadas en la ciudad de São Paulo, en la calle Vicente Rao.

Se recopilaron ciento cuarenta y dos proyectos (setenta y dos de albañilería y setenta de madera), se descartaron aquellos con mala calidad visual que imposibilitaba o perjudicaba la lectura de la información, los demás se numeraron y sortearon de forma aleatoria con ayuda de la herramienta Excel, quedando ochenta proyectos<sup>2</sup> (cuarenta para cada técnica constructiva).

### **6.2.2 Intensidad de pared de la vivienda**

Para definir la intensidad de pared por superficie útil de la muestra de la vivienda brasileña, se utilizaron los ochenta proyectos seleccionados. La superficie útil fue verificada cuando la información era constante en planta o estimada según dimensiones descritas o medidas. La superficie de pared se calculó considerando dimensiones escritas en proyecto o medidas en planta. La superficie del porche<sup>3</sup> y del garaje no se tuvo en consideración. La altura del techo, cuando no se conocía o no se podía comprobar se consideró de 2,60 metros. Los vacíos de ventanas, puertas y vanos se descontaron de la superficie de pared según informaciones de proyecto o medidas en planta. Cuando no se tenía información, se consideró que la altura de las ventanas era 1,20 m, para las generales, y 0,60 m, para el baño; y su anchura se midió en planta. Las puertas, cuyas medidas no fueron informadas o no era posible la precisión de medida debido a la escala o la calidad del proyecto, se consideraron de 0,80 x 2,10 m, para las puertas generales, y de 0,70 x 2,10 m, para el baño. La altura de los vanos se consideró de 2,10 metros.

Las viviendas de madera suelen tener paredes de albañilería en las zonas húmedas (cocina y baño). Estas se consideraron según lo indicado en proyecto. Cuando no estaba identificado en planta, se consideró que las paredes perimetrales del baño y cocina eran de albañilería. En el caso de cocinas abiertas, se consideraron de albañilería aquellas paredes donde estaban ubicadas las piezas de cocina (fregadero, nevera, fogón).

---

<sup>2</sup> Anexos en el apéndice de este capítulo.

<sup>3</sup> Por porche se entiende zona cubierta, sin paredes, en el exterior de la vivienda, con función de protección solar y espacio para ocio.



### 6.2.3 Técnicas constructivas

Se señalaron dos técnicas constructivas: albañilería y madera. La primera por ser la más utilizada en Brasil, con un ~92% de las unidades habitacionales, un incremento constante en los últimos cuarenta años [1] y las preferidas del público<sup>4</sup>. La segunda por ser objeto de interés de este estudio. Para realizar esta caracterización no se tuvieron en consideración el suelo, el tejado, las puertas ni las ventanas, porque estos elementos pueden ser equivalentes en ambas técnicas constructivas. Tampoco se tuvo en cuenta la cimentación, pues varía según el tipo de suelo y las condiciones topográficas, lo que podría favorecer a la albañilería, que en situaciones comunes necesita una cimentación más robusta que la madera. Tampoco se consideraron los acabados de pared, como azulejos, piezas cerámicas, piedras, pinturas, revestimientos decorativos; solo se tuvo en cuenta el revoco. Según observación presencial y de imágenes en Internet, en viviendas generalistas no son comunes estructuras de hormigón armado como pilares y vigas, siendo las paredes autoportantes. De esta forma, los análisis enfocan los materiales de las paredes (internas y externas).

La técnica constructiva de **albañilería** se refiere a construcciones con paredes edificadas con material cerámico (ladrillo macizo o agujereado) o cementicio (bloque de hormigón). Hay diversos tipos de piezas en el mercado, lo que dificulta la definición de un tipo para representar esta técnica constructiva. Además, dos piezas de mismo modelo y dimensión nominal pueden variar sus medidas reales y masa. Así, las estimaciones referentes a la albañilería consideran diversos tipos de piezas de cierre, cerámicas y cementicias, encontrados en el mercado para demarcar los valores mínimos y máximos, el ladrillo agujereado de 9 x 19 x 29 cm y el bloque de hormigón de 9 x 19 x 39 cm para delimitar los valores medianos.

El revestimiento de las piezas (revoco) depende del nivel económico de la residencia, así las viviendas autoconstruidas pueden no presentar revoco en las caras exteriores de las paredes. En este estudio se ha considerado que las paredes tienen revoco interno y externo de mortero, con espesor de 2,5 cm, y asentamiento de las piezas también con mortero, con espesor de 1 cm en las caras lateral y superior de las piezas. La composición del mortero, así como la proporción entre los materiales (cemento, cal<sup>5</sup> y arena), pueden variar según su aplicación. En este estudio se consideraron diversas posibilidades de composición y proporción<sup>6</sup> y se emplearon los valores de EI y CO<sub>2</sub> mínimos y máximos resultantes de estas.

---

<sup>4</sup> Se ha tratado en el capítulo 3.

<sup>5</sup> No es obligatorio.

<sup>6</sup> En el apéndice de este capítulo.

Sobre las paredes de albañilería puede existir un zuncho perimetral de hormigón armado. Como no está presente en todas las viviendas de albañilería, se tuvo en cuenta en las estimaciones de CO<sub>2</sub> y EI de las paredes de ladrillo cerámico con mayor consumo de material, para limitar el punto máximo del rango de variación, y no se tuvo en cuenta en las paredes de ladrillo cerámico con menor consumo de material, para demarcar el punto mínimo del rango de variación. En el caso de las paredes de bloque de hormigón se consideró en todos los casos por ser una práctica corriente. El zuncho de hormigón armado fue estimado con ancho igual al de la pared y altura equivalente al de la pieza de la pared considerada. En el zuncho se utilizan dos barras de acero con diámetros entre 5 y 8 mm según referencias (que se describen a continuación). El hormigón también está presente en los dinteles sobre puertas y ventanas, en todas las paredes de albañilería. La proporción entre los materiales que componen el hormigón es variable, por lo que se consideraron aquellas más usuales<sup>7</sup>, con una resistencia entre 20 y 25 MPa.

La caracterización de las viviendas de albañilería se basó en la información de la TCPO (Tabla de Composición de Precios para Presupuestos) [3], muy utilizada en el sector de la construcción en Brasil, del cuaderno del CUB (Coste Unitario Básico), fuente de referencia nacional sobre los precios de la construcción [4], del Manual para la Autoconstrucción de la ABCP (Asociación Brasileña de Cemento Portland) [5], documento que describe practicas comunes, describe materiales de viviendas de albañilería de la CDHU (Compañía de Desarrollo Habitacional y Urbano) [6], de los documentos de especificaciones mínimas para casas del programa MCMV [7] y de los *Cadernos de la Caixa Econômica Federal* [8].

Las edificaciones de **madera** en Brasil utilizan cuatro técnicas constructivas generales (así como descritas y denominadas en el capítulo 4): “tapajuntas, macho-hembra, entramado leve de madera y troncos”. En este capítulo no se han tenido en cuenta las dos últimas pues representan una cuota muy pequeña de mercado. Los análisis referentes a la técnica constructiva de madera consideraron dos tipos de edificaciones: prefabricadas (machihembrados, aunque también en menor proporción) y construidas *in situ* (tapajuntas). La primera puede tener pared simple o doble y la segunda es de pared simple. Los valores entre mínimos y máximos siguieron los consumos de material extremos encontrados. El mínimo se refiere a una capa de 2 cm de espesor y el máximo a dos capas, de las que una es de 2,5 cm de espesor y la otra de 4,5 cm, cámara de aire de 5 cm (según lo encontrado en la muestra de empresas de casas prefabricadas de madera en el capítulo 4), la mediana se acerca a paredes de una capa de 2,5 a 3,5 cm de

---

<sup>7</sup> En el apéndice de este capítulo.

espesor. Aunque la madera nativa sea más utilizada, este estudio tuvo en cuenta también la plantada.

La caracterización de las viviendas de madera se basa en las informaciones del capítulo 4, resultante de investigaciones en sitios de Internet y catálogos impresos de cincuenta empresas fabricantes o comerciantes de casas de madera, así como en la observación de ejemplares localizados en la avenida Profesor Vicente Rao, en la ciudad de São Paulo, estado de São Paulo, y otros, en la ciudad de Londrina, estado de Paraná.

#### 6.2.4 Consumo de materiales

El consumo de materiales se calculó por metro cuadrado de pared, considerando las técnicas constructivas, los materiales y los espesores comentados en el apartado anterior. Para definir el rango de variación entre valores mínimos y máximos de intensidad de material empleado en la pared de albañilería, se hizo una recopilación de los tipos de piezas para cierre, disponibles en el mercado, investigando en sitios web de venta de materiales de construcción<sup>8</sup>. Se estudiaron sus dimensiones y masas (declarados) y a partir de ahí se eligió la pieza más ligera, para demarcar el punto mínimo del rango de variación, y la más pesada, para el máximo. Los valores identificados y utilizados en las estimaciones se pueden consultar en la Tab. 6. 1. El mortero utilizado para el asentamiento de las piezas y acabado interno y externo, consideró los espesores comentados en el apartado anterior. El consumo de material en las paredes de madera también respetó la caracterización descrita en el epígrafe anterior.

**Tab. 6. 1 - Masas consideradas para piezas que componen paredes de albañilería**

Tipos de piezas	Masa (kg)		
	Mínima	Máxima	Mediana
Cerámica*	1,3	7,5	2,2 - 2,5
Hormigón**	7,0	16,2	7,0 - 12,9

\* Incluye piezas cerámicas como ladrillo macizo y hueco. Valores referentes al ladrillo macizo de 5 x 10,5 x 22, ladrillo hueco de 19 x 19 x 39, y ladrillo hueco de 9 x 19 x 39, respectivamente.

\*\* Incluye bloques de hormigón. Valores referentes a los bloques de hormigón de 9 x 19 x 39, 19 x 19 x 39 y 9 x 19 x 39, respectivamente.

REF.: [9][10][11][12][13][14][15][16][17][18][19][20][21][22][23][24][25]

Definida la cantidad de piezas/material por metro cuadrado de pared, se estimó su masa por metro cuadrado de pared, que sirvió de base para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y EI. La cantidad de piezas cerámicas o bloques de hormigón se multiplicaron por las masas declaradas en los sitios de Internet (Tab. 6. 1); el mortero, por el peso específico entre 1.400 y 2.300 kg/m<sup>3</sup>; el hormigón, entre 2.200 y 2.500 kg/m<sup>3</sup>; y el acero, entre 7.800 y 8.005 kg/m<sup>3</sup> (pesos específicos

<sup>8</sup> Fuente de referencia y pesos en el apéndice de este capítulo.

derivados de las referencias [26][27][28][29] y la normativa [30]). La madera se multiplicó por su densidad básica mediana, nativa  $700 \text{ kg/m}^3$ , y plantada  $520 \text{ kg/m}^3$ , tal como se definió en el capítulo 5. La intensidad de masa por metro cuadrado de pared resultante se expone en la Tab. 6. 2:

**Tab. 6. 2 - Consumo estimado de materiales por metro cuadrado de pared**

	Mínimo ( $\text{kg/m}^2$ )	Máximo ( $\text{kg/m}^2$ )	Mediana ( $\text{kg/m}^2$ )
<b>Pared albañilería:</b>			
Bloque de hormigón	88	203	88 - 161
Mortero	75	131	75 - 122
Hormigón	17	41	17 - 49
Acero	0,1	0,2	0,1 - 0,2
Bloque cerámico	49	94	55 - 63
Mortero	79	147	82 - 135
Hormigón*	1	41	17 - 19
Acero**	0	2	0,1
<b>Pared madera:</b>			
Madera nativa	15	55	19
Madera plantada	12	41	14

\* La diferencia entre valor mínimo y máximo se refiere, respectivamente, a un sistema constructivo que no utiliza zuncho perimetral superior (hormigón presente solo en los dinteles) y un sistema constructivo que utiliza zuncho perimetral superior (hormigón presente en zuncho y dinteles).

\*\* La diferencia entre valor mínimo y máximo se refiere, respectivamente, a un sistema constructivo que no utiliza zuncho perimetral superior y a un sistema constructivo que utiliza zuncho perimetral superior.

### 6.2.5 Factores de emisión de $\text{CO}_2$ y energía incorporada de los materiales

Se definieron los factores de emisión de dióxido de carbono y energía incorporada para los principales materiales utilizados en las construcciones convencionales de albañilería y de madera en Brasil, que son: cemento, grava, arena, cal, yeso, bloque cerámico, bloque de hormigón<sup>9</sup>, acero y madera. Se buscaron índices más próximos a la realidad del país mediante referencias nacionales y factores estimados según datos oficiales de órganos del gobierno como el Ministerio de la Ciencia y Tecnología (MCT), el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), el Ministerio del Desarrollo, Industria y Comercio Exterior (MDIC), el Ministerio de Minas y Energía (MME), así como de las instituciones sectoriales de la industria nacional e investigaciones científicas.

Las estimaciones hechas a partir de referencias consideraron solamente la quema directa de los combustibles en la producción de los materiales. No se tuvieron en cuenta las emisiones de  $\text{CO}_2$  y energía incorporada en la producción y transporte de los combustibles. Los factores de

<sup>9</sup> No es tan común como el bloque cerámico, pero se consideró en este estudio pues se ha utilizado en las obras del programa *Minha Casa Minha Vida*, que es el mayor programa habitacional del país.

conversión entre cantidad de combustibles y energía y CO<sub>2</sub> son los mismos que los utilizados en el capítulo 5 (Tab. 6. 3).

**Tab. 6. 3 - Factores de conversión para energía y emisiones de CO<sub>2</sub>**

	Unidad	MJ/ud	kgCO <sub>2</sub> /ud	Ref.
Energía eléctrica	1kWh	3,60	0,04	[31][32]
Diesel	1L	35,52	2,68	[32][33][34][35]
Gasolina	1L	32,22	2,11	[32][33][36][34] [37][35]
Alcohol etílico hidratado	1L	21,34	1,47	[32][38][34][35]
Gas licuado de petróleo	1L	25,56	1,61	[32][39][38][35] [37]
Licor negro	1kg	11,97	1,13	[32][35][38]
Carbón mineral (coque)	1kg	28,89	2,65	[32][38][37][35]
Biomasa (madera), contenido de humedad 60-64% <sup>1</sup>	1kg	12,98	1,46	[32][38][37][35] [40]
Biomasa (madera) empresa 1, contenido de humedad 60-64% <sup>1</sup>	1kg	5,12	0,57	[40][32]
Biomasa (madera), empresa 2, cont. de humedad 45-50% <sup>2</sup>	1kg	8,37	0,94	[40][32]
Biomasa (madera), contenido de humedad 60% <sup>3</sup>	1kg	6,07	0,68	[32][40][41][42] [43]
Biomasa (madera), contenido de humedad 35% <sup>4</sup>	1kg	11,50	1,29	[32][40][43]

<sup>1</sup> Información del contenido de humedad facilitado por el informe técnico hecho para la empresa que caracteriza la biomasa utilizada con poder calorífico inferior a 1.172 – 1.273 Kcal/kg.

<sup>2</sup> Información proporcionada por la empresa que caracteriza la biomasa utilizada con poder calorífico inferior de 2000 Kcal/kg.

<sup>3</sup> Contenido de humedad máximo/crítico para quema de biomasa verde [41].

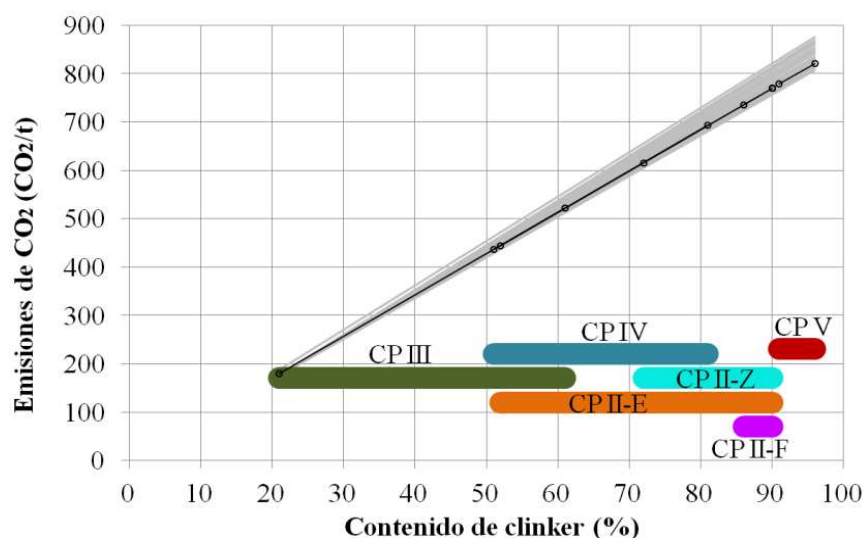
<sup>4</sup> Contenido de humedad medio considerado para la biomasa almacenada [41].

Debido a la heterogeneidad de sistemas de producción (existente en algunas cadenas de manufactura de materiales), las variaciones metodológicas entre referencias y presumibles aproximaciones en recopilación de datos primarios, se decidió asumir rangos de variación entre valores mínimos y máximos para las emisiones de CO<sub>2</sub> y EI de cada material. Con ello, se cree que se llegará a más escenarios posibles dentro de la construcción en el país (que varía mucho según la región) y no se tomará como verdadero un único resultado, que puede favorecer malas conductas o perjudicar a las buenas. Las especificidades que afectan la EI y la emisión de CO<sub>2</sub> de cada material se explican a continuación enfocándose en la realidad brasileña y se presentan los rangos adoptados para cada material:

### 6.2.5.1 Cemento

La diferenciación del contenido de clinker en el cemento es un factor que influencia las variaciones en las emisiones de CO<sub>2</sub>. En Brasil, el porcentaje de clinker, así como sus sustituciones, son normalizados por la NBR 11.578, la NBR 5.733, la NBR 5.735 y la NBR 5.736. Se definen seis tipos de cemento (CP II-F, CP II-Z, CP II-E, CP III, CPIV y CP IV-ARI), donde el CP III es lo que admite menor contenido de *clinker* (del 25% al 65%) y el CP IV-ARI, el mayor (del 95% al 100%). Sin embargo, los porcentajes de adición de clinker permitidos para cada tipo de cemento varían de manera que en algunos casos un CP-IV o CPII-E pueden tener

menos clinker que un CPIII. De este modo, la definición del uso de un cemento tipo CP III, por ejemplo, por sí solo no garantiza una menor emisión de CO<sub>2</sub> (Gráf. 6. 2).



**Gráf. 6. 2 - Emisión media de los cementos brasileños según los contenidos de clinker permitidos por normalización. En gris se representa el rango de emisión medio estimado para tres grandes empresas cementeras en Brasil.**

Fuente de la ilustración: [44]

Según Oliveria (2014)[44], la franja de variación de contenido de clinker es necesaria puesto que la industria cementera no controla el volumen de oferta ni tampoco la reactividad de las adiciones activas (escorias y cenizas volantes). En épocas de mayor demanda, donde la producción de cemento crece más que la de acero o la de energía, el contenido de adiciones disminuye. Además, la variación de adiciones también depende del suministro. Una empresa en la región nordeste, por ejemplo, tendrá menos posibilidad de contar con escoria, lo que provoca un mayor uso de clinker o la necesidad de producción de puzolanas artificiales. Tanto estos factores como la matriz energética y la tecnología empleada por la empresa variarán las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía [44].

Considerando los porcentajes de sustitución de clinker admitidos por las normas, se tiene que las emisiones mínimas de CO<sub>2</sub> del cemento brasileño son de 180 kgCO<sub>2</sub>/t (para un CP-III con 21 o 25% de clinker y 4% de sulfato de calcio) y la máxima de 821 kgCO<sub>2</sub>/t (para un CPV-ARI con 96% de clinker y 4% de sulfato de calcio), en la puerta de la industria. Estos valores no consideran las emisiones de transporte, de eventuales procesos de secado de las adiciones y las emisiones asignadas a los residuos (escoria y ceniza volante) de otros procesos [44]. Aunque en Europa estos ya no se consideran residuos [45] y existe la tendencia de asignarles las emisiones de CO<sub>2</sub>, en Brasil todavía no hay una política que defina este parámetro. La asignación de CO<sub>2</sub> a los residuos, si se tiene en consideración, resulta en una variación

significativa de las emisiones del cemento y los productos derivados. Según el SNIC (2012), la emisión media del cemento brasileño es aproximadamente de 580 kgCO<sub>2</sub> por tonelada [46] y, según Lima (2010), la media estimada es de 659 kgCO<sub>2</sub>/t. Ambas dentro del rango encontrado para algunos países<sup>10</sup> de Europa, que varía entre 134 y 918 kgCO<sub>2</sub>/t (en la puerta de la industria), dependiendo del tipo de adición y contenido de clinker y consideradas las emisiones de reacciones químicas y consumo de combustibles fósiles (datos de 2004)[47][48].

La energía incorporada del cemento se calculó según datos oficiales de la producción total de cemento y consumo energético total del sector publicados en el Informe Anual del SNIC (Sindicato Nacional de la Industria de Cemento) [46] y en el informe Balance Energético Nacional del Ministerio de Minas y Energía [49], respectivamente; también por medio de informaciones a respecto del consumo de energía térmica y eléctrica y el contenido medio de clinker en el cemento de Brasil (68,1%) disponibles en el banco de datos Proyecto GNR del WBCSD (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible) [50]. Las informaciones utilizadas se refieren a 2011 y 2012 (cuando se tiene acceso a ellas). El rango de variación para la energía incorporada fue de 2,9 a 3,3 GJ por tonelada de cemento, en la puerta de la industria, y se consideró la energía térmica y eléctrica. Los valores encontrados para algunos países europeos variaron de 1,1 a 5,3 GJ/t de cemento (media de 4,3 GJ/t), en la puerta de la industria, y se consideró la energía térmica y eléctrica [47][48]. Así, los valores adoptados para este estudio de CO<sub>2</sub> y EI en el cemento se muestran en la Tab. 6. 4:

**Tab. 6. 4 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el cemento<sup>11</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
Mínimo	180	1.154
Máximo	821	3.862
<b>España</b> (valor de referencia*)	833	3.778

\* Ref.: [51].

### 6.2.5.2 Cal hidratada

La cal (CaO o CaMgO<sub>2</sub>) es el producto de la calcinación de piedras calizas y dolomías metamórficas, en Brasil, con edad geológica muy antigua (precámbrico) y pureza variable [52]. En el mercado hay la cal viva y apagada (que resultada de la combinación química entre cal viva y agua)[53]. Esta última es la más utilizada en la construcción nacional [54]. Las aplicaciones de la cal en el sector varían desde la composición de morteros hasta tintas [55]. En el proceso de

<sup>10</sup> Los países son: Holanda, Suiza, Suecia, Finlandia, Países nórdicos y Austria.

<sup>11</sup> Véanse los calores de referencia y los estimados en el anexo a este capítulo.

producción se distinguen las etapas principales de trituración de la materia prima, calcinación, hidratación (en el caso de la cal apagada) y moledura [54].

El mayor consumo de energía en la producción de la cal se produce en el proceso de calcinación (o descarbonatación). Los combustibles más utilizados son coque de carbón (30%), gas natural (20%), leña (20%), fueloil (20%) y carbón (10%)[54][52]. La variación de consumo de combustibles está directamente ligada al tipo de horno. En Brasil se usan hornos de *barranco* y *vertical*<sup>12</sup> que poseen importantes variaciones tecnológicas que afectan directamente a la eficiencia energética y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Un horno de barranco discontinuo, por ejemplo, consume aproximadamente tres veces más fueloil que uno vertical metálico de tanques múltiples y flujos paralelos, estos, respectivamente, tienen unas emisiones de 823 y 262 kgCO<sub>2</sub><sup>13</sup> por tonelada de cal viva.

Hay discrepancia tecnológica porque el sector está caracterizado por la heterogeneidad, en el que se encuentran desde grandes empresas verticales, que tienen íntegramente el proceso de fabricación, hasta pequeños productores de gestión familiar, que utilizan técnicas rudimentarias de manufactura [52]. Los pequeños productores muchas veces actúan de manera irregular, lo que incrementa aun más la alta clandestinidad existente en el sector, mientras que las grandes empresas poseen sistemas organizativos comprobables con los de países desarrollados productores de cal [52].

