

CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO EM MADEIRA PARA HABITAÇÃO

Luís Morgado^{1*}, Manuel Correia Guedes¹, João Gomes Ferreira¹, Helena Cruz²

1: DECivil-ICIST
Instituto Superior Técnico
Universidade Técnica de Lisboa
Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa
e-mail: luis.morgado@ist.utl.pt
e-mail: mcguedes@civil.ist.utl.pt
e-mail: joaof@civil.ist.utl.pt

2: Núcleo de Estruturas de Madeira
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa,
e-mail: helenacruz@lnec.pt

Palavras-chave: Madeira, Habitação, Sistemas, Classificação, Terminologia, Caracterização

Resumo. *Apresenta-se uma proposta de nomenclatura e classificação dos principais sistemas estruturais de madeira para habitação. A proposta justifica-se por não haver uma terminologia estabilizada para nomear cada sistema estrutural. Esta situação pode conduzir a erros de interpretação e comunicação. Constata-se que tanto a nível nacional como internacional, diferentes expressões podem designar o mesmo sistema, assim como a mesma expressão pode designar sistemas diferentes. As nomenclaturas variam em função dos contextos em que surgem, o que dificulta o reconhecimento dos sistemas quando se consultam manuais e textos da especialidade. Não é suficiente, por isso, um mero trabalho de tradução das designações dos sistemas, sendo importante esclarecer algumas ambiguidades encontradas. Efectuou-se uma consulta sistemática a manuais de construção em madeira e trabalhos académicos relevantes para o tema, reunindo-se as diferentes nomenclaturas e formas de classificação com os objectivos de identificar os sistemas referidos e auxiliar na execução da proposta apresentada. Na proposta estabeleceu-se uma primeira divisão dos sistemas estruturais de madeira em função da geometria dos elementos, em quatro grupos: 1) Sistemas de componentes lineares, 2) Sistemas de componentes planos, 3) Sistemas de componentes tridimensionais e 4) Sistemas mistos. Cada um destes grupos foi depois dividido em função do peso dos componentes (componentes leves e componentes pesados). Depois particularizaram-se os tipos genéricos de sistemas estruturais, em função das características dos componentes a colocar e montar em obra, identificando-se: 1.1.1) Reticulados leves; 1.2.1) Porticados; 1.2.2) Reticulados pesados; 2.1.1) Paredes leves; 2.1.2) Painéis leves; 2.2.1) Paredes pesadas; 2.2.2) Painéis pesados; 3.1.1) Módulos tridimensionais parciais; 3.2.1) Módulos tridimensionais completos; 4.1.1) Sistemas mistos leves; 4.1.2) Sistemas mistos pesados. Enumeraram-se depois os principais tipos estruturais específicos encontrados no mercado e na literatura. Para além de uma classificação com base nas características dos componentes incluíram-se duas alternativas organizadas do ponto de vista do grau de pré-fabricação e do ponto de vista das unidades de projecto envolvidas. Por fim, a proposta foi complementada com esquemas gráficos representando cada tipo específico através dos elementos essenciais da estrutura vertical, bem como uma caracterização básica dos tipos genéricos.*

1. INTRODUÇÃO

O objectivo deste artigo consiste em propor uma terminologia e uma classificação dos sistemas estruturais em madeira vocacionados para habitação. A terminologia e os respectivos significados são necessários para uma eficaz comunicação. A classificação facilita o conhecimento e avaliação dos vários sistemas através da redução das variáveis. A terminologia utilizada para designar cada sistema depende da língua e dos contextos, verificando-se com frequência a utilização de designações distintas para soluções semelhantes. Em Portugal não se consolidou ainda a terminologia a adoptar para cada sistema construtivo. Esta situação deve-se à reduzida importância da construção em madeira, o que pode ser verificado em textos onde se descrevem as soluções construtivas em Portugal. Em “Análise dos sistemas construtivos portugueses” [1] identificou-se a construção em madeira em Portugal com apenas um tipo de sistema (elementos articulados de madeira). Em “Habitar sob uma segunda pele” [2] referiram-se para o caso da madeira somente as “paredes maciças” (paredes de troncos) e as “paredes compostas” (gaiolas de grande secção e gaiolas leves). Em “Sistemas de construção – III” [3] consideraram-se relevantes apenas 3 tipos de sistemas de paredes em madeira (toros, pranchas e mistos porticados-reticulados leves).