Otra fuente de emisión está en la descomposición del caliza<sup>14</sup> ( $\text{CaCO}_3 + \text{calor} = \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) [53]. La cantidad de dióxido de carbono emitido depende de la temperatura en el proceso de calcinación y del contenido de impurezas. La norma brasileña NBR 7.175:2003 clasifica las cales apagadas según límites de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) (entre el 5% y el 13% en la fábrica) y óxidos de calcio y magnesio no hidratados (entre el 10% y el 15%)[56]. Además, en los cálculos de CO<sub>2</sub> debe considerarse el porcentaje de insolubles (sílice y otros). Tomando por base la cal apagada (más común en la construcción), se estimaron las emisiones de dióxido de carbono del proceso de calcinación por medio del cálculo estequiométrico, considerando los porcentajes de

---

<sup>12</sup> **Horno de barranco discontinuo** es de “mampostería, toscamente construido, con revestimiento de ladrillo común recocido o sin revestimiento, generalmente enclavado en ladera de pequeñas elevaciones, discontinuo, con carga y descarga manuales”; **horno de barranco continuo** es de “mampostería, bien construido, alto, con chimenea, cilíndrico, con revestimiento de ladrillos recocidos y refractarios, generalmente enclavado en ladera y sostenido por estructura de albañilería o metálica, con carga y descarga semiautomática”; **horno vertical metálico de tanque sencillo** es “metálico, continuo, con tiraje forzado y control termodinámico, cilíndrico, con revestimiento refractario y aislante, carga y descarga automática; **horno vertical metálico de tanques múltiples y flujos paralelos** es “metálico, continuo, con tiraje forzado y control termodinámico, sección circular o rectangular, revestimiento interno refractario y aislante, carga y descarga automáticos”[52].

<sup>13</sup> Valores estimados según el consumo de combustibles en los hornos, declarados por la referencia [52], y factores de emisión según la referencia [49].

<sup>14</sup> O de la dolomía ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 + \text{calor} = \text{CaO} \cdot \text{MgO} + \text{CO}_2$ )[53].



impurezas permitidos por norma. Junto a esto se estimó (o se consideraron datos declarados) las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada del proceso de producción según la información de un estudio sectorial del MME (Ministerio de Minas y Energía) [52], del primer y segundo Inventarios Brasileño de Emisiones [53][33] y de una tesis de máster [55]; y se definió el rango utilizado en este estudio conforme la Tab. 6. 5:

**Tab. 6. 5 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para la cal hidratada<sup>15</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
Mínimo	659	2.013
Máximo	939	4.350
<b>España</b> (valor de referencia*)	830	4.820

\* Ref.: [51].

### 6.2.5.3 Yeso

En la construcción civil, el yeso (sulfato de calcio dihidratado) puede utilizarse en la industria del cemento en estado crudo (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) o puede calcinarse (parcialmente deshidratado a temperaturas superiores a 160°C) y usarse como revestimiento de paredes, bloques, paneles, etc. [54][57]. El proceso productivo pasa por las fases de molienda de la materia prima (el aljez es el producto), calcinación, hidratación y molienda (el yeso es el producto)[54]. La tecnología de los equipamientos varía según el tamaño de la empresa. El sector se caracteriza por grandes empresas transnacionales (con tecnología de minería equivalente a estándares internacionales, aunque con una productividad menor) y empresas de tamaño micro, pequeño y medio [57][54][58] en las que hay gran informalidad [57]. Así, para la manufactura del yeso *beta* producido para la construcción se utilizan varios tipos de hornos<sup>16</sup> que operan bajo presión atmosférica y tienen diferentes niveles de control del proceso [57]. La eficiencia energética de estos puede variar hasta siete veces (de 1.638 Mcal/t yeso en un horno tipo *panela*, por ejemplo, para 243 Mcal/t de yeso, para un horno rotativo [58]).

El mayor consumo de energía se produce en la calcinación [54]. Algunos combustibles<sup>17</sup> utilizados son el coque de petróleo, el fueloil y el diesel, entre otros<sup>18</sup>. Aunque haya intereses en usar el gas natural, el principal insumo energético es la leña [57][58][54], de la

<sup>15</sup> Valores de referencia y estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.

<sup>16</sup> Tipo *panela*, *marmita* vertical, *marmita* horizontal y rotativo de quema indirecta [57].

<sup>17</sup> En un estudio hecho con una muestra representativa de empresas del polo yesero de Araripe (localidad del estado de Pernambuco, en la región nordeste, suministran cerca del 95% del yeso consumido en el país), se constató la distribución del consumo total de energía según el tipo de fuente: leña: el 73%, coque: el 10%, fueloil: el 8%, aceite residual: el 1%, diesel: el 5%, energía eléctrica: el 3% [59].

<sup>18</sup> Entre otros combustibles están el gas licuado de petróleo, el aceite residual, la cáscara de babasú y el serrín [57][57][58][54].

que cerca del 80% proveniente de la deforestación de la *caatinga*<sup>19</sup> [59]. Con independencia de si la leña proviene de deforestación autorizada o ilegal, el impacto ambiental es grande ya que no hay planes de recomposición forestal o recuperación de zonas degradadas [58]. *Se ha considerado en este estudio solamente las emisiones directas de los combustibles*, sin embargo, es necesario tener presente que el uso de madera nativa de modo predatorio puede aumentar las emisiones de CO<sub>2</sub> en hasta tres órdenes de magnitud.

La calcinación del yeso no emite CO<sub>2</sub> por transformaciones químicas ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{calor} = \text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O} + \text{vapor (1 1/2H}_2\text{O)}$ ) [55], por ello, en las emisiones y energía incorporada del yeso se consideraron solo en proceso productivo. El rango se definió de acuerdo con los datos declarados en la Guía del Sinduscon-SP (Sindicato de la Construcción del Estado de São Paulo) [61], una tesis de máster y un estudio sectorial [54][55]; y parte se estimó según las informaciones presentes en referencias bibliográficas sobre el yeso [54][58][62]. Los valores adoptados se muestran en la Tab. 6. 6:

**Tab. 6. 6 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el yeso<sup>20</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
Mínimo	74	1.017
Máximo	771	6.882
<b>España</b> (valor de referencia*)	160	1.800

\* Ref.: [51]

#### 6.2.5.4 Agregados

Con el término agregados se hace referencia a materiales granulares sin forma estandarizada con propiedades y tamaños establecidos para la construcción [63]. La arena se considera un agregado fino y la grava, grueso [64]. La arena está compuesta predominantemente por cuarzo y puede obtenerse de depósitos de lechos de ríos, vegas, llanuras aluviales, depósitos lacustres, rocas sedimentarias y mantos de cambio de rocas cristalinas. En Brasil, se consideran tres métodos de extracción: 1) desmonte hidráulico; 2) desmonte mecánico; 3) dragado (Tab. 6. 7) [65][66]. El procesamiento consiste en la separación granulométrica de la arena (diámetro entre 0,05 y 4,8 mm) en cribas, silos de decantación o hidrociclonado. Casi siempre se comercializa en su estado natural, por lo que solo se extrae el material orgánico y arcillas. En la construcción también se utiliza la arena resultante del proceso de trituración de la grava, llamada

<sup>19</sup> Bioma brasileño, con “formación vegetal xerófila del nordeste de Brasil se compone de arbustos espinosos y cactus. Puede ser cerrado e impenetrable, o abierto, según las condiciones climáticas y del suelo” [60].

<sup>20</sup> Los valores de referencia y estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.

“arena de grava”[65]. Entre el 70% y el 90% de la producción de arena en Brasil proviene de lecho de río[66][67].

La grava está formada por varios tipos de material rocoso extraído de colinas y resultante de fragmentación mecánica de la roca [67][68]. El proceso de producción comienza con el primer desmonte hecho con explosivos, trituración (varias veces hasta que se llegue al diámetro deseado, puede ser por vía seca o húmeda con lavado del material) y clasificación según el diámetro normalizado (entre 4,8 mm y 100 mm) [68][67][64].

**Tab. 6. 7 - Cuadro síntesis de los métodos de extracción/producción de agregados**

<b>Arena</b>		
<b>Método</b>	<b>Local</b>	
Dragado	Lecho de río	Consiste en el dragado de sedimentos de lechos de ríos poco profundos.
	Cavidad sumergida	Consiste en el dragado de la arena de la base y paredes laterales de una cavidad.
Desmonte hidráulico	Cavidad seca	Consiste en la desagregación de la arena por chorro de agua a gran presión.
Desmonte mecánico	Cavidad seca	Consiste en la excavación mecánica directa para obtención del material.
<b>Grava</b>		
Desmonte, trituración y clasificación	Labra	Consiste en el desmonte de la pared rocosa por medio de explosivos, posterior trituración y clasificación de la grava según su diámetro.
Fuente de referencia: [65][66][67][64]		

Las emisiones y consumo energético en el proceso de manufactura de los agregados son bajos. La EI y CO<sub>2</sub> básicamente resultan del consumo de combustibles fósiles y electricidad para los equipos. El transporte hasta el consumidor es la etapa que más aumenta la EI y CO<sub>2</sub>. Entre el 40% y el 74% de las emisiones totales se producen durante el transporte [67][69]. Las distancias recorridas varían entre 25 y 200 km [69][67] (considerando solamente el suministro entre la región metropolitana de São Paulo y el polo productor más cercano)[67][64]. Unas distancias mayores, además de aumentar los impactos ambientales, incrementan el precio del producto. Cerca de dos terceras partes del precio de la arena se deben a su transporte [66].

Agregados reciclados, de centros fijos o móviles, son una alternativa para reducir algunos impactos ya que presentan, de media, emisiones de CO<sub>2</sub> un 53%<sup>21</sup> más bajas que una pedrera convencional y energía un 43%<sup>22</sup> inferior (considerando solamente procesos de puerta a puerta). El uso de agregado reciclado depende de la disponibilidad de residuos y de una buena

<sup>21</sup> Porcentaje estimado según media de los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada para agregados de pedreras convencionales, centros de reciclaje fijos y móviles del un estudio hecho en la Universidade de São Paulo [67].

<sup>22</sup> Porcentaje estimado según la media de los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada para agregados de pedreras convencionales, centros de reciclaje fijos y móviles de un estudio hecho en la Universidade de São Paulo [67].

relación coste-beneficio. En Brasil, es un mercado poco significativo, que a pesar de la capacidad técnica de producción, todavía sufre resistencia [69].

La definición de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada consideró informaciones de investigaciones de máster y doctorado [67][69][70][71][48], así como un informe sectorial [72] e índices hasta la puerta de la fábrica, sin considerar el transporte hasta el consumidor. Aunque la utilización del agregado reciclado no sea muy grande, se admitieron sus valores de referencia pues es un producto que se encuentra en el mercado. De igual manera, también se comercializan productos de fuente ilegal [69][73], que no se contabilizan estadísticamente y cuya eficiencia no se puede controlar. En el sector de agregados no hay datos estadísticos más precisos y existe un alto grado de incertidumbre además de la heterogeneidad en los mercados en las diversas regiones [66][67][64]. De esta forma, se decidió utilizar un rango mayor de variación, como se presenta en la Tab. 6. 8:

**Tab. 6. 8 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para los agregados<sup>23</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
<b>Arena</b>		
Mínimo	1	5
Máximo	6	60
<b>Grava</b>		
Mínimo	1	15
Máximo	5	80
<b>España</b> (valor de referencia*)		
Mínimo	7**	100**
Máximo	8	150

\* Ref.: [51]  
\*\* reciclado

### 6.2.5.5 Acero

En Brasil hay dos rutas para la producción de acero: en fábrica integrada o en fábrica semiintegrada [74][75][76]. La primera, produce coque, sinterizado, arrabio o hierro esponja y acero [74][55]. Los principales insumos utilizados son mineral de hierro, carbón (mineral o vegetal), caliza, chatarra ferrosa y gas natural [74][76]. Consiste en la reducción del óxido de hierro para arrabio o hierro esponja y su posterior refinado y reducción del contenido de carbono para la producción del acero. El proceso puede ocurrir vía alto horno (produce arrabio) o reducción directa (produce hierro esponja) (Fig. 6. 2) [74][76]. La segunda ruta es por medio de horno de arco eléctrico, que no tiene la fase de reducción del mineral de hierro y los principales insumos son chatarra ferrosa y electricidad [74][76][77][55] (que en Brasil presenta el 79% de la mezcla energética proveniente de fuentes renovables [32]) (Fig. 6. 2). Ambas rutas tienen fases

<sup>23</sup> Los valores de referencia y estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.

de laminación y acabado, generación de calor y electricidad y suministran al mercado una gama variada de productos [74].

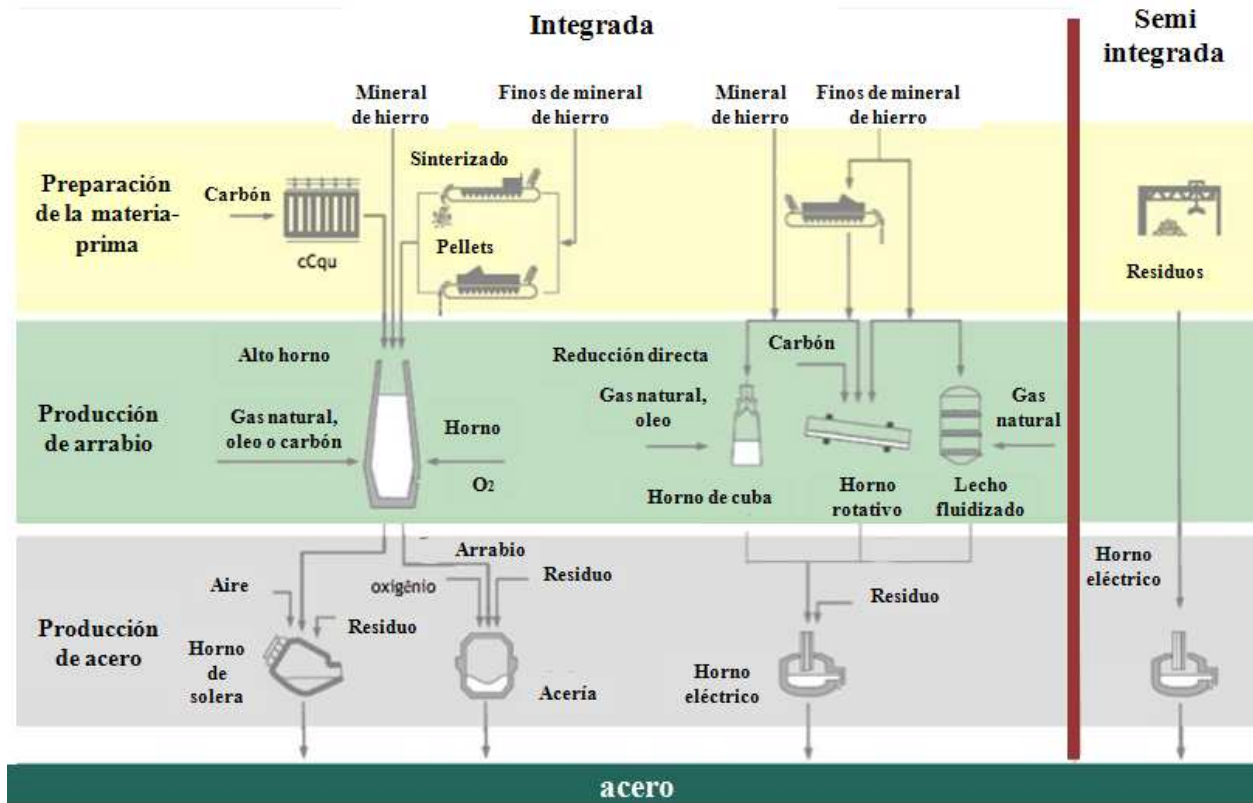


Fig. 6.2 - Diagrama de flujo de la producción de acero en Brasil

Fuente de la ilustración: [74] adaptado.

En las fábricas integradas, se utiliza carbono para generar energía y reducir el mineral de hierro, mientras que en la fábrica semiintegrada puede utilizarse para ajustes metalúrgicos y energéticos. En estas fábricas se consumen aproximadamente 550 y 130 kgC/t de acero bruto, respectivamente [74]. En el proceso siderúrgico una parte del carbono se incorpora a los productos y otra se emite como dióxido de carbono [74][78]. Cerca del 75% de las emisiones de  $CO_2$  se producen durante la reducción del mineral de hierro, es decir, durante la producción del arrabio/hiero esponja [74]. En las fábricas semiintegradas, como no existe esta etapa y el principal insumo es material reciclado, la emisión de  $CO_2$  es menor; pero varía según el contenido de arrabio empleado en la mezcla. La producción de acero vía horno de arco eléctrico está limitada a la cantidad de chatarra disponible y vida útil del material ferroso. En Brasil, el 78,6% de la fabricación de acero se produce en fábrica integrada [78].

Los altos hornos que utilizan carbón vegetal como agente reductor en detrimento del carbón mineral (menos comunes en otros países, pero que existen en Brasil aunque en una pequeña parte de los casos), son una opción para la reducción de  $CO_2$  en el sector ya que la

madera proviene de plantación y las emisiones de este insumo son prácticamente nulas. De media, las emisiones brasileñas son de 2,04 tCO<sub>2</sub>/t, para fábrica integrada, y de 0,15 tCO<sub>2</sub>/t, para la semiintegrada, más bajas que en países desarrollados, que se acercan a 2,17 y 0,19 tCO<sub>2</sub>/t, respectivamente [75]. Se cree que dentro de la tecnología actual, las emisiones de CO<sub>2</sub> ya estarían en sus niveles más bajos sin que haya muchas posibilidades de reducir el consumo de energía y las emisiones[74][76].

El consumo energético en la producción de acero es intenso, cerca de 21 GJ/t [74][78]. Las fases de minería, preparación, transporte y acería suman cerca del 12% de la energía total del proceso [74]. En la ruta integrada, el 95% de la energía proviene de combustibles sólidos (principalmente, carbón). La mezcla energética del sector se basa en el uso de coque de carbón mineral (44,6%), carbón vegetal (19,9%) y electricidad (10,1%) [49]. El reaprovechamiento térmico y de gases resultantes del proceso productivo ayuda a disminuir el consumo de combustibles fósiles y las consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero [74][75].

Las emisiones y energía incorporada del acero brasileño se calcularon utilizando las informaciones del Ministerio de la Ciencia y Tecnología [78] y considerando datos publicados por el Ministerio de Desarrollo, Industria y Comercio Exterior [75], del Balance Energético Nacional [49] y tesis (de máster y doctorado) [55][71][79]. Los valores resultantes y adoptados se muestran en la Tab. 6. 9:

**Tab. 6. 9 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el acero<sup>24</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
Mínimo	150	6.068
Máximo	2.040	25.590
<b>España</b> (valor de referencia*)	2.820**	35.000**

\* Ref.: [51].  
\*\* Acero en barras corrugadas.

### 6.2.5.6 Hormigón

El hormigón es un material resultante de la mezcla de aglomerante hidráulico (cemento), materiales inertes (agregados: arena y grava) y agua; algunas veces se añaden aditivos [80]. La proporción entre los materiales varía según la función que desempeñen. Su elaboración puede ser manual, mecánica (hormigonera) o en planta de hormigón. Los niveles de control varían considerablemente según el método de producción. En las plantas, además la vigilancia de los materiales y la composición, los instrumentos utilizados para medición y mezcla de los materiales tienen mayor precisión; mientras que el que se elabora en obra con

<sup>24</sup> Los valores de referencia y estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.

ayuda de una hormigonera o de forma manual, pueden emplear utensilios de medida inadecuados (como cajas, bolsas) y la buena ejecución de la mezcla depende del rigor que aplique el obrero.

Tanto las variaciones existentes en el proceso de elaboración como las proporciones entre los materiales que lo componen y el tipo de cemento afectan las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada. En el rango de CO<sub>2</sub> y EI no están sumados los valores referentes a las pérdidas derivadas del proceso de producción (mezcla) y aplicación, que pueden variar entre el 1% y el 33% (en obra) [81][3]. Las variaciones derivadas de las proporciones entre los materiales se calcularon adoptándose fracciones comúnmente manejadas en la construcción brasileña. Estas se definieron según las especificaciones de los *Cadernos* de la *Caixa Econômica Federal* [8], del manual para construcción de la ABCP (Asociación Brasileña de Cemento Portland) [5] y una web sobre ingeniería [82]; se consideraron hormigones con resistencia entre 20 y 25 MPa [3][8]. La variabilidad resultante del tipo de cemento y agregados se incorporó utilizando el rango definido para estos materiales. Así, las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada del hormigón siguen los valores expuestos en la tabla siguiente.

**Tab. 6. 10 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el hormigón<sup>25</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
Mínimo	21	105
Máximo	160	704
<b>España</b> (valor de referencia*)		
Mínimo	57**	361**
Máximo	186**	1.004**

\* Ref.: [51].

\*\* Considerados hormigones de compra, estructural (en masa, con y sin árido reciclado) y no estructural.

### 6.2.5.7 Mortero

Según la norma brasileña NBR 13.281 [83], el mortero es una “mezcla homogénea de agregado fino, aglutinante inorgánico y agua” que puede tener o no aditivos y adiciones en su composición. Los principales materiales utilizados son el cemento, la cal<sup>26</sup> y la arena. La cantidad de cada material en la composición varía según el uso que se le vaya a dar, como asentamiento de piezas (bloques, ladrillos, revestimientos), impermeabilización, regularización de superficies (revoque, enlucido), acabado, etc. El uso del mortero es inherente a la técnica constructiva de albañilería cuya principal función es unir las piezas (bloques o ladrillos).

El mortero puede ser industrializado o elaborarse en la obra. En el primer caso, hay un mayor control de las propiedades, proporciones y calidad final, ya que la mezcla de los componentes secos se hace en una industria y el consumidor solo tiene que añadir el agua. En el

<sup>25</sup> La composición de los hormigones, los valores de referencia y los estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.

<sup>26</sup> Dependiendo de la aplicación algunas veces la cal puede no utilizarse.

segundo caso, la cualidad final depende del rigor aplicado, ya que los materiales se adquieren por separado y se mezclan en la obra. Las pérdidas de material en obras pueden ser grandes (de un 5% a un 247% [55][81]) pues depende de los utensilios que se utilizan para la medida (comúnmente se hace con latas o bolsas), del modo de realizar la mezcla (manual o mecánicamente) y del albañil que ejecutará la acción. Estas variaciones, así como la composición adoptada, afectan a los índices de energía y emisiones.

El rango de variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada del mortero fue definido considerando el CO<sub>2</sub> y EI de los materiales componentes así como las diferentes composiciones normalmente utilizadas. Estas se especificaron según informaciones del Manual para la Autoconstrucción de la ABCP (Asociación Brasileña de Cemento Portland); la TCPO (Tabla de fijación de precios para presupuestos) [3]; los *Cadernos* de la *Caixa Econômica Federal* [8]; el manual para construcción de la ABCP (Asociación Brasileña de Cemento Portland) [5] e informaciones disponibles en sitios web de construcción [84][85]. Además se consideraron valores declarados en la Guía del Sinduscon (Sindicato de la Industria y Construcción Civil) [61], investigaciones de máster y doctorado [55][70][71][58].

**Tab. 6. 11 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el mortero<sup>27</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
Mínimo	37	232
Máximo	347	3.470
<b>España</b> (valor de referencia*)		
Mínimo	74**	440**
Máximo	343**	1.949**

\* Ref.: [51].  
 \*\* Mortero para albañilería (árido y cemento).

### 6.2.5.8 Bloque de hormigón

El bloque de hormigón está formado por aglomerante (cemento), agregados (grava, polvo de grava y arena) y agua, algunas veces lleva adiciones [86][87]. Su proceso de fabricación tiene cuatro fases básicas: dosificación, mezcla, prensado y curado [88]. Estas fases son inherentes al proceso con independencia de la tecnología aplicada o del tamaño de la empresa [89]. Los pequeños productores pueden utilizar hormigoneras y vibroprensados manuales [86] y curado natural [90] (todavía muy empleado [91]), mientras que las industrias mayores logran invertir en mejora tecnológica para aumentar la productividad y la calidad de los productos, así, por ejemplo, usan equipos automáticos [86] y curado en autoclave por ejemplo.

<sup>27</sup> Los valores de referencia y estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.



El sector presenta heterogeneidad en cuanto sofisticación técnica, nivel organizativo, control y características de los productos [86][88]. Hay alto índice de informalidad [92] e, incluso, entre los productores de bloques de hormigón más estructurados puede haber diferencias significativas en el proceso de producción. Así, en el Análisis de Ciclo de Vida simplificado de Oliveira (2014) [89] en empresas asociadas a la ABCP (Asociación Brasileña de Cemento Portland) y Bloco Brasil (Asociación Brasileña de la Industria de Bloques de Hormigón), se encontró, para un mismo producto, variaciones en la relación cemento-masa seca, por ejemplo, entre el 4% y el 12%; y variación de la masa de la pieza hasta un 183% [89]. Las diversificaciones pueden ser mucho más grandes si en los estudios se tienen en cuenta a los pequeños productores (legales e ilegales) que suministran bloques al mercado.

Los combustibles utilizados en la industria de procesamiento del bloque de hormigón no están muy diversificados, normalmente se utiliza electricidad, pero también se usa diesel, gas licuado de petróleo y leña [88]. El rango entre mínima y máxima de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada varía según las diferencias mecánicas, la eficiencia en el uso de las materias primas, la composición empleada, los combustibles y el tipo de cemento. Se definió el CO<sub>2</sub> y EI según estimaciones hechas a partir de datos de consumo de combustibles y materiales de estudios de máster y publicación científica [88][87][89][55].

**Tab. 6. 12 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para el bloque de hormigón<sup>28</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
Mínimo	20	145
Máximo	235	1.308
<b>España</b> (valor de referencia*)	220	2.300

\* Ref.: [51].

### 6.2.5.9 Cerámica

La industria de *cerámica roja* suministra diversos productos utilizados en la construcción civil, como ladrillo, bloque estructural y de cierre, teja y azulejos, entre otros [93]. Los bloques, baldosa y plaquetas representan aproximadamente el 85% de la producción de este segmento y las tejas, el 15%. La materia prima (monocomponente) es la arcilla, que adquiere la coloración roja/anaranjada característica debido a la cantidad de óxido de hierro y manganeso [93]. Hay básicamente dos fuentes de arcillas en Brasil: las cuaternarias y las cuencas sedimentarias [93]. Se extraen mediante excavación mecánica en seco con excavadoras hidráulicas [93]. El proceso de manufactura tiene las siguientes fases: preparación, conformación

<sup>28</sup> Los valores de referencia y estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.

y quema [94]. Se considera que la tecnología aplicada está atrasada en comparación con otros países productores de cerámica, aunque una pequeña parte de empresas utiliza instrumentos más avanzados, como carga y descarga semiautomatizadas u hornos tipo túnel [95].

Es un sector de capital estrictamente nacional, pese a ello, es difícil controlar datos estadísticos [93]. El segmento es heterogéneo, caracterizado por la coexistencia de empresas de medio y gran tamaño con tecnología avanzada y producción a gran escala, empresas de tamaño medio y pequeño con deficiencias de gestión y mecanización y un gran número de micro y pequeñas empresas familiares con procesos artesanales [93][94][95], de las que muchas actúan de manera ilegal [93]. La informalidad es un problema que impregna el sector [96][97][98][99].

La extracción de arcilla, principalmente en zonas donde hay muchos emprendimientos, causa impactos ambientales, como deforestación, formación de taludes sujetos a erosión, sedimentación de drenaje, etc. [93]. Otros impactos se refieren a los insumos en la planta de manufactura, que utiliza básicamente madera (principalmente leña y residuos [93][94][95]). Dependiendo del origen de la madera (plantada o nativa), las emisiones de dióxido de carbono pueden variar entre  $\sim 10^{-3}$  y  $11 \text{ tCO}_2/\text{t}_{\text{producto cerámico}}$ <sup>29</sup>, considerando los impactos de la extracción de la madera nativa sin reposición de biomasa. Esta es una complicación que afecta todos los productos que utilizan madera como insumo energético. Dependiendo de la fuente de origen de la madera pueden pasar de ser un material con baja emisión de carbono a uno con resultado contrario, además de, indirectamente, fomentar una cadena de producción posiblemente dañina para el medio.

Para todos los insumos energéticos tan solo se consideraron las emisiones directas. Esto hace que se minimicen impactos, lo que es bastante evidente en productos que utilizan la madera (plantada y nativa) como recurso energético en su proceso de producción. En el caso de la cerámica roja producida con el uso de madera nativa, los impactos indirectos están relacionados con la deforestación para implantación de la minería, las pérdidas de biomasa en la extracción de madera, así como los residuos de madera que se pierden en el patio de almacenamiento. La cerámica que utiliza madera plantada en la quema reduce el  $\text{CO}_2$  referente a este insumo que se considera carbono neutro<sup>30</sup> (emisiones prácticamente nulas).

---

<sup>29</sup> Los valores estimados considerando consumo de combustibles en el proceso industrial (de puerta a puerta) se han declarado en las referencias [100] y [101][94] (consideradas empresas 1 y 2) para diferentes tipos de procesos; emisiones aproximadas para la madera plantada igual a  $0 \text{ tCO}_2/\text{t}$  de leña (valor arbitrado) y para la madera nativa  $8,6 \text{ tCO}_2/\text{t}$  de leña (valor máximo) [102]; densidad de la madera nativa  $0,7 \text{ t/m}^3$ ; factores de emisión del diesel  $2,68 \text{ kgCO}_2/\text{L}$  [49][33][34][103] y de la energía eléctrica  $0,044 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$  [49][31]; peso del ladrillo variando entre 1,4 y 12,5 kg [16][12].

<sup>30</sup> Más información sobre carbono neutro en el capítulo 5.

Además de variaciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el tipo de madera empleada, se notan cambios en las emisiones de piezas secadas de forma artificial y al aire<sup>31</sup>. Estas, además de una menor emisión, presentan menos consumo energético. El tipo de horno también influye sobre estos factores. Según estimaciones de Bianco (2012) [100], el horno tipo Hoffmann<sup>32</sup> genera 2,48 kgCO<sub>2</sub>/ladrillo y consume ~22 MJ/ladrillo<sup>33</sup>, mientras que el tipo túnel<sup>34</sup> produce 0,21 kgCO<sub>2</sub>/ladrillo y usa 5 MJ/ladrillo<sup>35</sup>. Además hay variaciones provenientes de las diferencias encontradas en piezas de misma denominación. Un bloque denominado 14 x 19 x 39, por ejemplo, puede variar su masa hasta un ~200% (entre 6 y 12,5 kg) [16][104][11][105][18][106].

Así, el rango de variación de las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada resultante es grande, pues considera las posibles variantes con la intención de acercarse a la realidad de un sector heterogéneo. La definición de los valores consideró información publicada en eventos científicos y tesis de máster y doctorado [55][100][93][101][107][71][79][108][88].

**Tab. 6. 13 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para la cerámica<sup>36</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
Mínimo	61	562
Máximo	1.911	3.746
<b>España</b> (valor de referencia*)	210**	2.767**

\* Ref.: [51].  
\*\* Media para varios tipos de ladrillo y bloque cerámico.

### 6.2.5.10 Madera

Como se ha visto en los capítulos 4 y 5, la madera utilizada en la construcción civil en Brasil puede provenir de floresta nativa o de plantaciones. Estas se dividen en dos escenarios distintos. De manera general, la madera nativa es dura (densidad aparente ~0,7t/m<sup>3</sup>, mediana), proviene de selva tropical húmeda, el sector no está organizado, hay un alto índice de ilegalidad, los productos suelen estar menos procesados y se destinan al mercado nacional. Por otra parte, la madera plantada es mayoritariamente exótica (pino y eucalipto) y blanda (densidad aparente ~0,5t/m<sup>3</sup>, mediana), el sector está más organizado, hay numerosas empresas verticales, los productos suministrados varían desde madera aserrada hasta aplacados y puertas que se destinan

<sup>31</sup> En el Vale do Rio Sinos/RS, el 55% de la producción es exclusivamente seca al aire, mientras que el 15% exclusivamente en estufas y el resto utilizan ambas técnicas [94].

<sup>32</sup> El horno Hoffmann es continuo, con superposición y conexión entre hornos intermitentes, la fuente de calor se mueve de una extremidad a otra, las piezas se quedan fijas y utiliza leña [100][101].

<sup>33</sup> Estimado según consumo de leña (1,71 kg/ladrillo) [100] y factor de conversión de 12,98 MJ/kg de leña [49].

<sup>34</sup> El horno túnel es continuo, las piezas se transportan en vagones a lo largo del túnel, con calor variable, alimentación continua y utiliza gas natural [100][101].

<sup>35</sup> Estimado según consumo de gas natural (0,125 m<sup>3</sup>/ladrillo) [100] y factor de conversión de 36,84 MJ/m<sup>3</sup> gas natural [49].

<sup>36</sup> Los valores de referencia y estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.

tanto al mercado nacional como internacional. El proceso de producción de madera aserrada cuenta con las siguientes fases: extracción (corte del árbol, mecánico o manual), descortezado, aserrío, cepillado (no siempre se da, pues también se vende aserrado bruto).

En lo que se refiere a la madera nativa, el consumo energético en el proceso de producción es bajo, pues no es común el secado artificial (tampoco el tratamiento químico conservante, debido a las características de la madera) y los equipos utilizados no suelen necesitar grandes cantidades de combustibles. Las emisiones de CO<sub>2</sub> son el agravante de los productos de madera nativa debido al sistema de extracción convencional, que destruye gran cantidad de biomasa forestal (entre 1,4 y 4,8 toneladas de biomasa destruida por tonelada de tronco extraído[102]) y no prevé su restitución, de forma que se sustrae el carbono almacenado en la selva y se emite como dióxido de carbono. Así, las emisiones pueden ser hasta mil veces más grandes que para productos de madera de plantaciones.

La madera plantada presenta emisiones de CO<sub>2</sub> bajas, ya que su sistema productivo no prevé la supresión de carbono almacenado en biomasa existente, sino que absorbe el carbono durante el crecimiento del árbol para posteriormente emitido al final de su vida útil. En contrapartida, por ser una madera blanda normalmente exige un tratamiento químico conservante y secado artificial en invernadero. Este consume una considerable cantidad de energía, principalmente si se utilizan residuos de madera con un elevado contenido de humedad (hecho habitual en la muestra estudiada). Para ambos sistemas, las fuentes energéticas empleadas son el diesel, la electricidad, el gas licuado de petróleo y los residuos de madera, que se muestran en la Tab. 6. 14:

El rango de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada consideró los valores estimados en el Análisis de Ciclo de Vida de esta investigación (capítulo 5) para productos aserrados y acabados, que son los utilizados en la muestra que se evaluará.

**Tab. 6. 14 - Rango de variación de emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada adoptadas para madera aserrada y acabada<sup>37</sup>**

<b>Brasil</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/t)</b>	<b>Energía incorporada (MJ/t)</b>
<b>Madera plantada</b>		
Mínimo	32	729
Máximo	697	18.830
<b>Madera nativa</b>		
Mínimo	5.017	786
Máximo	45.164	7.194
<b>España</b> (valor de referencia*)	60	2.100

<sup>37</sup> Composición de los hormigones, valores de referencia y estimados se encuentran en el anexo de este capítulo.

\* Ref.: [51].

\*\* piezas de madera aserrada (pino, abeto, bolondo)<sup>38</sup>

### 6.2.6 Emisión de CO<sub>2</sub> y energía incorporada por superficie

Las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil resultaron de la siguiente secuencia de actos: a) estimación de la EI y CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de pared por material; b) multiplicación de esto por el factor de intensidad de pared por metro cuadrado de superficie útil (Ec. 6. 1):

#### Ec. 6. 1 (conceptual):

$$E = (e_{m1} \times f_{m1}) + (e_{m2} \times f_{m2}) + (e_{mn} \times f_{mn}) \dots$$

donde,

**E** es la emisión de CO<sub>2</sub> total por metro cuadrado de superficie útil (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>); o

es la energía incorporada total por metro cuadrado de superficie útil (MJ/m<sup>2</sup>)

**e** es la emisión de CO<sub>2</sub> de un material por metro cuadrado de pared (kgCO<sub>2</sub>/t); o

es la energía incorporada del material por metro cuadrado de pared (MJ/t)

**f** es el factor de intensidad de pared según el material (metro cuadrado pared por metro cuadrado superficie útil)

### 6.2.7 Construcción de viviendas según la vida útil estimada

Se calculó la cantidad de viviendas construidas anualmente pues no hay datos oficiales al respecto. Para ello, se utilizaron, datos de la PNAD del IBGE [1] sobre el parque de viviendas desde el año 1970 hasta 2011. Este periodo de cuarenta años se definió porque: a) las viviendas de albañilería siguen una tendencia de crecimiento constante sin grandes modificaciones a lo largo de este periodo; b) las viviendas de madera, aunque en números unitarios sigue constante alrededor de 4,1 millones de unidades habitacionales, su evolución no es constante y presentan periodos de crecimiento o disminución acentuados, de manera que la elección de un periodo más corto podría indicar una tendencia equivocada de la evolución del parque de viviendas.

La cantidad media hipotética de viviendas construidas anualmente se calculó de la siguiente manera: a) se adoptaron los valores anuales del parque de viviendas de la PNAD; b) sobre este se aplicó un factor de reducción referente a la vida útil de la residencia, para obtener la cantidad hipotética de viviendas demolidas o que llegan al final de su vida útil (VU); c) se

<sup>38</sup> El pino y el abeto son coníferas de baja densidad, mientras que el bolondo es una madera densa (0,93 t/m<sup>3</sup>) de origen africano [109].

calculó la variación anual del parque de viviendas; d) se restaron las viviendas demolidas de la variación del parque de viviendas, lo que da la cantidad hipotética de viviendas construidas; d) sobre esta se calculó la media de los últimos cuarenta años utilizadas en los cálculos de escenario<sup>39</sup>. Los factores de reducción varían según la vida útil definida, para 30 años de durabilidad, por ejemplo, el factor aplicado fue 0,033 (o 1/30), para 40 años, fue 0,025 (o 1/40) y así sucesivamente. En la Tab. 6. 15 se muestra la cantidad de unidades habitacionales construidas según la vida útil utilizada en los cálculos del escenario:

**Tab. 6. 15 - Unidades habitacionales construidas anualmente considerando la vida útil de la vivienda y la variación del parque de viviendas desde 1970**

	Unidades habitacionales construidas anualmente				
	VU = 30 años	VU = 40 años	VU = 50 años	VU = 60 años	VU = 70 años
Viviendas de madera*	110.645	75.167	53.880	39.689	29.552
Viviendas de albañilería	2.682.387	2.352.566	2.154.674	2.022.746	1.928.511

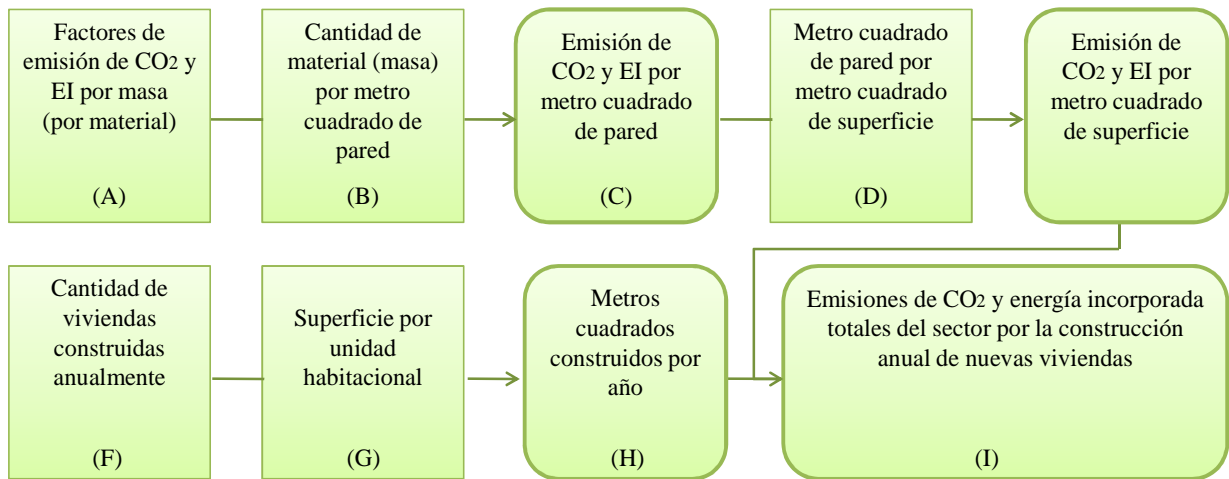
\* Se excluyen las viviendas de madera reutilizada.

### 6.2.8 Escenario de referencia

El escenario de referencia está fundamentado en el estado corriente de la construcción de viviendas en Brasil. Considera las técnicas constructivas más usuales, los materiales ordinarios encontrados en el mercado, los tipos de construcción habituales, los factores de emisión de CO<sub>2</sub> y energía incorporada de la industria nacional. Para ello, utiliza datos históricos solo e la estimación hipotética de viviendas construidas anualmente.

El escenario de referencia, que delimita las emisiones totales de CO<sub>2</sub> y energía incorporada aproximadas del sector habitacional brasileño resultante de la construcción anual de nuevas unidades habitacionales, se calculó de la siguiente manera: a) se multiplicó la cantidad de viviendas construidas por las posibles superficies de cada unidad habitacional, que resulta en los metros cuadrados totales construidos en un año; b) este valor se multiplicó por los factores de emisión de CO<sub>2</sub> y EI por metro cuadrado de superficie útil y dio las emisiones totales de dióxido de carbono y energía incorporada derivadas de la construcción de nuevas residencias (Fig. 6. 3). Sobre este resultado de referencia, se analizaron las variaciones derivadas de cambios de parámetros de interés.

<sup>39</sup> Las tablas de cálculos se muestran en el apéndice de este capítulo.



$$A \times B = C \longrightarrow C \times D = E \qquad F \times G = H \longrightarrow E \times H = I$$

Fig. 6. 3 – Diagrama esquemático del principio de cálculo del escenario de referencia

### 6.2.9 Límites del estudio

El límite del estudio es desde la extracción del material hasta la puerta de la fábrica (Fig. 6. 4), por tanto, no se tuvieron en cuenta las estimaciones de emisiones de dióxido de carbono y energía incorporada por el transporte del material hasta el consumidor/obra, la construcción, el mantenimiento, el uso y el descarte de las viviendas. Tampoco se tuvieron en cuenta las aportaciones de CO<sub>2</sub> y EI por el uso de tratamiento químico de la madera, pinturas y barnices ni el transporte y producción de combustibles (se consideró solamente su quema directa)

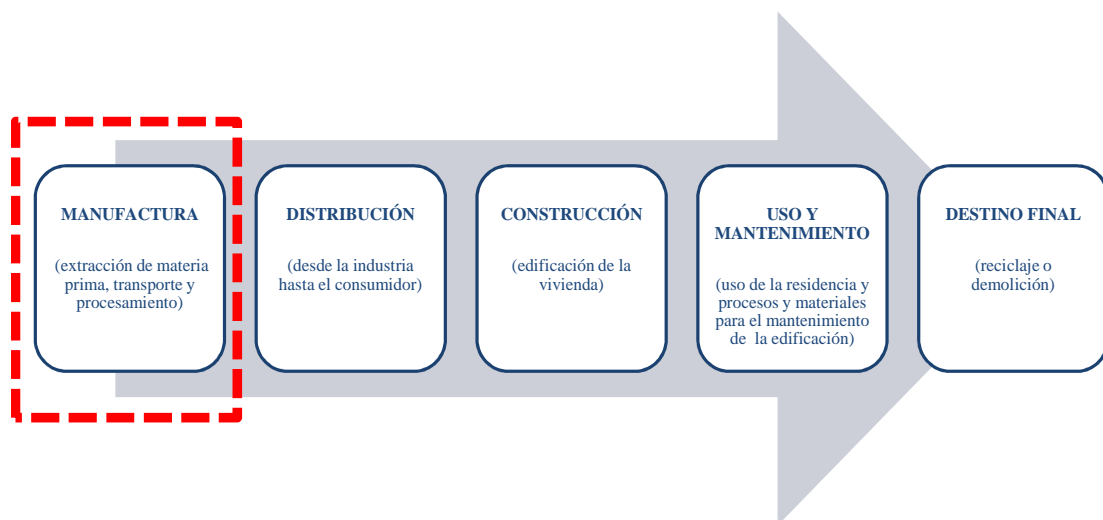


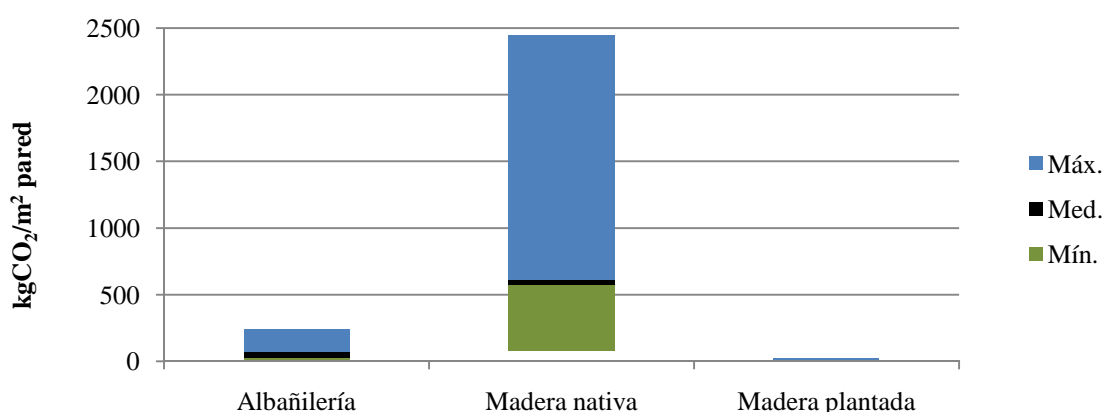
Fig. 6. 4 – Límite considerado (línea roja discontinúa) para las estimaciones de dióxido de carbono y energía incorporada de las viviendas

### 6.3 Resultados y discusión

#### 6.3.1 Emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de pared

De modo general y considerando solamente las emisiones de los materiales de construcción, en Brasil un metro cuadrado de pared de albañilería<sup>40</sup> emite entre 5 y 236 kgCO<sub>2</sub> (70 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>, mediana) (Gráf. 6. 3, Tab. 6. 16). El menor valor (5 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>) se refiere al bloque de hormigón de 9 x 19 x 39 combinado con los demás materiales (mortero para revoco y asentamiento, hormigón y acero para zuncho superior y dinteles) y sus menores emisiones. En concreto, en este caso, el 52% de las emisiones se deben al mortero para revestimiento (interno y externo), del que el 35% de la emisión proveniente del bloque, el 9% del hormigón y el 3% del mortero asentamiento (el acero es prácticamente nulo). La mayor emisión (236 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>) se refiere al ladrillo cerámico de 19 x 19 x 39 combinado con los demás materiales (mortero, hormigón<sup>41</sup> y acero) y sus mayores emisiones. En concreto, en este caso, el 76% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen del ladrillo, el 17%, del mortero para revestimiento, el 5% del mortero de asentamiento y el 3% del hormigón (el acero es prácticamente nulo).

De modo general, en la pared de albañilería las piezas (ladrillos cerámicos y bloques de hormigón) son responsables del 31% al 76% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el mortero de revestimiento, del 17% al 60%, el mortero para asentar las piezas, del 3% al 7%, el hormigón, del 0% al 12%, y el acero es prácticamente nulo. Si se excluye el bloque de hormigón del ladrillo cerámico, se nota que este colabora más en el reparto de las emisiones de CO<sub>2</sub> en un metro cuadrado de pared que aquel, debido al consumo de combustibles principalmente en la quema del ladrillo (Gráf. 6. 4).



Gráf. 6. 3 - Emisiones de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de pared

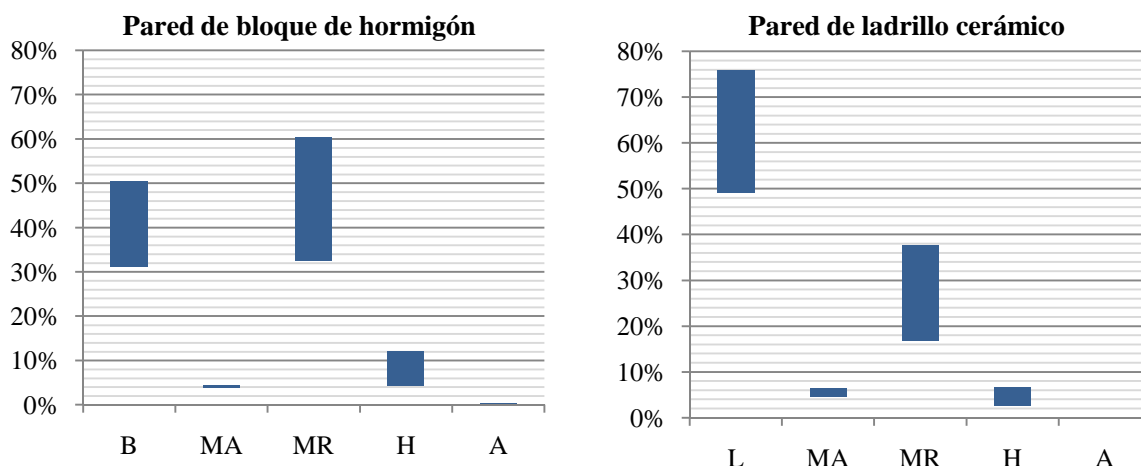
<sup>40</sup> Considerado construcción con piezas cerámicas o de hormigón.

<sup>41</sup> El mortero y el hormigón se calcularon por separado porque además de tener diferentes composiciones también ejercen funciones distintas. El primero está compuesto por cemento, cal y arena o cemento y arena y se usa para asentamiento y revestimiento de los bloques, mientras que el segundo está compuesto por cemento, grava y arena y se emplea en la zanja perimetral superior junto con barras de acero con función estructural.



**Tab. 6. 16 - Emisiones de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de pared (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>)**

	Mínimo	Máximo	Mediano
Albañilería	5	236	70
Madera nativa	78	2.444	612
Madera plantada	0,4	23	5

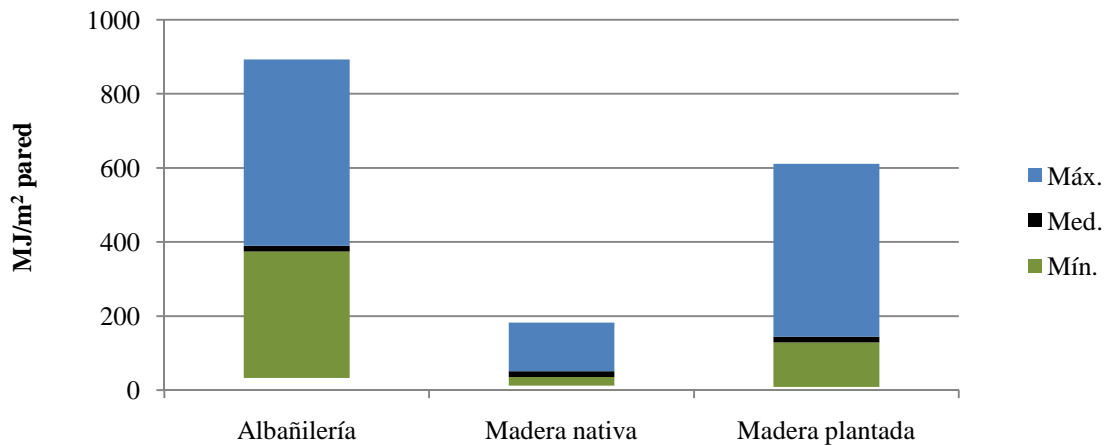


Leyenda: B – bloque de hormigón, L – ladrillo cerámico, MA – mortero de asentamiento, MR – mortero de revestimiento, H – hormigón, A – acero.

**Gráf. 6. 4 - Reparto porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> entre los materiales que componen un metro cuadrado de pared de albañilería**

La energía incorporada en la pared de albañilería varía entre 33 y 893 MJ/m<sup>2</sup><sub>pared</sub> (mediana 389 MJ/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>) (Gráf. 6. 5, Tab. 6. 17). El menor consumo energético fue identificado en el bloque de hormigón de 9 x 19 x 39, mientras que el mayor fue en el ladrillo cerámico de 19 x 19 x 39. En concreto, en el primer caso, el 49% de la energía está incorporada en el mortero para revestimiento, el 38%, en el bloque de hormigón, el 9%, en el hormigón, el 3%, en el mortero de asentamiento (la aportación del acero es prácticamente nula). En el segundo caso, los porcentajes de las mayores aportaciones son semejantes, el 45% de la energía incorporada está en el mortero de revestimiento y el 39%, en el ladrillo, mientras que el 12% está en el mortero de asentamiento y el 3%, en el hormigón.

De modo general, la energía incorporada en la pared de albañilería se concentra en las piezas (ladrillo cerámico y bloque de hormigón), entre el 21% y el 66% de la EI total, y en el mortero de revestimiento, entre el 20% y el 72%, el resto se distribuye entre el mortero de asentamiento (el 3% y el 12%) y hormigón (el 0% y el 11%), la aportación del acero es prácticamente nula (Gráf. 6. 6).

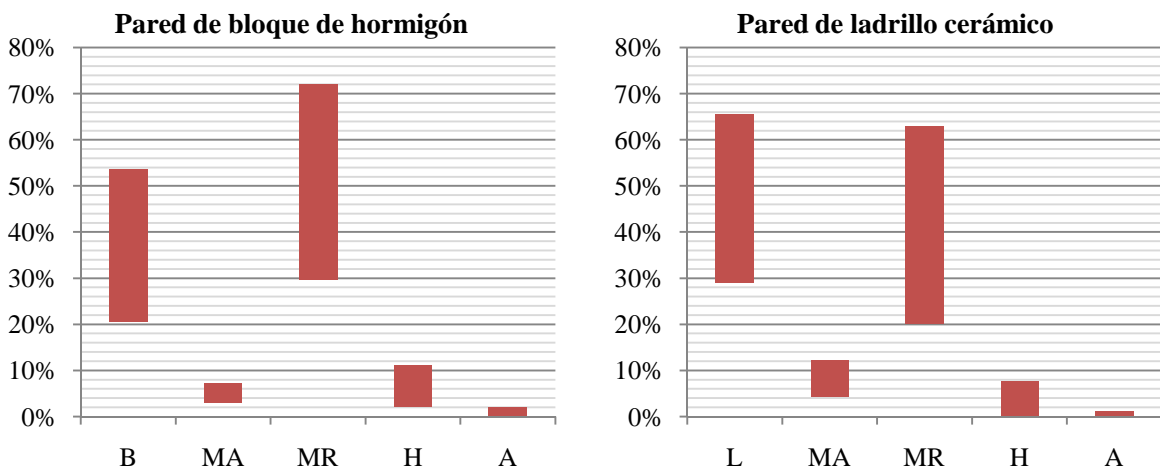


**Gráf. 6. 5 - Energía incorporada por metro cuadrado de pared**

**Tab. 6. 17 - Energía incorporada por metro cuadrado de pared (MJ/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>)**

	Mínimo	Máximo	Mediano
Albañilería*	33	893	389
Madera nativa	12	182	51
Madera plantada	8	611	144

\* Considera diversos ladrillos cerámicos y bloques de hormigón.

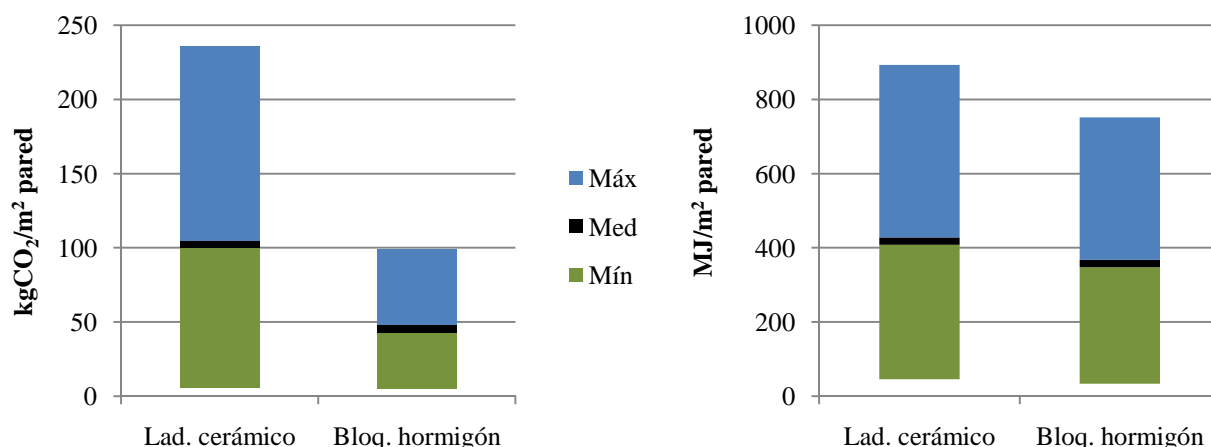


Leyenda: B – bloque de hormigón, L – ladrillo cerámico, MA – mortero de asentamiento, MR – mortero de revestimiento, H – hormigón, A – acero.

**Gráf. 6. 6 - Reparto porcentual de la energía incorporada en los materiales que componen un metro cuadrado de pared de albañilería**

Aunque los valores máximos de EI y CO<sub>2</sub> se refieran a los ladrillos cerámicos y los mínimos, a bloques de hormigón, esto no significa que los primeros, en todos los casos, tengan peores resultados que los segundos. La franja de variación de ambos materiales presenta valores equivalentes para estos parámetros cuando se consideran otros tipos de piezas con diferentes masas y diferentes factores de energía incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub> de los materiales (Gráf. 6. 7, Tab. 6. 18). En cambio, el mortero para asentamiento y revoco fue responsable de una parte apreciable de las emisiones de CO<sub>2</sub> (más en la pared de bloque de hormigón) y energía

incorporada, debido a su composición basada en materiales con mayor EI y CO<sub>2</sub>. El reparto porcentual de estos depende de los factores adoptados y la composición de la pared.



**Gráf. 6. 7 - Emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de pared para ladrillos cerámicos y bloques de hormigón**

**Tab. 6. 18 - Emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de pared para ladrillos cerámicos y bloques de hormigón**

<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>)</b>			
	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediano</b>
Ladrillos cerámicos	6	236	105
Bloques de hormigón	55	99	48
<b>Energía incorporada (MJ/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>)</b>			
Ladrillos cerámicos	46	893	428
Bloques de hormigón	33	751	368

En este estudio se detectó que el material cerámico presenta valores máximos (por metro cuadrado de pared) mayores que los máximos del bloque de hormigón. Esto debido a la fase de secado y quema en hornos, etapa que no existente en el proceso de producción del bloque de hormigón. En ella, esta etapa las emisiones de CO<sub>2</sub> y la EI varían según la tecnología del horno, que afecta al tipo de combustible y la cantidad consumida. Un ladrillo quemado en un horno tipo Hoffmann a leña (nativa), por ejemplo, puede presentar una variación de cerca del 1200% a más en las emisiones de CO<sub>2</sub> que otro quemado en un horno túnel a gas natural [100]. Las emisiones de CO<sub>2</sub> y la EI de los bloques de hormigón acaban siendo menores pues entre el 78% y el 95%<sup>42</sup> de la masa del bloque son materiales con bajos índices de CO<sub>2</sub> y consumo de energía, como la arena y la grava.

La variación entre los valores mínimos y máximos de emisión de CO<sub>2</sub> y EI depende del material de base, si es cerámico o cementicio; del tipo de pieza utilizada, su dimensión y masa;

<sup>42</sup> Valores estimados según datos de la tesis de máster de Oliveira (2014) [89].

del acabado y su espesor<sup>43</sup>; de las diferenciaciones resultantes de las cadenas dispares de producción, además de la composición del material. Es necesario resaltar que la franja de variación puede aumentar si se consideran las emisiones indirectas relacionadas con la producción y el transporte de los combustibles o transportes de los materiales y piezas hasta el consumidor. Una pared de ladrillo cerámico, por ejemplo, podría tener emisiones tan altas como una pared de madera nativa aserrada, ya que en algunas rutas de producción del ladrillo se utiliza madera nativa como fuente energética para los hornos.

Las paredes de madera nativa (más usual en el mercado que la madera plantada) varían entre 78 y 2.444 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> de pared, con una mediana cerca de 612 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>. La diferencia entre mínimo y máximo depende del número de capas y su espesor, es decir, de la cantidad de material utilizado, y de la densidad de la madera<sup>44</sup>. Si se construyeran las mismas paredes con madera plantada, los resultados serían entre 0,4 y 23 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>pared</sub> (mediana de 5 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>) (Gráf. 6. 3, Tab. 6. 6). La diferencia se produce porque se ha considerado la madera nativa de extracción convencional una fuente de carbono, mientras que la madera plantada se consideró como carbono neutro<sup>45</sup>. Además hay variaciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> debido al secado artificial. Las maderas nativas secadas al aire no añaden emisiones por la quema de biomasa (nativa) en la estufa, mientras que aquellas que se secan de forma artificial, sí. Las maderas plantadas no suman emisiones por el secado artificial, pues las estufas utilizan residuos de madera plantada, que se consideran carbono neutro<sup>46</sup>.

El secado en estufa es el principal responsable de la incorporación de energía en los productos de madera. Las maderas plantadas, al ser más blandas, con frecuencia necesitan secado artificial, en cuanto las maderas nativas aserradas, en general se secan al aire. Los valores de EI para paredes de madera plantada variaron entre 8 y 611 MJ/m<sup>2</sup> de pared (mediana de 144 MJ/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>), y las de madera nativa entre 12 y 182 (mediana de 51 MJ/m<sup>2</sup><sub>pared</sub>) (Gráf. 6. 5, Tab. 6. 17). Se nota que el secado artificial aumenta el rango de variación de la pared de madera plantada, ya que los valores más bajos de la franja se refieren a maderas que se secan al aire. A pesar de tener más energía incorporada, las estufas para secado de la madera plantada utilizan residuos del propio proceso, es decir, combustible renovable cuya emisión se considera nula.

Tanto para paredes de madera como de albañilería, el rango que define emisiones mínimas y máximas varía según la relación entre las emisiones de cada material y la

---

<sup>43</sup> Este parámetro no varía en este estudio. Se consideran paredes con acabado de revoco de 2,5 cm.

<sup>44</sup> Este parámetro no varía en este estudio. Se utiliza 700 kg/m<sup>3</sup> para madera nativa y 520 kg/m<sup>3</sup> para madera plantada.

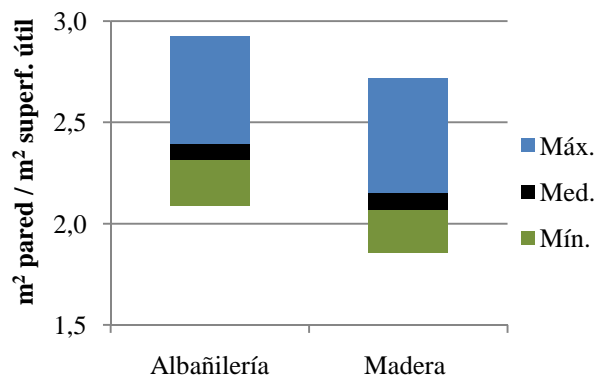
<sup>45</sup> Concepto explicado en el capítulo 5.

<sup>46</sup> Concepto explicado en el capítulo 5.

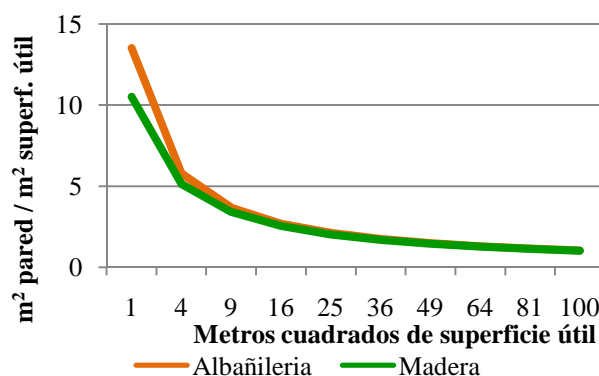
composición de la pared. La franja aumenta cuando se relacionan materiales cuya emisión es menor con una composición de pared cuyo consumo de material es menor, y materiales cuya emisión es mayor con una composición de pared cuyo consumo de material es mayor. La posibilidad de una vivienda se sitúe en estos extremos puede ser menor que encontrarse en una situación mixta. Así, los extremos del rango de resultados sirven para delimitar las posibles fronteras. Esto es válido tanto para emisiones de CO<sub>2</sub> como para la energía incorporada.

### 6.3.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil

Para evaluar las emisiones de las viviendas, se calculó la intensidad de pared por metro cuadrado de superficie útil. Las casas de albañilería poseen entre 2,1 y 2,9 metros cuadrados de pared por metro cuadrado de superficie útil (mediana de 2,4 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>), mientras que las viviendas de madera tienen entre 1,9 y 2,7 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (mediana de 2,2 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) (Gráf. 6. 8). Como las paredes de madera representan menos metros cúbicos de pared para una misma superficie útil que las de albañilería, las primeras presentarán menos metros cuadrados de pared para una misma superficie útil. Ignorando el *layout* de las viviendas y calculándose de manera simplista solamente metro cuadrado de pared (cuatro paredes perimetrales) por superficie útil, se percibe que cuanto menor es la superficie útil mayor es la diferencia de las superficies de pared entre madera y albañilería (Gráf. 6. 9).



Gráf. 6. 8 - Metro cuadrado de pared por metro cuadrado de superficie útil de la muestra de viviendas de albañilería y madera

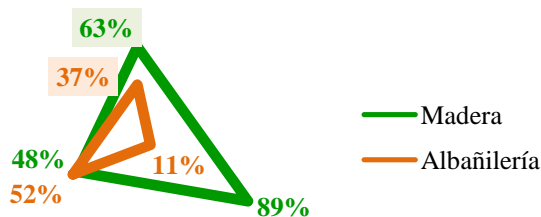


Gráf. 6. 9 - Tendencia de variación entre los metros cuadrados de pared por metro cuadrado de superficie útil según el espesor de la pared (estudio conceptual sin considerar el *layout*)

Las viviendas de madera suelen tener paredes de albañilería en las zonas húmedas (cocina y baño) en una proporción que varía entre el 11% y el 52% de la superficie de las paredes. La mediana<sup>47</sup> indica que las viviendas de madera tienen entre el 63% de la superficie de

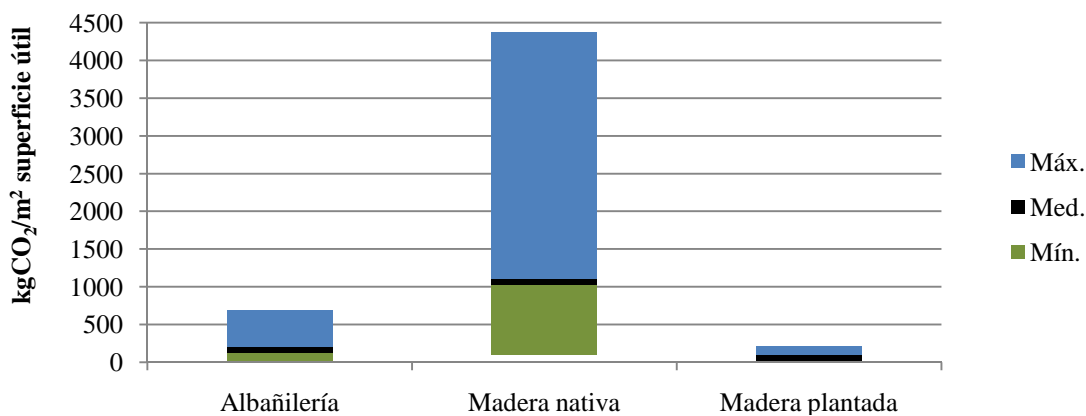
<sup>47</sup> Valor empleado en las estimaciones.

paredes de madera y el 37%, de albañilería (Gráf. 6. 10). De esta manera, si se aumenta la construcción de madera también aumentaría el consumo de albañilería.



**Gráf. 6. 10 - Porcentaje de distribución entre la superficie de paredes de albañilería y la superficie de paredes de madera en las viviendas de madera**

Considerando el estado corriente de la construcción de viviendas en Brasil, un metro cuadrado de superficie útil de una casa de albañilería emite cerca de 203 kgCO<sub>2</sub> por metro cuadrado de superficie útil (entre 10 y 691 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub>), mientras que una vivienda de madera nativa cerca de 1.105 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub> (entre 96 y 4.371 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub>). Las emisiones de una casa construida con madera nativa proveniente de extracción convencional son considerablemente mayores que las de una vivienda de albañilería. Este hecho que se revierte si se considera la madera que proviene de plantación, cuya emisión mediana es de 96 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub> (entre 5 y 209 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub>) (Gráf. 6. 11, Tab. 6. 19). La energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de albañilería es aproximadamente 1.121 MJ/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub> (entre 69 y 2.612 MJ/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub>), la de madera nativa, 459 MJ/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub> (entre 51 y 1.030 MJ/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub>) y la de madera plantada, 621 MJ/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub> (entre 46 y 1.768 MJ/m<sup>2</sup><sub>superficie útil</sub>) (Gráf. 6. 12, Tab. 6. 20). El rango de variación de EI referente a la albañilería se sitúa por encima del de la madera debido al uso de materiales con mayor intensidad energética, como el cemento y la cal.

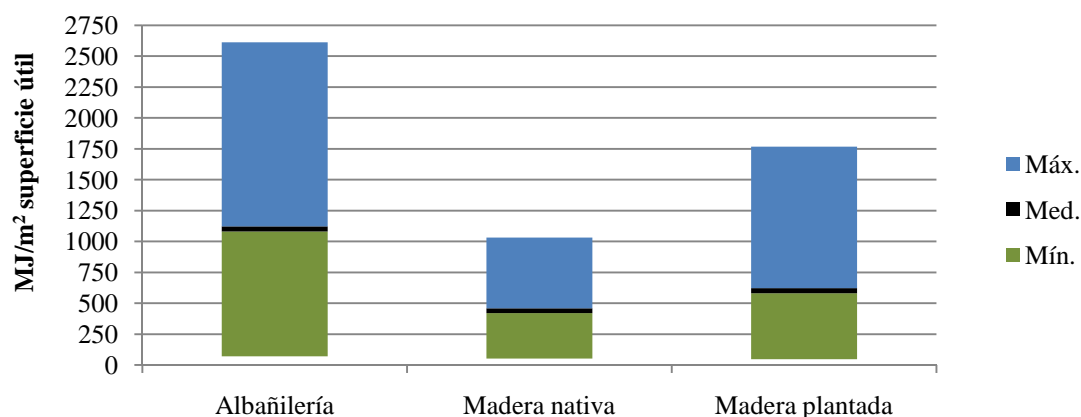


**Gráf. 6. 11 - Emisiones de CO2 por metro cuadrado de superficie útil**

**Tab. 6. 19 - Emisiones de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de superficie útil (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> superficie útil).**

	Mínimo	Máximo	Mediano
Albañilería*	10	691	203
Madera nativa	96	4.371	1.105
Madera plantada	5	209	96

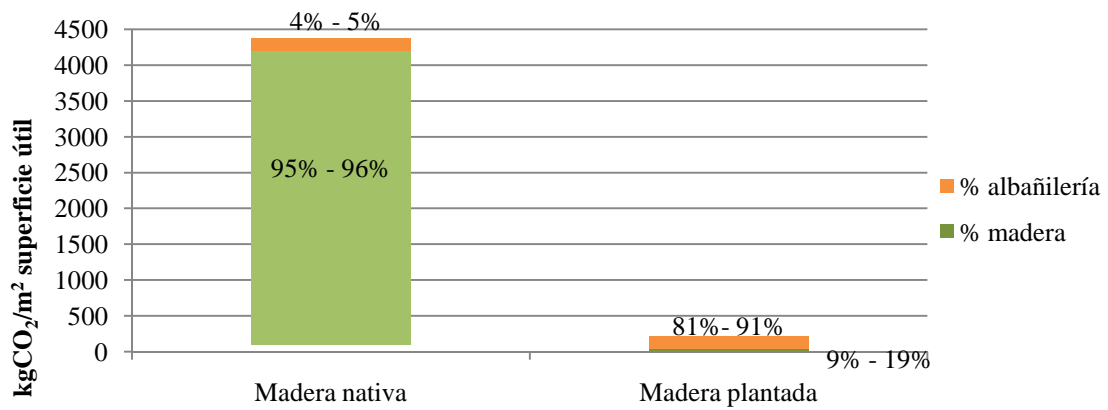
\* Considera diversos ladrillos cerámicos y bloques de hormigón.

**Gráf. 6. 12 - Energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil****Tab. 6. 20 - Energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil (MJ/m<sup>2</sup> superficie útil)**

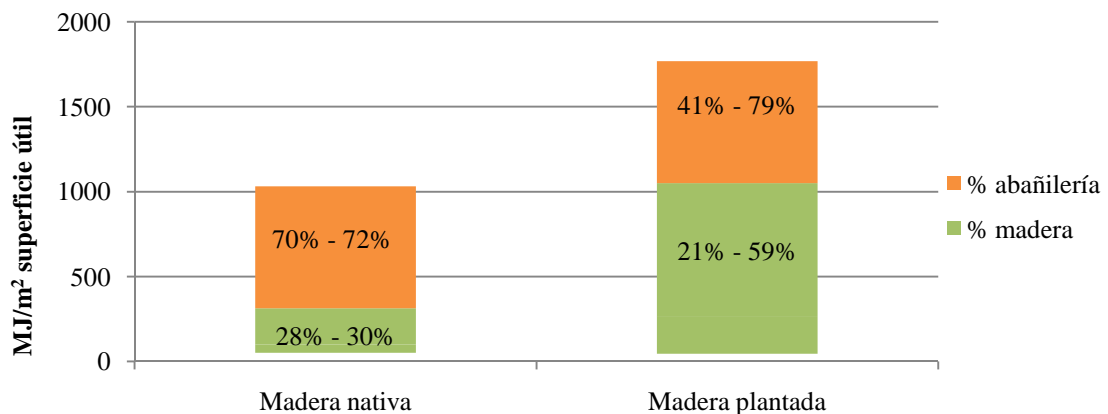
	Mínimo	Máximo	Mediano
Albañilería*	69	2.612	1.121
Madera nativa	51	1.030	459
Madera plantada	46	1.768	621

\* Considera diversos ladrillos cerámicos y bloques de hormigón.

En los resultados por metro cuadrado de *pared* se presentan valores referentes exclusivamente al tipo de *pared* de que se trata. Por otra parte, los resultados por metro cuadrado de *superficie útil* presentan valores referentes a la superficie de que se trata, es decir, los resultados por metro cuadrado de superficie útil de una vivienda de madera, incorporan la *mezcla existente entre paredes* de madera y albañilería. En este caso, el porcentaje de paredes de albañilería por metro cuadrado de superficie útil es responsable de cerca del 4% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las viviendas construidas con madera nativa y el 86%, de aquellas construidas con madera plantada (medianas) (Gráf. 6. 13), y entre el 71% y el 60% de la energía incorporada en las casas de madera nativa y plantada, respectivamente (valores medianos) (Gráf. 6. 14). Esto reafirma que la técnica constructiva de albañilería emite menos carbono que la técnica que utiliza madera nativa y más que la que usa madera plantada, así como que su intensidad energética mediana es mayor que las de madera. En los casos en que se usa madera secada en estufa, la EI puede ser semejante a la de la albañilería, pero en aquellos casos que se usa madera secada al aire, la EI es menor que la EI mínima de la albañilería (Tab. 6. 20).



Gráf. 6. 13 - Distribución porcentual de las emisiones de CO<sub>2</sub> según el tipo de pared de la vivienda de madera



Gráf. 6. 14 - Distribución porcentual de la energía incorporada según el tipo de pared de la vivienda de madera

### 6.3.3 Emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada según la vida útil de la vivienda

Para evaluar las implicaciones de estos resultados en el sector de la construcción de viviendas en Brasil es necesario relacionarlos con su vida útil (VU), que según la NBR 15.575 (norma de desempeño para residencias) [110] es una medida temporal de durabilidad. Esta depende del mantenimiento, la calidad del material, la obsolescencia estética, etc.

Dentro de los límites de este estudio, si las viviendas de madera y albañilería tienen la misma vida útil, la madera plantada podría considerarse una opción para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector. Sin embargo, aunque existan en Brasil casas de madera cuya vida útil es grande (más de cien años), este no es un escenario habitual. La vida útil, a pesar de que se relaciona con la durabilidad del material y el mantenimiento, también puede disminuir según consideraciones personales del usuario. En los capítulos anteriores se ha visto que existe una preferencia nacional por la edificación en albañilería que puede hacer, por ejemplo, que un individuo cambie su



vivienda de madera en estado conservado por otra de “material”<sup>48</sup> cuando se lo pueda permitir, en virtud de un ascenso en la escala social. Además, las maderas, principalmente las plantadas exóticas, pueden sufrir con las condicionantes climáticas locales (mayoritariamente tropical húmedo) que favorece la biodegradación de la madera.

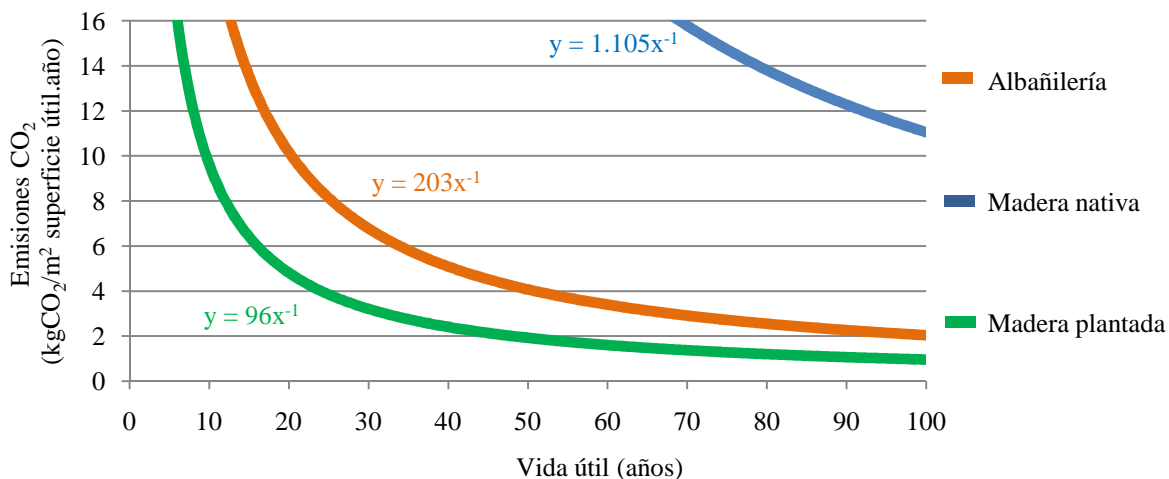
Todavía dentro de las consideraciones previas y limitaciones de este trabajo, si las viviendas de albañilería tuvieran una vida útil igual al mínimo exigido por norma (NBR 15.575) para paredes externas (cuarenta años) [110], las viviendas de madera plantada tendrían mayores emisiones de CO<sub>2</sub> si tuvieran una vida útil menor de diecinueve años. Esto, aunque pueda ocurrir, es técnicamente evitable y no debe ser la media de las viviendas de madera. La vida útil de la vivienda de madera puede aumentarse con soluciones de proyecto [111] apud [112] o con productos químicos conservantes sobre los que también se deben contabilizar los impactos.

Si se admite que una vivienda de madera plantada tiene una vida útil de cuarenta años (mínima según la norma) y que una vivienda de albañilería tiene sesenta años de vida útil (un 50% más que la de madera plantada), aún así la vivienda de madera plantada presentaría beneficios con relación a la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub>. En este caso, las emisiones medianas de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de superficie útil por año de la vivienda de madera plantada representarían cerca del 71% de las de albañilería.

Si se consideran las emisiones medianas de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado de superficie útil por año, una vivienda de madera plantada podría tener una vida útil hasta dos veces menor que una vivienda de albañilería, cuyas emisiones de CO<sub>2</sub> no se sobrepasarían. Cuando se compara la vivienda de albañilería con la de madera nativa, se aprecia que esta tiene unas emisiones medianas de CO<sub>2</sub> mucho mayores, con lo que una vivienda de albañilería podría presentar una vida útil unas cinco veces menor sin que sus emisiones sobrepasen las de la madera nativa (Gráf. 6. 15)

---

<sup>48</sup> Término popularmente utilizado para referirse a la albañilería.

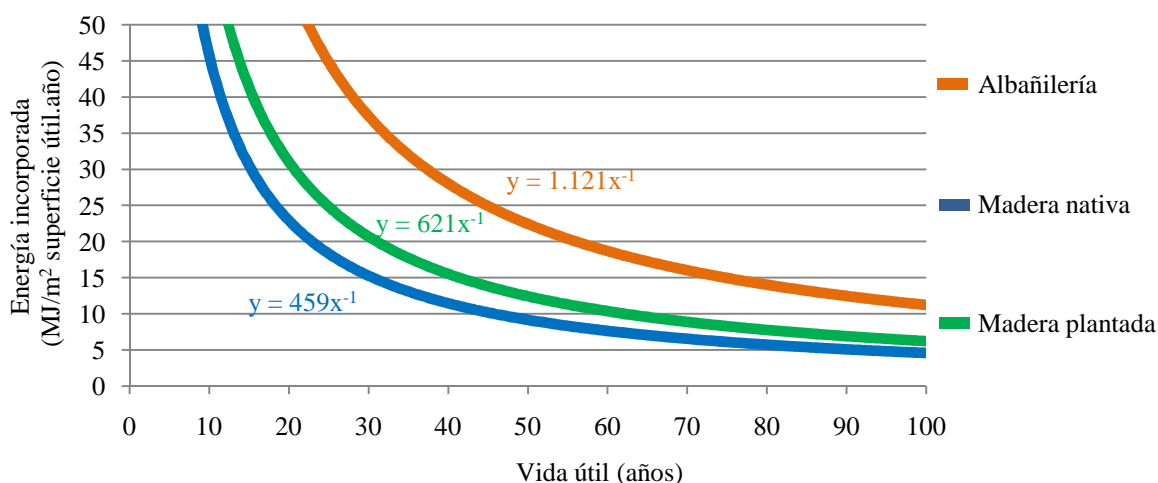


**Gráf. 6.15 - Emisiones de dióxido de carbono por metro cuadrado de superficie útil por año según la vida útil de la vivienda**

Se ha visto que la vivienda de albañilería presenta una mayor energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil. Si las viviendas de albañilería y de madera tuvieran la misma vida útil, este escenario no sería diferente a lo largo de los años. Si la vivienda de albañilería durara cuarenta años, la vivienda de madera plantada debería durar al menos cerca de veintidós años para tener una energía incorporada menor y la de madera nativa, al menos, dieciséis años. La madera nativa requiere menos años porque normalmente no se seca en estufa, fase que aporta considerable energía al proceso de producción, sino que utiliza los residuos de madera como fuente energética. Otra manera de disminuir la energía incorporada de las viviendas de madera sería reducir el porcentaje de paredes de albañilería.

Si las viviendas de madera tuvieran una vida útil de cuarenta años y las de albañilería, de sesenta años, aún así las primeras presentarían una menor energía incorporada con independencia del tipo de madera (considerando valores medianos). En esta situación, la energía incorporada mediana por metro cuadrado por año de una la vivienda de madera plantada representaría cerca del 83% de las de albañilería y las de madera nativa, cerca del 61%.

Considerando la energía incorporada mediana por metro cuadrado de superficie útil por año, las viviendas de madera plantada y nativa podrían tener, respectivamente, una vida útil cerca de 1,8 y 2,4 veces menor que las viviendas de albañilería cuya energía incorporada no se sobrepasaría (Gráf. 6. 16).



**Gráf. 6. 16 - Energía incorporada por metro cuadrado de superficie útil y año según la vida útil de la vivienda**

Como se ha visto en los capítulos anteriores, durante los últimos cuarenta años, en Brasil, ha aumentado la construcción de viviendas, primordialmente en edificaciones de albañilería. Así que, aunque un tipo constructivo tenga mejores resultados unitarios por metro cuadrado con relación a las emisiones de CO<sub>2</sub> y EI, si no se edifica una cantidad expresiva dentro del escenario de la construcción de viviendas, no se apreciará su impacto.

### 6.3.4 Emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada del sector habitacional

Para evaluar las consecuencias de construir con madera en el escenario habitacional brasileño, se llevó a cabo un estudio exploratorio basado en el estado corriente de la construcción de viviendas. A partir del escenario de referencia se estimaron las emisiones totales de CO<sub>2</sub> del sector entre 1 y 187 TgCO<sub>2</sub> (mediana de ~32 TgCO<sub>2</sub>) y la energía incorporada entre 7 y 570 PJ (mediana de ~159 PJ) (Tab. 6. 22), resultantes del incremento anual de casas de albañilería y madera (se considera como práctica corriente la construcción con madera nativa de extracción convencional). Este incremento, entre 2,0 y 2,8 millones de unidades habitacionales (Tab. 6. 21), varió según la vida útil (VU) definida para las viviendas.

**Tab. 6. 21 - Cantidad estimada de viviendas construidas al año**

Tipo de vivienda	Unidades habitacionales		
	Mínima (VU = 70 años)	Máxima (VU = 30 años)	Mediana (VU = 50 años)
Albañilería	1.928.511	2.682.387	2.154.674
Madera	29.552	110.645	53.880
<b>Total</b>	<b>1.958.063</b>	<b>2.793.032</b>	<b>2.208.554</b>

Partiendo de este escenario (Tab. 6. 21, Tab. 6. 22), si todas las viviendas de madera construidas anualmente dejaran de ser de madera nativa proveniente de extracción convencional y pasaran construirse con madera plantada, las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector podrían disminuir

entre el 12% y el 20% (~0,1 y 36,8 TgCO<sub>2</sub>/año) y la energía incorporada disminuiría menos del 0,1% (~ 0,007 PJ/año) o aumentaría hasta el 1,1% (~6,5 PJ/año). Al cambiar la madera nativa por plantada se nota una modificación más expresiva en los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> que en los de la energía incorporada. Esto se debe al hecho de que la madera plantada se considera “carbono neutra” por lo que no añade las emisiones de la quema y la degradación de residuos de madera al proceso de producción, mientras que la madera nativa se considera fuente de carbono y estas emisiones sí se tienen en cuenta. Respecto a la energía, los resultados son más moderados debido a la configuración corriente de las viviendas de madera donde una parte de las paredes es de albañilería. Esta es responsable de la mayor parte de la EI en este tipo de vivienda.

**Tab. 6. 22 - Emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada estimadas para el sector habitacional brasileño resultante de la construcción anual de viviendas nuevas**

<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (GgCO<sub>2</sub>/año).</b>			
	<b>Mínima</b>	<b>Máxima</b>	<b>Mediana</b>
Albañilería	985	148.329	28.480
Madera nativa*	142	38.688	3.870
Madera plantada**	7	1.852	338
<b>Energía incorporada (TJ/año).</b>			
Albañilería	6.693	560.600	157.031
Madera nativa*	75	9.120	1.606
Madera plantada**	68	15.651	2.175

\* Considerando que toda vivienda fuera construida con madera nativa proveniente de extracción convencional.  
\*\* Considerando que toda vivienda fuera construida con madera plantada.

Si se **duplicara** la construcción de viviendas de madera, sin variar el implemento final de viviendas (albañilería + madera), es decir, substituyendo una parte de viviendas nuevas de albañilería por madera, las emisiones totales de CO<sub>2</sub> del sector podrían *aumentar* entre el 11% y el 17%, si las nuevas casas se construyeran con madera nativa, o *disminuir* entre el 13% y el 22% si se hiciera con madera plantada (Gráf. 6. 17, Gráf. 6. 18). Las emisiones de CO<sub>2</sub> varían al cambiar la madera nativa por plantada debido al sistema de producción considerado (extracción convencional y monocultivo, respectivamente). Si la madera nativa se extrajera de forma que no redujera las reservas de carbono en la foresta, los resultados sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> entre ambos los recursos serían análogos.

Si cerca de una cuarta parte de las viviendas construidas al año se edificaran con madera (esto correspondería a cerca de diez veces la producción anual actual estimada de viviendas de madera) en detrimento de la albañilería, las emisiones totales del sector por la construcción de nuevas casas podrían bajar entre el 18 y el 40% si se construyen con madera plantada o aumentar entre el 101% y el 157% si se fabrican con madera nativa (Gráf. 6. 17, Gráf. 6. 18). Esta

producción de vivienda, de media ~539.000 unidades habitacionales<sup>49</sup>, sería casi equivalente a la producción anual de casas del programa *Minha Casa Minha Vida* (~600.000 unidades habitacionales)<sup>50</sup>. Por lo tanto, es improbable que se dé este escenario en las circunstancias actuales.

Además, este impacto no se apreciaría con tal magnitud ya que la implementación de viviendas de madera en el sector habitacional no se produciría de manera homogénea como estudiado (considerando solo casas de madera plantada o madera nativa), sino con un incremento evolutivo. Asimismo, la inserción de un producto no convencional, como la madera plantada para uso de largo plazo en la construcción de viviendas, debe producirse de forma gradual, de forma que los probables porcentajes de disminución de emisión de carbono sean menores. Los porcentajes encontrados puntúan un valor máximo teórico para dicha situación. De cualquier manera, el estudio por escenarios extremos ayuda a ver los límites que se pueden alcanzar con las variaciones propuestas, sabiendo que en la práctica los índices deben ser más atenuados.

Aún así, lo que se nota es que el incremento de madera nativa de fuente de extracción convencional, con independencia de la cantidad, no sirve para reducir las emisiones del sector. Por otro lado, la madera plantada puede favorecer la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector de la construcción si la fase de uso y mantenimiento, así como la vida útil, no disminuyen su ventaja con relación a la albañilería.

En Nueva Zelanda, un estudio mostró que el incremento del uso de la madera en el sector de la construcción podría bajar las emisiones de carbono debidas a la producción de los materiales, consecuencia del cambio de materiales con mayor energía durante su procesamiento por madera [114]. Según un metaanálisis<sup>51</sup> realizado por Sathre et. al. (2010), de media, por cada tonelada de madera utilizada en detrimento de otros materiales (no madereros) dejan de emitirse cerca de 2,1 toneladas de carbono [115].

En otros estudios [116][117][118], con diferentes límites y métodos de análisis, que comparan madera con otros materiales, se han visto resultados semejantes de baja de emisión de carbono por el uso de la madera, y en algunos casos, se ha comentado el empleo de los residuos de madera como carburantes en sustitución a los combustibles fósiles como aportación a la reducción de las emisiones.

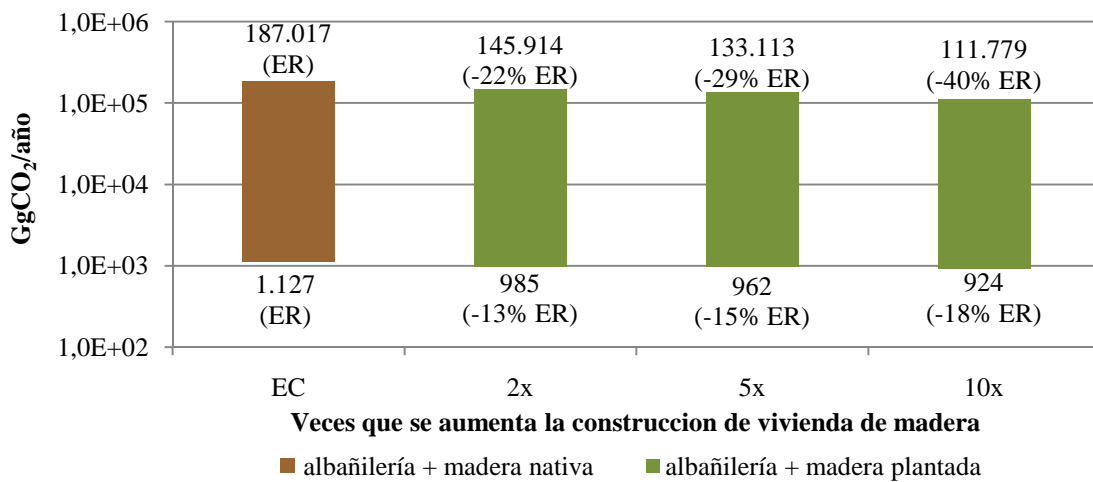
---

<sup>49</sup> Valor medio estimado considerado vida útil de cincuenta años.

<sup>50</sup> El programa ha previsto construir tres millones de viviendas (en dos fases) entre 2009 y 2014 [113], es decir, una media de 600.000 al año si se logra el objetivo.

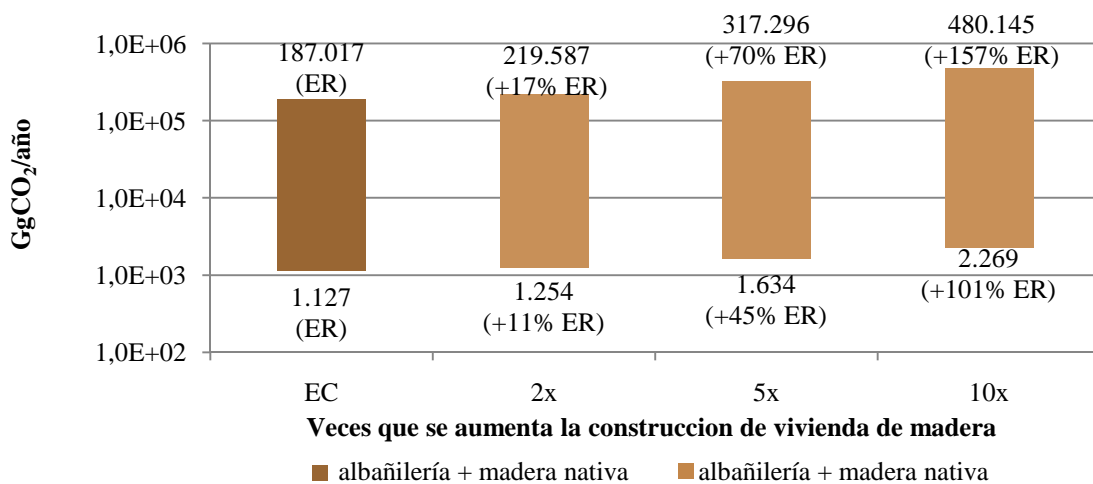
<sup>51</sup> Resultados de diferentes estudios con métodos y límites de estudio diversificados.

Según Eriksson (2011) [119], el incremento del uso de la madera en la construcción puede contribuir a mitigar el cambio climático. El uso de la madera afectaría el balance de carbono debido a cuatro factores, a saber, el relativo bajo uso de combustibles fósiles en el procesamiento, la evitación de emisiones de carbono por procesos industriales de productos como, por ejemplo, cemento, el aumento de la disponibilidad de biomasa (residuos de madera) para utilizarlos en sustitución de combustibles fósiles y el almacenamiento del carbono en los materiales de construcción [119]. Este último puede ser discutido, ya que el almacenamiento es temporal, pues al final de la vida útil vuelve a la atmósfera por el proceso de quema o degradación.



Leyenda: ER – escenario de referencia basado en el estado corriente de la construcción de viviendas.

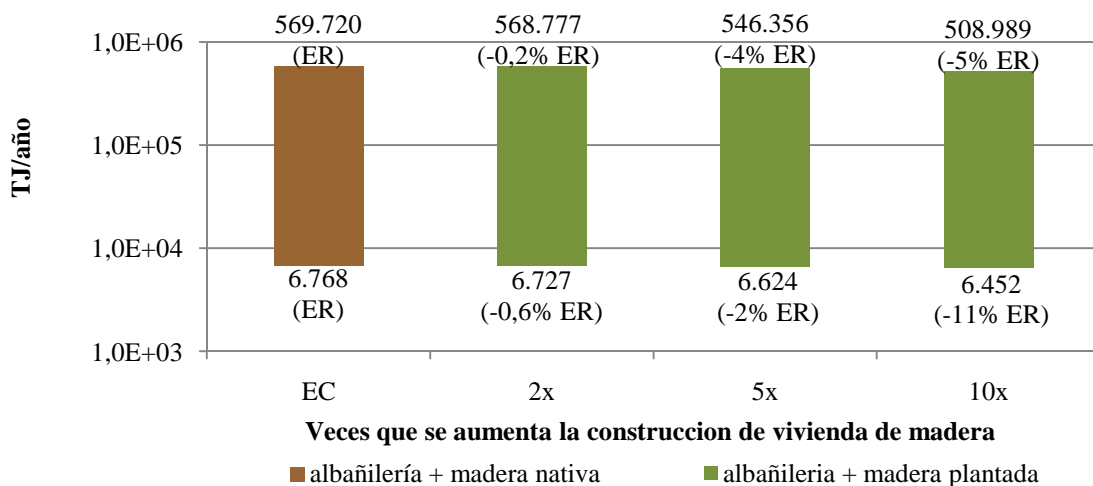
**Gráf. 6. 17 - Variación en las emisiones de CO<sub>2</sub> totales del sector habitacional brasileño por la construcción anual de nuevas viviendas según el incremento de viviendas de madera plantada en detrimento de las construcciones de albañilería**



Leyenda: ER – escenario de referencia basado en el estado corriente de la construcción de viviendas.

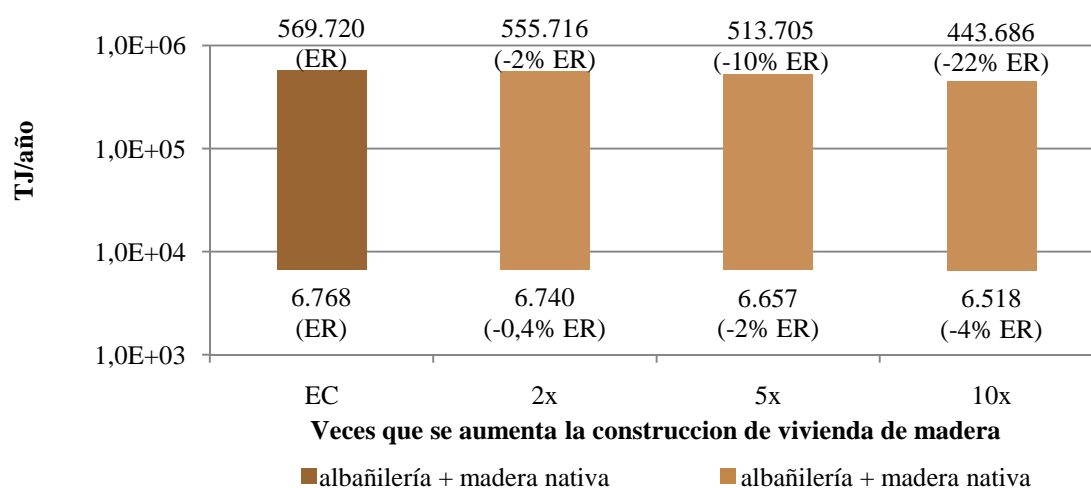
**Gráf. 6. 18 - Variación en las emisiones de CO<sub>2</sub> totales del sector habitacional brasileño por la construcción anual de nuevas viviendas según el incremento de viviendas de madera nativa en detrimento de las construcciones de albañilería**

Con los mismos parámetros de análisis, **si se duplica** la construcción en madera, la energía incorporada del sector disminuiría entre el 0,4% y el 2,5%, si se considera que las edificaciones se construyeran con madera nativa; mientras que si se construyeran con madera plantada bajaría entre el 0,6% y el 0,2% (Gráf. 6. 19, Gráf. 6. 20). Valores casi despreciables si se tienen en cuenta las incertidumbres existentes sobre los números del sector. Para lograr una disminución más considerable de la EI, sería necesario un gran incremento de viviendas de madera, cosa difícil de lograr, teniendo en vista el prejuicio de los consumidores y la evolución del parque de vivienda de madera en los últimos cuarenta años. Además, esta no debe considerarse una estrategia ya que la mayor parte de la energía incorporada en las viviendas de madera, tal como se construyen normalmente, viene de las paredes de albañilería (zonas húmedas de la casa). Al aumentar la construcción de viviendas de madera, también se aumentaría una parte de albañilería. De esta manera, la diferencia energética en el sector depende más de cambios en el proceso productivo relacionado con la albañilería que del cambio a la madera.



Leyenda: ER – escenario de referencia basado en el estado corriente de la construcción de viviendas.

**Gráf. 6. 19 - Variación en la energía incorporada total del sector habitacional brasileño por la construcción anual de nuevas viviendas según el incremento de viviendas de madera plantada en detrimento de las construcciones de albañilería**



Leyenda: ER – escenario de referencia basado en el estado corriente de la construcción de viviendas.

**Gráf. 6. 20 - Variación en la energía incorporada total del sector habitacional brasileño por la construcción anual de nuevas viviendas según el incremento de viviendas de madera nativa en detrimento de las construcciones de albañilería**

Un aumento del uso de la madera en la construcción debe venir acompañado de una producción de rendimiento sostenible [114] para tener resultados positivos. Imaginado que todas las nuevas viviendas de madera hipotéticamente construidas al año<sup>52</sup> pasaran a construirse con madera plantada en detrimento de la madera nativa, sin cambiar las técnicas constructivas convencionales, sería necesario entre 46 y 3.884.000 toneladas de troncos anualmente<sup>53</sup> (234.000 toneladas de mediana) para atender la demanda. Esto equivale entre el 0,3% y el 22% de toda la madera plantada destinada a la industria maderera en 2012, que a su vez corresponde al 19% del total de madera plantada consumida por el mercado interno brasileño en el mismo año<sup>54</sup>, es decir, entre el 0,05% y el 4% de la producción total consumida en mercado interno. En superficie ocuparía un territorio aproximado de 23 a 1.942 km<sup>2</sup> (mediana de 117 km<sup>2</sup>)<sup>55</sup> por año, comparativamente no mayor que el territorio de las Islas Mauricio, por ejemplo. Esto no podría considerarse muy significativo en un primer momento ya que un cambio como este no se produce íntegramente de un año para otro, sino se desarrolla de manera gradual.

<sup>52</sup> Según estimaciones hechas sobre datos históricos y prácticas habituales de construcción, tal como se describe en la metodología. Se construirían entre 29.552 y 110.645 (53.880 de mediana) viviendas de madera por año según la vida útil considerada, entre 30 y 70 años (50 años de mediana), con una superficie que varía entre 50 y 80 m<sup>2</sup> (65 de mediana).

<sup>53</sup> Considerando: entre 29.552 y 110.645 viviendas de madera construidas por año (mediana de 53.880), con una superficie entre 50 y 80 m<sup>2</sup> (mediana de 50 m<sup>2</sup>), vida útil entre 30 y 70 años (mediana de 50 años), metros cuadrados de pared por metro cuadrado de superficie útil entre 1,9 y 2,7 (mediana de 2,2 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>), densidad de la madera 0,52 t/m<sup>3</sup>, índice de aprovechamiento entre 2,3 y 6,2 toneladas de tronco por tonelada de madera aserrada acabada (véase capítulo 5).

<sup>54</sup> Producción de madera plantada consumida en el mercado interno en 2012, cerca de 94,6 millones de toneladas de troncos (o 182 millones de metros cúbicos) [120].

<sup>55</sup> Valor estimado considerando la situación actual (técnica constructiva y cantidad de viviendas de madera construidas al año) que consumiría entre 46.000 y 3.884.000 toneladas de troncos por año con una productividad media de las plantaciones brasileñas de 40m<sup>3</sup>/he.año (o 20 t/he.año).



La ampliación de un mercado o la implementación de un material o técnica constructiva requiere tiempo, adecuación de infraestructura e inversión financiera, entre otras cosas, así, a medida que se aumentara el consumo de madera plantada en la construcción, serían necesarios planes estratégicos. Además, aunque la inserción gradual de un producto o tecnología disperse ciertos impactos, es necesario evaluar las consecuencias sociales, económicas y ambientales a largo plazo de este nuevo comportamiento de consumo. Aunque se considere la madera plantada una opción para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, su aumento en el mercado depende de la aceptación del consumidor, la capacitación de recursos humanos para proyectar y construir con el material y la mejora de la técnica constructiva, entre otros factores (que se han analizado en el capítulo 4).

Se cree que las estrategias para el sector deben considerar soluciones mixtas que empleen de manera adecuada los materiales según sus características. Un material no debe descartarse de soluciones constructivas solamente porque presente una mayor emisión de CO<sub>2</sub> o energía incorporada, sino que deben evaluarse de forma conjunta su desempeño y vida útil para la aplicación a la que está destinado. Además, la disminución del uso de un material puede generar impactos sociales y económicos que también deben tenerse en consideración. Ximenes (2012) cree que deben tenerse en consideración la biodiversidad, la contaminación del agua y el peligro de toxicidad para los seres humanos [117], sin embargo, estos factores no han sido evaluados en esta investigación.

Vale resaltar que este estudio tiene sus limitaciones y que los resultados buscan una aproximación a la realidad que favorezcan y sean de utilidad para discusión sobre las posibles estrategias que sirvan para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y EI del sector de la construcción de viviendas en Brasil. Es difícil calcular unos valores más precisos ya que en el sector influyen multitud de parámetros variantes como el tamaño y el tipo arquitectónico, la técnica constructiva, los procesos de producción, la vida útil, los materiales empleados, el volumen de producción de viviendas, el aprovechamiento de recursos (en este estudio no se apreciaron los efectos del desperdicio de material en obra), entre otros que aumentan las incertidumbres.

### **6.3.5 Consecuencias de las limitaciones del estudio**

Pueden producirse cambios en los escenarios a medida que aumentan los límites del estudio. La consideración de **impactos indirectos** por la producción de los combustibles y su transporte, así como el transporte de los productos manufacturados hasta el consumidor o la obra aumentan las emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía incorporada de los materiales y, en consecuencia, del sector. Este aumento no se produce de forma homogénea. Depende de la mezcla energética

utilizada para cada material. No hay disponibles datos nacionales oficiales sobre los impactos indirectos de la producción de combustibles fósiles, los cuales deberán tenerse en cuenta en estudios futuros.

Otro factor que no se tuvo en cuenta y que puede cambiar los resultados del sector son las actividades de **mantenimiento** de la edificación, tanto de albañilería como madera. El alcance de este estudio, que finaliza en la manufactura (Fig. 6. 4), en cierta manera acaba favoreciendo la madera que necesita más mantenimiento que la albañilería. Según la agresividad de los condicionantes locales, la madera necesita pinturas constantes. Las emisiones y energía incorporada provenientes de la pintura pueden variar según el tipo de pintura utilizada (a base de agua o solvente), el recubrimiento, la periodicidad necesaria entre cada pintura, los componentes y los pigmentos. Se encontraron referencias que varían hasta dos órdenes de magnitud los resultados de EI y CO<sub>2</sub> [79][71][51][121][122] según el tipo de pintura. Estos parámetros deberían analizarse junto con otras técnicas de mantenimiento como reformas, cambio de partes, limpieza, etc. El tratamiento de la madera con conservantes químicos utilizados para aumentar la vida útil del material aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía incorporada en la madera (principalmente plantada), que también deberían tenerse en cuenta en futuros estudios.

La producción de **residuos** en el proceso de producción de los materiales y la construcción de la vivienda es otro apartado que afecta a las emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía incorporada. En el proceso de manufactura las emisiones de CO<sub>2</sub> y la EI pueden asignarse de diversas maneras, entre otras, por masa, por valor financiero o directamente al producto [123]. En los casos donde se asigna parte de los impactos a los residuos, puede ocurrir que al admitir un valor de emisión o energía para un producto, se pierda la referencia de parte de los daños generados por su uso. Algo similar sucede en la etapa de construcción, donde se pueden asignar los impactos de la obra al material utilizado o dividirlos entre aquellos empleados y excluidos. En este caso, las emisiones y EI que se asignaron a los residuos deberían considerarse en los análisis de impacto, ya que hay tasas de desperdicio en la construcción que no pueden ser despreciables (en Brasil entre 50 y 300 kg/m<sup>2</sup> [124] apud [125], [126]).

El cemento, por ejemplo, puede tener cerca del 56% de pérdidas en obra (mediana), lo que significa que por cada un kilo de cemento efectivamente empleado se gastan cerca de 2,27 kg (mediana) [127]. Las pérdidas varían según el sistema constructivo (hecho *in situ* o prefabricado) y, entre otras cosas, pueden producirse por superproducción, sustitución de material, esperas durante el transporte, procesamiento y por mal almacenamiento [128]. La calidad del material también afecta al porcentaje de generación de residuos. En este trabajo, no

se han estudiado las fases de construcción, uso, mantenimiento y descarte, pero se cree que deberían considerarse en futuras investigaciones. Todas las fases excluidas de este estudio incorporan energía y aumentan las emisiones de carbono, principalmente el uso [129][71][116]. Durante el uso de la edificación, las emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo energético del sector habitacional pueden verse afectados por el **desempeño** de la vivienda. Las casas que se adecúan al clima necesitan menos aportación de instrumentos ajenos para implementar el confort del usuario, es decir, cuanto más adecuada está la vivienda a las condiciones climáticas locales, menor será la necesidad de acondicionarla de forma artificial. En 2013, entró en vigor en Brasil la Norma de Desempeño para Edificaciones Habitacionales (NBR 15.575), que divide el territorio en ocho regiones, para las que se definen parámetros de confort mínimos. Respecto a las paredes externas, la casa de madera, como se construye en la actualidad, solamente pasa por índices normativos de transmitancia térmica<sup>56</sup> con pared doble y cámara de aire; mientras que es necesario estudiar soluciones técnicas para adecuarlas a la capacidad térmica mínima exigida ( $\geq 130 \text{ KJ/m}^2 \cdot \text{K}$ ) [110].

El confort de una vivienda es un factor que depende de muchos otros elementos por encima del material o las paredes. Hay factores del propio usuario (fisiológico, psicológico y cultural) y parámetros ambientales (térmicos, acústicos, visuales) [130][131] que junto con los condicionantes climáticos forman un complejo entramado de informaciones que deben gestionarse para buscar una solución constructiva adecuada para cada lugar. En Brasil, un sistema de entramado ligero de madera ha logrado la aprobación en la NBR 15.575 [132][133], como ejemplo del uso de la madera bajo otro referente técnico (que a su vez también debe evaluarse con relación a impactos ambientales). Sin embargo, una misma solución constructiva no tiene el mismo desempeño en diferentes localidades brasileñas [134], lo que hace que cada localidad necesite una solución particular. La implementación de la construcción de viviendas de madera debe considerar este factor en futuros estudios.

El destino de los materiales al **final de la vida útil** de la vivienda puede, además de afectar a los parámetros investigados, influir en impactos de otras cadenas. Cuando un material se recicla, la presión sobre dicho recurso natural primario disminuye. No obstante, es necesario verificar si el proceso de reciclado no causa un mayor impacto que el uso del insumo primario natural. La albañilería puede aprovecharse por medio de la trituración y servir de árido para un nuevo hormigón, por ejemplo. Debido a la unión química entre las piezas que produce el

---

<sup>56</sup> El país dividido en ocho zonas climáticas para las que se definió la transmitancia térmica (U) según la zona y la absorptancia a radiación solar ( $\alpha$ ). Zonas 1 y 2,  $U \leq 2,5$ ; zonas 3 hasta 8,  $U \leq 3,7$  para  $\alpha \leq 0,6$ , y  $U \leq 2,5$  para  $\alpha > 0,6$ .

mortero, su reutilización como pieza para albañilería es más dificultosa y en una nueva aplicación (árido) acaba perdiendo sus propiedades iniciales [135]. Si el proceso de reciclado no es viable técnica o económicamente el destino pasa a ser el vertedero.

Por otra parte, la madera puede ser reciclada, reutilizada o destinada a un vertedero (aunque se trate químicamente, pues en Brasil todavía no hay normativa que regule el destino final de este producto)<sup>57</sup>. El descarte de la madera impregnada con productos químicos puede representar riesgos para el medio ambiente [136]. Si se recicla o reutiliza, debe considerar aplicaciones que no ofrezcan riesgos para el consumidor o el medio ambiente, y si se quema, debe respetar los métodos apropiados (entre otros, horno industrial de alta temperatura [137][138]). La utilización de la madera como combustible es bastante habitual y suministra energía para diversos procesos industriales. De modo general, el reaprovechamiento de este insumo se ve facilitado por las características bioquímicas. El destino del material al final de su vida útil determina parte de los impactos por su uso.

La carbonatación del hormigón durante su uso y más acentuada en la fase de reciclaje cuando se tritura y convierte en agregado, puede favorecer los índices de carbono emitido al final de la vida útil del material. Con todo, si se comparan con los resultados de emisión de carbono resultantes del destino de la madera como insumo sustituto de combustibles fósiles, la carbonatación no es tan beneficiosa [139]. Por otra parte, si el destino final de la madera es otro, como el abandono para su descomposición en un vertedero, los resultados dejan de ser beneficiosos en lo que se refiere a los gases de efecto invernadero [140]. De esta manera, la implementación del uso de un material para la construcción civil debe considerar todas las fases del ciclo de vida del material y del sistema que compone.

## 6.4 Conclusiones del capítulo

Dentro de los límites de este estudio, que excluye las etapas de distribución de material, construcción, mantenimiento, uso y destino de la vivienda, las principales conclusiones de este capítulo son:

- En principio, la construcción con madera plantada puede considerarse una herramienta para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector de viviendas en Brasil. Su eficacia debe tener en cuenta la vida útil de la casa, los procesos de mantenimiento y el desempeño en el uso.

---

<sup>57</sup> Más comentarios sobre el asunto en el capítulo 5.

▪ Sin tener en cuenta los procesos de mantenimiento, una vivienda de madera plantada podría tener una vida útil hasta dos veces menor que una vivienda de albañilería sin que sus emisiones de CO<sub>2</sub> (provenientes de los materiales) fueran superiores a las de la técnica comparada.

▪ Considerando la vida útil de la vivienda entre treinta y setenta años y duplicando el incremento medio anual de viviendas de madera en sustitución a casas de albañilería, las emisiones totales del sector habitacional brasileño podrían disminuir entre el 13% y el 22% si solo se utiliza madera plantada y podrían aumentar entre el 11% y el 17% si solo se usa madera nativa; sin considerar los procesos de mantenimiento.

▪ Un cambio integral de madera nativa por plantada en las viviendas de madera construidas al año disminuiría las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector de viviendas brasileño en entre un 10% y un 20%; la energía incorporada prácticamente no disminuiría o podría tener un pequeño aumento de hasta un 1,1%. Se trata de valores máximos, ya que una conversión completa de un insumo a otro se considera una situación teórica.

▪ La disminución de la energía incorporada del sector depende más de cambios relacionados con la albañilería y los procesos productivos de los materiales que la componen que de un cambio de los tipos de madera o entre ellos. A su vez, las emisiones de CO<sub>2</sub> varían sensiblemente por el cambio entre madera nativa y plantada.

▪ La vivienda de madera nativa proveniente de extracción convencional produce una mayor emisión del material por metro cuadrado de superficie útil que la edificación en albañilería o madera plantada. No debe considerarse como estrategia para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector habitacional brasileño.

## 6.5 Referencias (capítulo 6)

- [1] IBGE, “PNAD - Pesquisa Nacional por amostras de Domicílios.”, 2013. [Online]. Disponible en: <http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/default.asp>. [Consultado: 15-set-2010].
- [2] IBGE, “BME”, 2012. [Online]. Disponible en: <http://www.bme.ibge.gov.br/index.jsp>. [Consultado: 10-abr-2012].
- [3] PINI Ltda, *TCPO 13a edição - Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos.*, 13<sup>o</sup> ed. Sao Paulo: PINI Ltda, 2008.
- [4] Sinduscon - Sindicato da Construção, “Custo Unitário Básico (CUB/m<sup>2</sup>): principais aspectos.” Sinduscon - MG, 2007.
- [5] R. F. T. Meyer, “Mãos à obra.” ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.
- [6] CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano, “Descritivo de materiais de casas de alvenaria da CDHU.”, 2012.
- [7] Caixa Econômica Federal, Ministério das Cidades, e Governo Brasileiro, “Programa Minha Casa Minha Vida. FAR. Especificações mínimas. Casa. Apartamento.”.
- [8] Caixa Econômica Federal, “Cadernos CAIXA. Projeto padrão – casas populares.” GIDUR/VT, jan-2007.
- [9] Olaria dois irmãos, “Tijolos”. [Online]. Disponible en: <http://www.olariadoisirmaos.com.br/produtos/tijolos.htm>. [Consultado: 16-dez-2013].

- [10] Cerâmica Belém, “Tijolos, Elementos Vazados e Lages”. [Online]. Disponível em: <http://www.ceramicabelem.com.br/tijolos1.htm>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [11] Aldebarã, “Produtos - bloco cerâmico estrutural”. [Online]. Disponível em: <http://www.aldebaraceramica.com.br/produtos/bloco-ceramico-estrutural/bloco-ceramico-furo-vertical/14x19x39>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [12] Cerâmica São Jorge, “Tijolo comum.” [Online]. Disponível em: [http://www.ceramicasaojorge.com.br/tijolo\\_comum.php](http://www.ceramicasaojorge.com.br/tijolo_comum.php). [Consultado: 16-dez-2013].
- [13] Cerâmica Felisbino, “Produtos”. [Online]. Disponível em: <http://www.rae.es/>. [Consultado: 13-fev-2014].
- [14] Kipper, “Ficha técnica - tijolo”. [Online]. Disponível em: <http://www.kipper.com.br/getFrames.asp?id=9>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [15] Cerâmica Salema, “Tijolos - Blocos de Vedação”. [Online]. Disponível em: <http://www.salema.com.br/produtos/tijolos-blocos-de-vedacao/>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [16] Unicerâmicas, “Produtos - blocos - estruturais.” [Online]. Disponível em: <http://uniceramicas.com.br/produtos/blocos/estruturais/>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [17] Maucar tijolos, “Produtos”. [Online]. Disponível em: <http://www.mctijolos.com.br/produtos.html>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [18] Cerâmica e Olaria ABCD, “Bloco cerâmico”. [Online]. Disponível em: <http://www.ceramicaabcd.com.br/blococeramicoestrutural.htm>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [19] Vauta, “Blocos cerâmicos e blocos de concreto”. [Online]. Disponível em: <http://www.vauta.com.br/ceramicos.htm>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [20] Cerâmica Ferreira Andrade, “Bloco Cerâmico de Vedação”. [Online]. Disponível em: <http://ceramicaferreiraandrade.wordpress.com/produtos-2/new-products-2/>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [21] Cerâmica Sõa José, “Bloco, lajotas e canaletas”. [Online]. Disponível em: <http://www.ceramicasaojose-se.com.br/produtos.php>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [22] Piuca, “Produtos”. [Online]. Disponível em: <http://www.piucablocos.com.br/estruturais.html>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [23] Concremix, “Blocos de concreto”. [Online]. Disponível em: <http://www.concremix.com.br/tabela-tecnica-blocos-concreto.html>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [24] PInguim blocos de concreto, “Blocos de Concreto”. [Online]. Disponível em: <http://www.blocospinguim.com.br/produtos.php?idcat=10>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [25] FK Comércio, “Bloco de concreto vedação e estrutural”. [Online]. Disponível em: <http://www.fkct.com.br/tabela.bl.conc.html>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [26] Sucrana - soluções em engenharia, “Peso específico dos materiais.” [Online]. Disponível em: [http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&ved=0CEsQFjAF&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F1622770%2F873059240%2Fn ame%2Fpeso-especifico-materiais.pdf&ei=\\_vquUsPnC9jeoASWwIC4AQ&usq=AFQjCNEiJeQ5U-TxQUO11wgNhNIKf3Glqg&sig2=DXqs8qFQAoFOqgonsddjMA&bvm=bv.57967247,d.cGU](http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&ved=0CEsQFjAF&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F1622770%2F873059240%2Fn ame%2Fpeso-especifico-materiais.pdf&ei=_vquUsPnC9jeoASWwIC4AQ&usq=AFQjCNEiJeQ5U-TxQUO11wgNhNIKf3Glqg&sig2=DXqs8qFQAoFOqgonsddjMA&bvm=bv.57967247,d.cGU). [Consultado: 16-dez-2013].
- [27] “WebCalc - Peso Específico de Materiais”. [Online]. Disponível em: [http://www.webcalc.com.br/engenharia/peso\\_espec\\_tab.html](http://www.webcalc.com.br/engenharia/peso_espec_tab.html). [Consultado: 16-dez-2013].
- [28] “Cargas nas edificações”. [Online]. Disponível em: <http://professor.ucg.br/siteDocente/admin/arquivosUpload/15627/material/Cargas%20nas%20Edif ica%25C3%25A7%25C3%25B5es.pdf>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [29] J. A. de Milito, “Técnicas de construção civil e construção de edifícios”. .
- [30] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 15.220:2005 - Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.” 2008.
- [31] MCT, “Programa Nacional de Mudanças Climáticas. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Fatores de Emissão. Arquivos de Fatores de Emissão”, *Ministério da Ciência e Tecnologia*, 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>. [Consultado: 24-out-2011].
- [32] Empresa de Pesquisa Energética e Ministério de Minas e Energia, “Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011”, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2012.

- [33] MCT, “Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Fontes Móveis, no Setor Energético.”, MCT, Brasília, 2006.
- [34] CETESB, “1º Relatório de Referência do Estado de São Paulo de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, período de 1990 – 2008. Inventário das Emissões de CO<sub>2</sub> por queima de combustíveis no Estado de São Paulo, 1990 a 2008: Abordagem de Referência (Top Down)”, CETESB, São Paulo, 2010.
- [35] GHG Protocol e FGV, “Programa Brasileiro GHG Protocol. Arquivo em excel. Fatores de conversão.”, *Programa Brasileiro GHG Protocol*, 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.fgv.br/ces/ghg/>. [Consultado: 31-out-2011].
- [36] O. de M. Álvares Jr e Renato Ricardo Antonio Linke, “Metodologia simplificada para cálculo das emissões de gases do efeito estufa das frotas de veículos no Brasil.” CETESB, 2001.
- [37] IPCC, “Carbon metrics”, *Carbon Metrics*, 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.carbonmetrics.com/ipcc-emission-factors-tool>. [Consultado: 31-jan-2011].
- [38] CETESB, “Inventário de emissões de CO<sub>2</sub>. Manual de preenchimento.”, CETESB, São Paulo.
- [39] ANP, “Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - 2010”, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil), Rio de Janeiro, N 1983-5884, 2010.
- [40] H. S. Eggleston e Intergovernmental Panel on Climate Change. National Greenhouse Gas Inventories Programme, *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 1 Introduccion*. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [41] M. A. Brand e G. I. B. de Muñiz, “Influência da época de colheita da biomassa florestal sobre sua qualidade para a geração de energia.”, *Sciencia Florestalis*, vol. 38, nº 88, p. 619–628, 2010.
- [42] C. Ortolan, E. W. Azevedo, A. C. Antiquiera, F. A. S. Ortolan, e H. Bonisch, “Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal.”.
- [43] V. Francescato, E. Antonini, e L. Z. Bergomi, *Wood Fuels Handbook (UK). BiomassTrade Centres*. AIEL - Italian Agriforestry Energy Association, 2008.
- [44] V. C. H. C. Oliveira, “Estratégias para a minimização da emissão de CO<sub>2</sub> de concretos.”, São Paulo, a ser publicada-2014.
- [45] Diario Oficial de la Unión Europea, “Directiva 2008/98/CE del parlamento europeo y del consejo.” 22-nov-2008.
- [46] SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, “Relatório anual 2012.”, SNIC, 2012.
- [47] “Comparative analysis of available life cycle inventories of cement in the EU”. [Online]. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884603004447>. [Consultado: 06-dez-2013].
- [48] J. A. R. Lima, “Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para mudanças climáticas.”, São Paulo, 2010.
- [49] MME - Ministério de Minas e Energia, “Balanco Energético Nacional 2013: Ano base 2012”, Ministério de Minas e Energia - Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2013.
- [50] WBCSD - World Business Council for Sustainable Development, “GNR Project. Reporting CO<sub>2</sub>. Country: Brazil.”, [www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org). [Online]. Disponível em: <http://www.wbcscement.org/GNR-2011/index.html>. [Consultado: 06-dez-2013].
- [51] ITEC - Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya., “Banco BEDEC”.
- [52] J. O. da Silva, “Produto RT 72. Perfil da Cal.”, MME - Ministério de Minas e Energia; Banco Mundial; J. Mendo Consultoria, set. 2009.
- [53] MCT - Ministério de Ciencia e Tecnologia, “Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa relatórios de referência emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais - produtos minerais. Parte II. Produção de Cal. Outros Usos do Calcário e Dolomita. Produção e Uso de Barrilha.”, MCT, Brasília, 2010.
- [54] Sergio Valdir Bahay e Paulo Henrique de Mello Sant’ana, “Oportunidades de eficiência energética para indústria. Relatório setorial. Cal e gesso.”, CNI, Procel, Eletrobras, Brasília, 2010.
- [55] B. L. de C. Costa, “Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil.”, Universidade Federal do Rio de Janeiro, fev-2012.

- [56] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 7175:2003. Cal hidratada para argamassas.” ABNT, 2003.
- [57] M. S. Bezerra, “Produto 24. Gipsita. Perfil da Gipsita.”, MME - Ministério de Minas e Energia; Banco Mundial; J. Mendo Consultoria, set. 2009.
- [58] M. M. Rolim, “Energia solar na produção de gesso - renovando definições.”, apresentado em IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES, São Paulo, 2012.
- [59] ATECEL - Diagnóstico energético do setor industrial do pólo gesseiro da Meso Região de Araripina, ADENE - Agencia de Desenvolvimento do Nordeste, e Governo Federal, “Diagnóstico energético do setor industrial do pólo gesseiro da Meso Região de Araripina.” ATECEL, 2006.
- [60] Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, “Significado e definição de caatinga”. [Online]. Disponible en: <http://www.priberam.pt/DLPO/caatinga>. [Consultado: 09-jan-2014].
- [61] Sinduscon - Sindicato da Construção, “Guia metodológico para inventários de emissões de gases de efeito estufa na construção civil - setor edificações.” .
- [62] L. Peres, M. Benachour, e V. A. dos Santos., *O gesso: Produção e utilização na construção civil. Bagaço, 2001 - 156 pag.* Recife: Bagaço, 2001.
- [63] H. A. de la Serna e M. M. Rezende, “Agregados para construção civil.” 2009.
- [64] L. F. Quaresma, “Produto 22. Agregados para construção civil. Perfil da brita para construção civil.”, MME - Ministério de Minas e Energia; Banco Mundial; J. Mendo Consultoria, 30, ago. 2009.
- [65] ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, “Areia”. [Online]. Disponible en: <http://anepac.org.br/wp/agregados/areia/>. [Consultado: 04-jan-2014].
- [66] L. F. Quaresma, “Produto 22. Agregados para construção civil. Perfil da areia para construção civil.”, MME - Ministério de Minas e Energia; Banco Mundial; J. Mendo Consultoria, 31, ago. 2009.
- [67] M. P. R. de Souza, “Avaliação das emissões de CO2 antrópico associadas ao processo de produção do concreto, durante a construção de um edifício comercial, na Região Metropolitana de São Paulo.”, Universidade de São Paulo, 2012.
- [68] ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil, “Brita”. [Online]. Disponible en: <http://anepac.org.br/wp/agregados/brita/>. [Consultado: 04-jan-2014].
- [69] C. M. B. D. B. FALCÃO, D. M. O. M. D. SOUZA, J. Z. FERREIRA, M. R. MATAR, e R. R. D. SOUZA, “Análise da qualidade do investimento e emissões de CO2 associadas à produção de agregados reciclados na região metropolitana de São Paulo.”, Universidade de São Paulo, 2013.
- [70] M. H. C. Marcos, “Análise da emissão de CO2 na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM.”, Universidade Federal do Paraná, 2009.
- [71] S. F. Tavares, “Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.”, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- [72] Holcim Brasil, “Relatório de sustentabilidade 2011.”, Holcim Brasil, São Paulo, 2011.
- [73] S. L. M. de Almeida e A. B. da Luz, “Manual de agregados para construção civil.” CETEM - Centro de Tecnologia Mineral; MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, 2009.
- [74] MCT - Ministério de Ciencia e Tecnologia e IABr - Instituto Aço Brasil, “Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Relatórios de referência. Emissões de gases de efeito estufas nos processos industriais. - produção de metais - ferro e aço.”, MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2010.
- [75] MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, “Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação.”, MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Brasília, jun. 2013.
- [76] L. F. Quaresma, “Produto 32. Cadeia do Aço. Perfil do Aço.”, MME - Ministério de Minas e Energia; Banco Mundial; J. Mendo Consultoria, 58, ago. 2009.
- [77] M. R. Cândido, “Aplicação da transformada Wavelet na análise da qualidade de energia em fornos elétricos a arco.”, Universidade de São Paulo, 2008.



- [78] MCT - Ministério de Ciencia e Tecnologia, “Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal - Parte II da Segunda Comunicação Nacional do Brasil”, MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, Parte II, 2010.
- [79] B. V. da Silva, “Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações”, Universidade de São Paulo, 2013.
- [80] Centro Federal de Educação Técnica do Paraná, “Apostila de tecnologia do concreto.” 2004.
- [81] V. Agopyan, U. E. L. de Souza, J. C. Paliari, e A. C. de Andrade, “Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra”, in *Coletânea Habitar*, vol. 2, Porto Alegre: Carlos Torres Formoso, Akemi Ino, 2003, p. 480.
- [82] Site engenharia, “Concreto. Tabela concreto.” [Online]. Disponível em: <http://www.sitengenharia.com.br/tabelaconcreto.htm>. [Consultado: 05-dez-2013].
- [83] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, “ABNT NBR 13281:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.” 2005.
- [84] Cimento e Areia-Consultas e Dicas sobre Arquitetura e Construção, “Traços recomendados para argamassas.”, fev-2002. [Online]. Disponível em: <http://www.cimentoeareia.com.br/tracos.htm>. [Consultado: 10-dez-2013].
- [85] Faz fácil., “Argamassas - tabelas de aplicação.” [Online]. Disponível em: <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/argamassas-tabelas-aplicacao/>. [Consultado: 10-out-2013].
- [86] J. S. Medeiros, V. P. Dornelles, e L. S. Franco, “Blocos de concreto para alvenaria estrutural:avaliação dos parâmetros de produção.”, apresentado em 5th International Seminar on Structural Masonry for Developing countries, Florianópolis, 1994, p. 462–470.
- [87] L. Trajano, “Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos derivados do cimento para habitações de interesse social.”, Universidade de Pernambuco, 2010.
- [88] R. M. Sposto, D. Ó. W. Sávio, e V. Barros, “Management and technology for quality and sustainability of masonry components in Brasilia’s market.”, in *Construction in Developing Economies: New Issues and Challenges*, Santiago, 2006.
- [89] L. S. Oliveira, “Análise do Ciclo de Vida de Blocos de Concreto.”, Universidade de São Paulo, 2014\_not published.
- [90] V. de S. Sandes, “Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto em fábricas de Feira de Santana.”, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2008.
- [91] J. G. G. de Sousa, “Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.”, Universidade de Brasília, 2001.
- [92] Sebrae - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, “Ideias de negócios para 2014. Construção civil. Produção de blocos de concreto e similares.” Sebrae, 2012.
- [93] J. M. Coelho, “Produto 32. Perfil de argilas para Cerâmica Vermelha. Perfil da argila.”, MME - Ministério de Minas e Energia; Banco Mundial; J. Mendo Consultoria, 32, set. 2009.
- [94] G. de C. Grigoletti e M. A. Sattler, “Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul”, *Ambiente Construído*, vol. 3, nº 3, p. 19–32, abr. 2008.
- [95] MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, “Termo de Referência: Subsídios para a Elaboração do Plano de Desenvolvimento Sustentável da Indústria de Cerâmica Vermelha.” 2011.
- [96] M. David, “Revista da ANICER - Associação Nacional da Indústria Cerâmica”, nº 51.
- [97] Sebrae, “MPes formam maioria das fabricantes de cerâmica vermelha”, 2008. [Online]. Disponível em: [http://www.sebrae.com.br/setor/ceramica-vermelha/o-setor/mercado/723-4-mpes-formam-maioria-fabricantes-ceramica-vermelha/BIA\\_7234](http://www.sebrae.com.br/setor/ceramica-vermelha/o-setor/mercado/723-4-mpes-formam-maioria-fabricantes-ceramica-vermelha/BIA_7234). [Consultado: 09-ago-2013].
- [98] Sebrae, “Cerâmica Vermelha. Estudos de Mercado ESPM. Relatório Completo.” 2008.
- [99] MDIC, “Subsídios para a elaboração do plano de desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva da indústria de cerâmica vermelha”. 2011.
- [100] R. Bianco, “Estudo e cálculo das emissões de CO2 de elementos cerâmicos empregados na construção civil brasileira.”, Universidade de São Paulo, São Paulo, abr. 2012.
- [101] G. de C. Grigoletti, “Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul.”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

- [102] É. F. de Campos, “Emissão de CO<sub>2</sub> da madeira serrada da Amazônia: o caso da exploração convencional.”, São Paulo, 2012.
- [103] FGV, “Programa Brasileiro GHG Protocol. Ferramenta de Cálculo.”, 2010. [Online]. Disponível em: <http://www.fgv.br/ces/ghg/>. [Consultado: 31-out-2011].
- [104] Selecta blocos, “Alvenaria estrutural - produtos.” [Online]. Disponível em: [http://www.selectablocos.com.br/ae\\_produtos\\_02\\_01.html](http://www.selectablocos.com.br/ae_produtos_02_01.html). [Consultado: 16-dez-2013].
- [105] Cerâmica São Pedro, “Produtos - bloco estrutural.” [Online]. Disponível em: [http://www.ceramicasaopedro.com.br/ver\\_produtos.php?id=54](http://www.ceramicasaopedro.com.br/ver_produtos.php?id=54). [Consultado: 16-dez-2013].
- [106] Cerâmica Formigari, “Todos os Produtos.” [Online]. Disponível em: <http://www.ceramicaformigari.com.br/produtos.asp>. [Consultado: 16-dez-2013].
- [107] T. Stachera Jr., “Avaliação de emissões de CO<sub>2</sub> na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná.”, in *A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável*, Rio de Janeiro, 2008, p. 13.
- [108] A. N. Yuba, A. P. da S. Milani, e L. Pieretti, “Comparação entre processos de produção de blocos de solo-cimento e cerâmico através da análise do ciclo de vida.”, apresentado em V Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Recife, 2009, p. 9.
- [109] Impormader, “Catálogo de madeira africanas- Elondo (Bolondo)”. [Online]. Disponível em: <http://www.impormader.es/elondo.htm>. [Consultado: 14-jan-2014].
- [110] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, “NBR 15.575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho”. ABNT, 2013.
- [111] G. C. Foliente, R. H. Leicester, C. Wang, C. Mackenzie, e I. Cole, “Durability design for wood construction.”, *Forest Products Journal*, vol. 52, n° 1, jan. 2002.
- [112] V. M. John e N. M. N. Sato, “Durabilidade de componentes da construção.”, in *Coletânea Habitar*, vol. 7, Porto Alegre: Miguel Aloysio Sattler e Fernando Oscar Ruttikay Pereira, 2006, p. 296.
- [113] Caixa Economica Federal, “Minha Casa Minha Vida”. [Online]. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/habitacao/mcmv/>. [Consultado: 03-mar-2014].
- [114] A. H. Buchanan e S. B. Levine, “Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions”, *Environmental Science & Policy*, vol. 2, n° 6, p. 427–437, dez. 1999.
- [115] Roger Sathre e Jennifer O’Connor, “Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution”, *Environmental Science & Policy*, vol. 13, n° 2, p. 104–114, abr. 2010.
- [116] J. Cha, Y. Yeo-Chang, e J.-H. Lee, “Life Cycle Carbon Dioxide Emission and Stock of Domestic Wood Resources using Material Flow Analysis and Life Cycle Assessment”, in *Towards Life Cycle Sustainability Management*, M. Finkbeiner, Org. Springer Netherlands, 2011, p. 451–458.
- [117] F. A. Ximenes e T. Grant, “Quantifying the greenhouse benefits of the use of wood products in two popular house designs in Sydney, Australia”, *Int J Life Cycle Assess*, vol. 18, n° 4, p. 891–908, maio 2013.
- [118] Tessa Goverse, Marko P. Hekkert, Peter Groenewegen, Ernst Worrell, e Ruud E. H. M. Smits, “Wood term innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints”, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 34, n° 1, p. 53–74, dez. 2001.
- [119] L. O. Eriksson, L. Gustavsson, R. Hänninen, M. Kallio, H. Lyhykäinen, K. Pingoud, J. Pohjola, R. Sathre, B. Solberg, J. Svanaes, e L. Valsta, “Climate change mitigation through increased wood use in the European construction sector-towards an integrated modelling framework”, *European Journal of Forest Research*, p. 1–14, 2011.
- [120] ABRAF, “Anuário estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012”, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, Brasília, 2013.
- [121] G. Hammond e C. Jones, “Inventory of Carbon and Energy (ICE). Version 1.6a”. Department of Mechanical Engineering - University of Bath, 2008.
- [122] G. Nayak e V. Kumar, “Jotun Paints - Product Life Cycle Assessment”. Dcarbon8 - Carbon & Sustainability Consultants, 2008.
- [123] ISO, “ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework”. 2006.
- [124] A. C. Andrade, U. E. L. Souza, J. C. Paliari, e V. Agopyan, “Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios.”, in *Comitê técnico 206*, São Paulo, 2001.

- [125] R. V. G. da Costa, “Taxa da produção de resíduos na construção civil em edificações na cidade de João Pessoa.”, Universidade Federal da Paraíba, 2012.
- [126] J. H. P. Monteiro, C. E. M. Figueiredo, A. F. Magalhães, M. A. F. de Melo, J. C. X. de Brito, T. P. F. de Almeida, e G. L. Mansur, “Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos”. IBAM, 2001.
- [127] V. M. John e V. Agopyan, “Reciclagem de resíduos da construção”. Seminario - Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares, 2000.
- [128] C. T. Formoso, C. M. de Cesare, e E. M. V. Lantelme, “As perdas na construção civil. Conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor.”, *Egatea: Revista da Escola de Engenharia*, vol. 25, nº 3, p. 45–53, 1997.
- [129] BIS - Department for business innovation & Skills, “Estimating the amount of CO2 emissions that the construction industry can influence. Supporting material for the Low Carbon Construction IGT Report.” 2010.
- [130] R. S. Florensa e H. C. Roura, *Arquitectura y Energía Natural*. Barcelona: UPC, 1995.
- [131] R. Lamberts, L. Dutra, e F. O. R. Pereira, *Eficiência Energética na Arquitetura*. PW, 1997.
- [132] Notícias Caixa, “Minha Casa Minha Vida entrega 280 casas sustentáveis em Pelotas.” [Online]. Disponível em: [http://www1.caixa.gov.br/imprensa/noticias/asp/popup\\_box.asp?codigo=7012862](http://www1.caixa.gov.br/imprensa/noticias/asp/popup_box.asp?codigo=7012862). [Consultado: 29-ago-2013].
- [133] Ministério das Cidades, “Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos. DIRETRIZ SINAT Nº 005. Sistemas construtivos estruturados em peças de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo ‘Light Wood Framing’).” 2011.
- [134] E. L. Krüger e C. Laroca, “Thermal evaluation of a low-cost wooden house prototype using reforested wood”, *Rem: Revista Escola de Minas*, vol. 62, nº 4, p. 447–454, dez. 2009.
- [135] L. H. M. Vefago, “El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos.”, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2011.
- [136] T. Townsend, T. Tolaymat, H. Solo-Gabriele, B. Dubey, K. Stook, e L. Wadanambi, “Leaching of CCA-treated wood: implications for waste disposal”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 114, nº 1–3, p. 75–91, out. 2004.
- [137] O. of P. P. US EPA, “Consumer Safety Information Sheet - Inorganic Arsenical Pressure-Treated Wood”, 2012. [Online]. Disponível em: [http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/cca\\_consumer\\_safety.htm](http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/cca_consumer_safety.htm). [Consultado: 25-jun-2013].
- [138] L. Helsen e E. Van den Bulck, “Review of disposal technologies for chromated copper arsenate (CCA) treated wood waste, with detailed analyses of thermochemical conversion processes”, *Environmental Pollution*, vol. 134, nº 2, p. 301–314, mar. 2005.
- [139] A. Doodoo, L. Gustavsson, e R. Sathre, “Carbon implications of end-of-life management of building materials”, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 53, nº 5, p. 276–286, mar. 2009.
- [140] P. Börjesson e L. Gustavsson, “Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives”, *Energy Policy*, vol. 28, nº 9, p. 575–588, jul. 2000.

## 7 Conclusiones de la tesis

### 7.1 Conclusiones cerradas

El incremento del uso de la madera en la construcción de viviendas en Brasil puede aumentar o disminuir las emisiones de dióxido de carbono del sector en función de la fuente de recurso. La madera nativa tropical dura, proveniente de la selva amazónica, producida por extracción selectiva convencional, podría aumentar las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector habitacional brasileño por la construcción de nuevas viviendas. Esto es así porque se considera que es fuente de carbono. Su extracción de manera convencional, sin planificación, que precede a la apertura de zonas para ganadería y agricultura y destruye gran cantidad de biomasa que no se repone, resta parte del carbono almacenado en la foresta que se emite a la atmósfera por procesos de degradación o quema a lo largo del ciclo de vida de la madera. El bajo aprovechamiento en la conversión del tronco en producto final, también genera grandes cantidades de residuos (entre 0,7 y 3,4 toneladas de residuos por tonelada de producto en el aserradero, mediana de 1,9 t/t) que, a su vez, acaban por convertirse en fuente de emisión de carbono y otros gases de efecto invernadero.

Así, los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> de productos de madera nativa acaban estando cerca de tres órdenes de magnitud por encima de valores de referencia internacionales o de los productos brasileños de madera plantada. Una tonelada seca de madera nativa aserrada en la puerta del consumidor emite entre 5.135 y 44.394 kgCO<sub>2</sub> (mediana de 16.236 kgCO<sub>2</sub>/t). La producción de residuos en la extracción y procesamiento es responsable de entre el 97% y el 99% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por otro lado, la madera plantada podría considerarse una estrategia para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector de la construcción de viviendas en Brasil. Esta se considera carbono neutro, pues absorbe previamente el carbono que emitirá a lo largo de su ciclo de vida, sin variar el balance final de carbono en la atmósfera. Esto hace que no se contabilicen las emisiones provenientes de la quema o degradación de la madera, lo que resulta en emisiones de CO<sub>2</sub> con orden de magnitud equivalente a referencias internacionales. De esta forma, una tonelada seca de madera plantada aserrada en la puerta del consumidor emite entre 41 y 726 kgCO<sub>2</sub> (mediana de 155 kgCO<sub>2</sub>). La extracción es responsable del 39% de las emisiones y el transporte hasta el consumidor del 34%, debido al uso de combustibles.

Por otro lado, si la madera plantada se considerara fuente de carbono, los residuos serían responsables del 88% al 99% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que el incremento de la silvicultura puede ocupar zonas productivas (como para alimentos), cuestión que las políticas públicas deben considerar. Mejorar los índices de emisión de dióxido de carbono no depende solamente de la disminución de los residuos en el proceso, sino principalmente del sistema de producción de madera. Si la extracción de madera nativa permitiera la recuperación de la foresta, es decir, la no disminución de la reserva de carbono incorporado en la selva, esta también podría considerarse carbono neutro y sus resultados de emisión de CO<sub>2</sub> podrían bajar hasta cien veces.

Aun así es necesario entender que hay otro tipo de problemas en el suministro de madera nativa, como la ilegalidad, la burocracia, la fiscalización deficiente, los problemas en la logística, la oferta de productos de bajo valor añadido y la calidad variante, el aprovechamiento de pocas especies y las dificultades de identificación, la baja tecnología empleada en el proceso de manufactura, entre otros, que deben tenerse en cuenta en los procesos de decisión y acción.

Considerando el escenario habitacional brasileño de referencia, basado en prácticas comunes de edificación y estimativa de construcción anual de unidades habitacionales según datos de los últimos cuarenta años, si toda casa de madera pasara a construirse exclusivamente con madera plantada en detrimento de la madera nativa, las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> del sector habitacional por la construcción de nuevas viviendas bajarían entre el 10% y el 20%. Por otra parte, si la actual producción anual de viviendas de madera doblara con relación a lo que se estima que se construye al año, las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector podrían aumentar entre el 11% y el 17%, si solo se usara madera nativa, o disminuir entre el 13% y el 22% si solo se utilizara madera plantada.

Dentro de los límites de este trabajo, y sin considerar los procesos de mantenimiento, una casa de madera plantada construida con las técnicas convencionales podría tener una vida útil hasta dos veces menor que una casa de albañilería sin que sus emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los materiales fueran mayores que las de la técnica comparada (albañilería). Así, la construcción con madera plantada podría considerarse una herramienta para la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector habitacional. Por otra parte, la madera nativa, bajo las condiciones actuales de producción y empleo, no.

Con relación a la energía incorporada, una tonelada seca de madera nativa aserrada en la puerta del consumidor tiene entre 948 y 5.357 MJ (mediana de 2.474 MJ/t). El procesamiento es responsable del 43% de la energía incorporada y las largas distancias entre el lugar de

producción y de consumo hacen con que el transporte hasta el consumidor incorpore cerca del 39% de la energía. La madera plantada aserrada tiene entre 945 y 15.451 MJ por tonelada seca en la puerta del consumidor (mediana de 9.062 MJ/t). El procesamiento es responsable del 82% de la energía incorporada, debido principalmente al uso de secado en estufa.

Aunque los resultados de energía incorporada entre los dos tipos de madera sean diferentes, cambiar madera nativa por madera plantada en la construcción de viviendas tendrá poca influencia sobre los resultados finales del sector de la vivienda. Debido a la existencia de paredes de albañilería en las casas de madera (en las zonas húmedas) y la baja cantidad estimada de casas de madera construidas anualmente, un cambio expresivo en la energía incorporada en el sector habitacional dependería más de modificaciones relacionadas al proceso productivo de los materiales componentes de la albañilería.

Aunque se considere que la ampliación del uso de la madera plantada para la construcción de viviendas sea una estrategia que pudiera implementarse para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>, esta encontrará algunas barreras, entre ellas, la aceptación del público. En los últimos cuarenta años, gran parte de las viviendas en Brasil fueron construidas en albañilería. El porcentaje de viviendas de madera en el parque de viviendas disminuyó, del 20,2%, en 1970, al 6,8%, en 2011, en todas las franjas económicas. Aunque en números unitarios la cantidad de casas de madera no cambió mucho durante dicho periodo (~4,1 millones), esta variación porcentual evidencia la preferencia de la población. La opinión general sobre la seguridad, la durabilidad y el mantenimiento de las casas de madera puede haber influido en los cambios del escenario habitacional.

Según el estudio de mercado llevado a cabo en esta investigación, los materiales no influyen tanto en la decisión a favor de una vivienda como las características relacionadas con ellos. El hormigón, en gran medida se asocia a la idea de seguridad, el ladrillo, a la de seguridad, precio y tradición, y la madera, a la estética. Las cualidades relacionadas a la madera no están entre las mayores preocupaciones de los consumidores cuando valoran la adquisición de un inmueble. Por ello, hay opiniones declaradas que sugieren la aceptación de la madera para construcción de viviendas, pero que acaban siendo diferentes de la decisión que efectivamente se produce, que muestra la elección de la albañilería en una situación real. Seguridad, precio y durabilidad se identificaron como las principales preocupaciones a la hora de comprar una vivienda, mientras que la sostenibilidad de los materiales ocupa el último lugar de importancia.

La variación del precio de los materiales también puede haber influido en la disminución del porcentaje de viviendas de madera. En los últimos doce años, el coste de la

madera nativa aserrada aplanada subió de forma constante, mientras que de los materiales que componen la albañilería (como cemento o bloque de hormigón) bajaron o se mantuvieron constantes (ladrillos cerámicos). Además, se encontró una fuerte correlación entre el aumento del PIB (Producto Interior Bruto) y la disminución del parque de casas de madera, que puede sugerir, en parte, que poseer una vivienda de madera en Brasil se relaciona con el poder adquisitivo de las personas.

De modo general, se identificó que el público tiene escasos conocimientos sobre la madera y que cuanto mayor es el grado de información o mejor es la experiencia previa con el material, mayor es la probabilidad de aceptación del material. También se apreció una falta de conocimiento del medio técnico, donde la formación se centra en la construcción con hormigón, lo que produce una escasez de profesionales especializados en proyecto y construcción de madera.

Hay dificultades para financiar y asegurar las viviendas de madera, existen limitaciones o prohibiciones en las legislaciones municipales y reglamentos de las urbanizaciones, falta de innovación tecnológica para la edificación con madera, burocracia para la implementación de tecnologías innovadoras impuestas por el gobierno mediante instrumentos de financiación y política pública para vivienda social, que son otros factores que limitan el crecimiento del mercado de viviendas de madera en Brasil.

De modo general, la ampliación del uso de la madera depende de desarrollo tecnológico, formación de personal cualificado, mejora del desempeño y la seguridad, reducción de costes, incentivo financiero mediante políticas públicas y asociación público-privada. De modo específico, la cadena productiva de madera plantada, aunque organizada, depende, entre otras cosas, de mejoras en las infraestructuras para la distribución de la producción, desburocratización e incentivos fiscales.

Por último, el éxito de una medida depende de la óptima gestión entre factores multidisciplinares que influyen en el sector estudiado. Las políticas públicas deben buscar una visión holística del problema, sin perder las referencias de los condicionantes regionales. En un país heterogéneo como Brasil, una respuesta puede no ser válida en todas las situaciones, por lo que es necesario entender la problemática general para actuar en el ámbito local.

## **7.2 Conclusiones abiertas**

Las conclusiones de la tesis tienen unas limitaciones relacionadas al alcance y al enfoque definidos en esta primera aproximación al tema. Expandir el límite del estudio,

incorporar otros parámetros de análisis, así como cambiar la orientación de los puntos de interés principales traen nuevas informaciones que deben colaborar en resultados progresivamente profundizados y holísticos del tema. Con este objetivo podrían incorporarse algunas cuestiones a investigaciones futuras para mejorar las limitaciones detectadas, a saber:

**Impactos indirectos de los combustibles**, es decir, la energía incorporada y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la producción y el transporte de los combustibles y de su quema directa. Hasta el desarrollo de esta tesis, estos datos oficiales para los combustibles brasileños no estaban disponibles al público. Se cree que así como se producen considerables diferencias en los resultados al considerarse los impactos indirectos de la extracción de la madera nativa, incorporar también las fases anteriores al uso de los combustibles puede producir diferencias en los resultados de los productos analizados. Además, con estos datos se podría valorar con más precisión las interferencias de cambiar la fuente energética en los procesos productivos con el fin de aumentar su desempeño.

El **destino de los residuos** también podría analizarse de forma más amplia. En este estudio se observó el fin que se da a los restos de madera y se estimó las emisiones de CO<sub>2</sub> de su degradación o quema. No se evaluaron las consecuencias del uso de los residuos de madera como fuente alternativa de combustibles fósiles en los procesos de producción de otros materiales de construcción, por ejemplo. Su empleo, en el caso de la madera plantada, podría generar una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que, en un análisis más amplio, podría contar a favor de la adopción de este material. Tampoco se estudió el reciclaje o reutilización de los materiales de construcción al final de su vida útil. Según los procesos empleados en esta fase y los materiales que se pretenden sustituir, las ventajas del empleo de un material u otro pueden variar.

Los impactos por el tratamiento, uso y destino final de la madera conservada químicamente podrían tratarse más profundamente considerando los condicionantes técnicos y legislativos nacionales. En Brasil, no hay una regulación específica para rechazar este material, lo que puede producir consecuencias negativas. También podrían considerarse las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada en la fabricación, transporte y aplicación de los productos para conservación de la madera.

Las consecuencias del uso de productos químicos, pinturas y barnices, entre otros, y los procesos empleados para aumentar la vida útil de los materiales es otro contenido que se podrá analizar en futuros estudios. El **mantenimiento y la vida útil** de los materiales de construcción influyen en los resultados de energía y emisiones de gases de efecto invernadero cuando se



considera un periodo de tiempo. Cuanto mayor sea la durabilidad y menor la necesidad de mantenimiento, mejores serán los resultados globales. En este estudio, se investigó la vida útil de los materiales en diferentes escenarios, pero debido a las limitaciones existentes, no fue posible evaluar los impactos de los procesos de mantenimiento de las edificaciones.

Además del mantenimiento, el estudio podría ampliar su alcance incorporando las **fases de construcción, demolición y uso**. La técnica constructiva, tanto en la fase de *construcción* como en la de *demolición*, acaba definiendo la productividad y el grado de aprovechamiento de los materiales. Cuanto mayor es el desperdicio, entendiendo este como el consumo de recurso sin desempeño y la producción de residuos sin posterior aprovechamiento, peores son las consecuencias ambientales.

El **desempeño** durante el *uso* del edificio influye en el consumo de recursos, principalmente energéticos, que a lo largo de los años pueden cambiar los escenarios de ventajas encontrados antes de su utilización. Un mayor uso de materiales, por ejemplo, al principio puede parecer una desventaja cuando se calculan las emisiones de CO<sub>2</sub> y energía incorporada, pero, si a lo largo de la vida útil del edificio, facilita el menor consumo de energía, el saldo final puede resultar positivo. Tanto el desempeño en la producción del edificio y a lo largo de su uso como los procesos producidos al final de su vida útil pueden generar ganancias o pérdidas ambientales que deben contabilizarse.

Aún en la esfera de los impactos ambientales, podrían considerarse las emisiones de **otros gases de efecto invernadero**. Podría cuantificarse la producción de metano en la descomposición de la madera para conocer sus efectos en el cálculo final de gases de efecto invernadero. Debido a la complejidad, en esta primera aproximación al tema no fue posible evaluarse este aspecto, sin embargo se cree que debería abordarse siguiendo una delimitación de posibles escenarios de degradación según las condiciones naturales locales.

El **carbono bajo tierra** también podría incluirse en los análisis, pues es otro elemento que puede influir en los resultados de las emisiones. Verificar las consecuencias en el flujo de carbono en el suelo según el sistema productivo (extracción de madera nativa o plantación de madera exótica) a lo largo de un periodo de tiempo puede ayudar a conocer mejores prácticas que deban implementarse.

En el futuro, deberá estudiarse la **extracción de impacto reducido (manejo)**, que busca una producción más sostenible. Los resultados finales cambiarían considerablemente, influyendo de otra manera en las políticas públicas si se detectara un sistema de extracción de madera nativa donde todo el carbono almacenado retirado de la foresta en el proceso de extracción fuera

totalmente recompuesto, haciendo que el concepto de carbono neutro pudiera emplearse en la madera nativa. Este análisis no debería considerar un periodo de tiempo extensivo al punto de descalificar las tecnologías encontradas o propuestas.

En esta investigación, el foco se puso sobre la extracción selectiva convencional debido a los condicionantes existentes en el mercado. Comparar los resultados de energía y emisiones de estos sistemas productivos sería un paso posterior, antes de conclusiones finales sobre el uso de madera nativa. En la actualidad, una tesis de doctorado de la Escola Politécnica de la Universidade de São Paulo ha investigado la extracción manejada de madera nativa, con una metodología semejante a la de esta investigación.

El **cambio del uso del suelo**, en el que la extracción convencional de madera nativa muchas veces precede a la apertura de zonas para la ganadería y el monocultivo, tan solo se ha comentado en esta investigación. No fue posible vislumbrar las consecuencias de la ampliación de zonas para la silvicultura. En una investigación futura, de ámbito más general, se podría discutir la presión que ejercen en la foresta tropical el aumento y el incremento de zonas para silvicultura, u otras actividades, tal como se han relatado casos en la región Amazónica. También se podría razonar sobre la **biodiversidad** de la fauna y flora.

Por último, para realizar el análisis más holístico relacionado con el tema sería necesario comprobar los **impactos sociales y económicos** del aumento del uso de un material (en este caso la madera plantada) o el incentivo de una técnica constructiva, a saber, la producción de riqueza y el desarrollo local, la generación de empleos y la calidad de los puestos de trabajo y el diálogo con las comunidades locales, entre otros.

### 7.3 Perspectivas de evolución del estudio

En este apartado se señalan los puntos más relevantes que deberían tratarse en futuros estudios:

- Incorporación de las emisiones indirectas de los combustibles y otros gases de efecto invernadero.
- Estudio de la extracción de impacto reducido (manejo) u otro sistema de producción sostenible.
- Estudio del impacto del tiempo de análisis, enfocando los ciclos de producción de madera plantada o extracción madera nativa manejada.
- Estudio del flujo de carbono bajo tierra por la plantación de madera exótica y extracción de madera nativa y sus interferencias en las emisiones netas de carbono.

- 
- Ampliación del alcance del estudio mediante la inclusión de las fases de construcción, uso, mantenimiento del edificio y descarte final de los materiales.
  - Estudio de los impactos generados por la durabilidad y vida útil de los materiales.
  - Estudio de las consecuencias de cambios de desempeño de técnicas constructivas y los materiales empleados.
  - Estudio de las consecuencias globales por el cambio de uso del suelo.
  - Estudio de las consecuencias sociales y económicas de la exploración y producción de la madera.

## Divulgación de esta investigación

Algunos resultados de esta tesis, o parte de ella, se divulgaron mediante las publicaciones o presentaciones que se señalan a continuación:

### Artículos publicados

- Punhagui, K. R. G.; Campos, Érica; González-Barroso, José M.; John, Vanderley. **M. Prospects for the Use of Wood in Residential Construction in Brazil - First Results.** *Key Engineering Materials* (Online), v. 517, p. 247-260, 2012. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.517.247
- Campos, Érica; Punhagui, K. R. G.; John, Vanderley M. **Emissão de CO<sub>2</sub> do transporte da madeira nativa da Amazônia.** *Revista Ambiente Construído* (Online), v. 11, p. 157-172, 2011. ISSN 1678-8621. DOI S10.1590/S1678-86212011000200011

### Congresos y eventos

- Punhagui, Katia R. G.; John, Vanderley M.; González-Barroso, José M. ***Simplified LCA of Brazilian lumber: planted vs. non-managed native lumber*** (póster). 4th *International Holcim Forum for Sustainable Construction*. Mumbai (India), 2013.
- Punhagui, K. R. G.; González Barroso, Jose M.; Campos, Érica; John, Vanderley M. ***É possível diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> da construção pelo uso madeira?*** (vídeo póster) VII *Encontro Nacional e V Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis*. Curitiba. 2013
- Punhagui, Katia R. G.; John, Vanderley M.; González-Barroso, José M. ***Análise da construção de habitação em madeira no Brasil sob aspectos da sustentabilidade.*** (presentación) *1º. Simpósio de Pesquisa em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo*. 2012.
- Campos, Érica; Punhagui, K. R. G.; Pacca, Sérgio; John, Vanderley M. ***A influência do transporte no balanço de carbono da madeira de construção civil.*** *Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Anais do IV Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*. Editores Cristina Engel de Alvarez [et al.]. Vitória: ANTAC, 2011. 200 p.

## 7 Thesis Conclusions

### 7.1 Closed conclusions

Increasing the use of wood in building houses in Brazil may either increase or decrease the carbon dioxide emissions of the sector according to the resource. The native tropical hardwood, from the Amazonian rainforest, produced by conventional selective logging, could increase the CO<sub>2</sub> emissions of the Brazilian housing sector by building new houses. That is because it is considered to be a carbon source. Its conventional logging, without planning, that precedes the opening of areas for agriculture and livestock damaging large quantity of biomass which is not replaced, subtracted part of the carbon stock of forest that is emitted to the atmosphere either by degradation or burning processes along the lifecycle of wood. The low performance level on the process of log conversion into final product also generates large quantities of residues (from 0.7 to 3.4 tonnes of residues per tonne of product at the sawmill, median 1.9 t/t) that, by its turn, eventually become a source of carbon and other greenhouse gases emission.

Therefore, the results of CO<sub>2</sub> emissions from native wood products end up being about three orders of magnitude above international benchmarks or Brazilian lumber products of planted wood. A dry tonne of native wood lumber at consumer gate emits between 5,135 and 44,394 kgCO<sub>2</sub> (median 16,236 kgCO<sub>2</sub>/t). The residues produced in the logging and processing stages are responsible for between 97% and 99% of CO<sub>2</sub> emissions.

Moreover, the planted wood might be considered a strategy to reduce CO<sub>2</sub> emissions in the housing building sector in Brazil. It is considered carbon neutral once that absorbs previously the carbon that will be emitted throughout its lifecycle without changing the final carbon balance in the atmosphere. Such fact means that emissions from burning wood or degradation are not accounted, resulting in CO<sub>2</sub> emissions by magnitude equivalent to international references. Indeed, a dry tonne of planted wood lumber at consumer gate emits between 41 and 726 kgCO<sub>2</sub> (median 155 kgCO<sub>2</sub>). Logging is responsible for 39% of emissions and transport to the consumer of 34% due to the use of fuels.

Furthermore, if the planted wood is considered to be a carbon source, the residues would be responsible for 88% to 99% of CO<sub>2</sub> emissions. Nevertheless, it is quite important to note that the increase in forestry can occupy productive areas (such as the ones used for food), a fact that the public policy must consider. To improve rates of carbon dioxide emission depends

not only on the reduction of residue in the process but also mainly on the timber production system. If the native wood logging allows the forest recovery, it means, the non-declining of carbon stocked into the forest, It could also be considered carbon neutral and it would result in dropping the CO<sub>2</sub> emissions up to a hundred times.

However, it seems to be necessary to understand that there are other problems in the native wood supply, such as illegality, bureaucracy, poor oversight, logistics problems, offering products with low added value and varying quality, use of few species and identification difficulties, low technology used in the manufacturing process, among others, which must be considered in decision-making and action process.

Taking into account the Brazilian housing baseline, based on common building practices and the annual construction of housing units estimates according to data from the last forty years, if all wooden house happened to be built exclusively with planted wood instead of native wood, the annual CO<sub>2</sub> emissions in the housing sector for the construction of new houses would decrease between 10% and 20%. Besides, if the current annual production of wooden houses doubled in relation to what is expected to be built per year, CO<sub>2</sub> emissions in the sector could increase between 11% and 17%, if only native wood was used, or decrease between 13% and 22% if only planted wood was used.

Within the boundary of this research, and without considering maintenance processes, a house made of planted wood built with conventional techniques could have a useful life up to two times smaller than a masonry house without CO<sub>2</sub> emissions from materials were higher than those of comparative technique (masonry). Therefore, construction with planted wood could be considered a tool for reducing CO<sub>2</sub> emissions in the housing sector. On the other hand, native wood, under present conditions of production and application, couldn't.

In relation to embodied energy, a dry tonne of planted wood lumber at consumer gate has between 948 and 5,357 MJ (median 2,474 MJ/t). Processing is responsible for 43% of the embodied energy and long distances between processing place and consumption made that transport to consumer incorporate about 39% of energy. Planted wood lumber has between 945 and 15,451 MJ per dry tonne at consumer gate (median 9,062 MJ/t). Processing is responsible for 82% of the embodied energy, mainly due to the use of kiln.

Even though the results of embodied energy between the two kinds of wood are different, changing native by planted wood in housing building will have little influence on the final results on the housing sector. Due to the existence of masonry walls in wooden houses (in wet areas) and low estimates of wooden houses built annually, a significant change in the

embodied energy in housing sector depends more on changes related to the production process of the component materials of masonry.

Although it seems that the enlarged use of planted wood for housing construction is a strategy that could be implemented to mitigate CO<sub>2</sub> emissions, such fact will face some barriers, including public acceptance. In the last forty years, many of the houses built in Brazil were made on the basis of masonry. The percentage of wooden houses in the housing stock decreased from 20.2% in 1970 to 6.8% in 2011 in all economic stripes. Even though in unit numbers wooden houses did not change much during this period (~4.1 million), the percentage change demonstrates the preference of the population. The general opinion about safety, durability and maintenance of wooden houses may have influenced changes in the housing scenario.

According to a market research conducted in this work, materials do not influence the decision in favor of a house as the characteristics associated with them. Concrete is largely associated with security idea, brick is associated to security, price and tradition, and wood, by its turn, to aesthetics. The qualities related to the wood are not among the biggest concerns of consumers when assessing the acquisition of a property. Thus, there are declared opinions that widely suggest acceptance of wood for building houses, but end up being different from the decision that really occurs, demonstrating the choice of masonry in a real situation. Security, price and durability were identified as major concerns when buying a house, while the sustainability of materials ranks last in importance.

The variation in the materials price may also have influenced the decline in the percentage of wooden houses. In the past twelve years, the cost of the planned native wood lumber steadily increased, while the materials that make up masonry (such as cement or concrete block) decreased or remained constant (bricks). Furthermore, a strong correlation between the increase of GDP (Gross Domestic Product) and the decrease of wooden housing stock, may suggest, in part, that owning a wooden house in Brazil is related to the purchasing power of people.

Generally, it was found that the public does not have knowledge enough about wood and the greater the information degree or the better the previous experience with the material, the greater the probability of acceptance of the material. It was also noted a lack of knowledge of the construction professionals, whose formation is focused on concrete building, resulting in a shortage of professionals in design and construction of wood.

There are difficulties in securing and financing wooden houses, there are also limitations or prohibitions on municipal laws and condominium regulations, lack of

technological innovation for wood buildings, bureaucracy to implement innovative technologies imposed by the government through funding instruments and public policy for social housing, which are other factors that limit the growth of the wood housing market in Brazil.

In general, the enlarged wood use depends on technological development, training of an expertise staff, improving performance and safety, low costs, financial incentive through public policies and public-private partnership. Specifically, the planted wood production chain, however is organized, depends, among other facts, on improvements in infrastructure for the production distribution, reducing bureaucracy and tax incentives.

In summary, the success of a plan depends on the great management between multidisciplinary factors influencing the studied sector. Public policy should search a holistic view of the issue, without losing the references of regional conditions. In such a heterogeneous country like Brazil, an answer may not be valid in all situations, so it seems to be necessary to understand the general problem in order to act locally.

## 7.2 Open conclusions

The thesis conclusions show some limitations related to the scope and approach defined in this first approach. Expanding the scope of the study, incorporating other parameters of analysis and changing the guideline of the main sights bring new information that must collaborate to results progressively deepened and holistic to the theme. With such goal, some questions could be incorporated for future research to improve the identified constraints, such as:

**Indirect impacts of fuels**, it refers to embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions from the production and transport of fuels and direct burning. Until this thesis development, these official figures for Brazilian fuels were not available to the public. It is believed that as well as substantial differences in results occur when considering the indirect impacts of native wood logging, incorporating also the previous stages to the use of fuels can produce differences in the results of the studied products. Besides, these data would more accurately assess the interference of changing the energy source in the production processes in order to increase performance.

The **residues destination** could also be analyzed more extensively. In this study it was observed the end given to residues of wood and it was estimated the CO<sub>2</sub> emissions from degradation or burning. The consequences of the use of wood residues as an alternative source of fossil fuels in the production processes of other building materials for example, were not assessed. Its use, in the case of planted wood, could generate a reduction of emissions of greenhouse gases, which, in a broader analysis, could count in favor of the adoption of this



material. Nor is the recycling or reuse of building materials at the end of their useful lives were investigated. According to the processes applied in this stage, and the materials that are intended to be replaced, the advantages of the use of one material or another can vary.

The impacts from the treatment, use and final disposal of chemically preserved wood could be more deeply treated considering the technical conditions and the national legislatives. In Brazil, there are no specific rules to reject this material, which may have negative consequences. It could also be considered the CO<sub>2</sub> emissions and the embodied energy in the manufacturing, transportation and application of products for wood preservation.

The consequences of the use of chemicals, paints and varnishes, among other, and the processes used to increase the useful life of materials is another content that shall be analyzed in future studies. **Maintenance and useful life** of building materials influence the results of energy and emissions of greenhouse gases when considering a period of time. The greater durability and less need for maintenance, the better the overall results. In this study, the lifetime of the materials was investigated under different scenarios, but due to limitations, it was not possible to evaluate the impact of maintenance processes of buildings.

Besides maintenance, the study could broaden its scope by incorporating the **phases of construction, demolition and use**. The *construction* technique, either in the construction phase or in *demolition*, defines productivity and the degree of materials yield. The greater the wasting, understanding this as resource consumption without performance and its residues production without further use, the worse the environmental consequences.

The **performance** in building *use* influences the consumption of resources, mainly energetic, which over the years may change scenarios of advantages set before its use. An increased use of materials, for instance, may seem a disadvantage in the beginning when CO<sub>2</sub> emissions and embodied energy are calculated, but if over the building useful life it provides lower energy consumption the final balance can be positive. Both the production performance of the building and along its use, as the processes that occur by the end of useful life, can generate environmental gains or losses that should be taken into account.

Even in the environmental impacts field, could be considered **emissions of other greenhouse gases**. It could be quantified methane production in the decomposition of wood in order to get to know their effects in the final evaluation of greenhouse gases. Due to such complexity, in this preliminary approach was not possible to evaluate this aspect, nevertheless it is believed that such aspect should be addressed following a delineation of possible scenarios of degradation according to natural local conditions.

The **underground carbon** could also be included in the analysis, since it is another element that can influence the results of emissions. Verifying the impact on the soil carbon flow according to the production system (native wood logging or planted wood forestry) over a period of time, could help getting knowledge of better practices to be implemented.

In the future, it shall be studied the **reduced impact logging (forest stewardship)**, which seeks a more sustainable production. Final results could considerably change, influencing on the other hand public policies, if a native wood logging system that recover all carbon stock removed from forest in logging process, were found, making carbon neutral concept also applicable for native wood. This analysis should not consider an enlarged period of time reaching the point of disqualifying known technologies or purposes.

In this research, the focus was on conventional selective logging due to the existing conditions upon the market. Comparing the results of energy and emissions of these production systems would be a later step, before final conclusions on the use of native wood. Currently, a PhD thesis at the *Escola Politécnica* of the *Universidade de São Paulo* has investigated the native wood reduced impact logging handled with a similar methodology of this research.

The **land use change**, in which the conventional logging of native wood often precedes the opening of areas for livestock and monoculture, was only mentioned in this research. It was not possible to foresee the consequences of the expansion of areas for forestry. In future research, with a more general scope, it may be discussed the pressure that is exerted on the rainforest due to increased areas for forestry, or other activities, as well as mentioned in some cases in the Amazon region. It shall also discuss the **biodiversity** of fauna and flora.

Finally, to make an holistic analysis on the topic it seems to be necessary to verify the **social and economic impacts** of the increased use of a material (in this case the planted wood) and the incentive of a construction technique, such as, the production of wealth and local development, creation of new jobs and better quality on workplace as well as a dialogue with local communities, among others.

### 7.3 Study evolution perspective

Hereby the most important aspects to be addressed in future studies are indicated:

- Incorporation of indirect fuel emissions and other greenhouse gases.
- Studying reduced impact logging (forest stewardship) or other sustainable production system.

- Studying the impact of the time analysis, focusing on planted wood cycle production or native wood reduced impact logging.
- Studying underground carbon flow resultant from exotic planted wood and native wood logging and its interference in net carbon emissions.
- Expanding the study boundary by including the phases of construction, use, maintenance and final disposal of the building materials.
- Studying the impacts generated by the durability and useful life of the materials.
- Studying the consequences of performance change of construction techniques and the materials used.
- Studying the global consequences by land use change.
- Studying the social and economic consequences of production and exploitation of wood.