A consulta efectuada em manuais sobre construção em madeira permite identificar três situações: 1) Divergência na terminologia utilizada; 2) Divergência nas classificações; 3) Omissão de alguns sistemas construtivos. A primeira situação deve-se a diferenças linguísticas, geográficas e culturais. A segunda situação resulta das diferentes perspectivas adoptadas pelos autores. A terceira situação resulta da grande diversidade de sistemas existentes, levando os autores a privilegiar aqueles que são os mais difundidos no respectivo contexto. Será por esse motivo que em manuais como “Casas de madeira” [4], ou “Manual - La construcción de viviendas en madera” [5], se omitem os painéis lamelados colados. É também natural a omissão de sistemas de difusão restrita como acontece com o “pole construction” ou o “post frame”, referidos apenas nos EUA (Estados Unidos da América) [6].

A ambiguidade das designações verifica-se por exemplo quando se comparam os significados divergentes da expressão “timber frame”. No manual “Systems in timber engineering” [7], “timber frame” é utilizada para designar a construção de “reticulados pesados tradicionais” (figura 1, 1.2.2.1.). Mas em “Components and systems” [8], a mesma expressão refere-se com alguma ambiguidade tanto a esse sistema como aos sistemas “reticulados leves” e “porticados” em geral (tabela 1). Já em “Timber construction manual” [9], “timber frame” designa simultaneamente os “reticulados leves tipo platform frame” (figura 1, 1.1.1.1.) e os “painéis leves reticulados” (figura 1, 2.1.2.1.). A discussão em redor deste tipo de ambiguidades pode ser observada na internet, em sítios de discussão de profissionais especializados na construção em madeira. Num recente tópico do sítio LinkedIn [10] ficou patente a divergência de terminologia adoptada por profissionais dos EUA e do RU (Reino Unido). No RU, “timber frame”, para além de um termo genérico para designar qualquer estrutura de madeira é uma expressão associada aos “reticulados leves tipo platform frame” e aos “painéis leves reticulados”. Nos EUA, “timber frame” seria uma expressão específica para designar um tipo de construção “porticada tradicional” (figura 1, 1.2.1.3.) em que as ligações entre componentes se fazem por entalhes e cavilhas.

2. METODOLOGIA

Este artigo tem por base a consulta de diversos manuais e trabalhos académicos. Numa primeira fase reuniu-se uma lista de terminologias e classificações que foram agrupadas numa tabela em função da caracterização realizada por cada autor. Dada a extensão dessa recolha, a referida tabela não é apresentada neste texto. A segunda fase consistiu em atribuir a cada sistema identificado uma designação em português e uma síntese desenhada, muito simplificada, acompanhada de uma também breve caracterização. Na terceira fase realizou-se a proposta de classificação e hierarquização em função de critérios de semelhança. Dada a diversidade de critérios disponíveis em função do interesse específico de cada abordagem (da produção, da construção e do projecto), foram produzidas duas alternativas à proposta principal.

3. LEVANTAMENTO

O levantamento efectuado permitiu detectar ambiguidades que se podem descrever através dos exemplos que se seguem. Os manuais mais abrangentes coincidem com a classificação *Masterformat* [11] distinguindo estruturas “*wood framing*” (reticulados), “*structural panels*” (painéis estruturais) e “*heavy timber*” (estruturas pesadas). Neste exemplo colocam-se ao mesmo nível, grupos que deveriam pertencer a níveis diferentes, ou seja, as estruturas reticuladas e as estruturas pesadas diferenciam-se pelo critério peso, mas os painéis estruturais são definidos com base numa característica dimensional. Em “*El futuro de la construcción com madera*” [12] distinguem-se: “*estructuras de esqueleto ou porticadas*”; “*sistemas de entramado ligero*”; “*sistemas espaciales*”; e “*sistemas superficiales*”. Neste caso a ambiguidade resulta de se colocarem no mesmo nível critérios referentes à geometria dos componentes (distinguindo sistemas espaciais de sistemas superficiais) e critérios mais detalhados que diferenciam as “*estructuras de esqueleto*” dos “*sistemas de entramado ligero*” que deveriam estar englobados no grupo dos “*sistemas lineares*”. Daí resulta outra situação típica que consiste em considerar os “reticulados leves” (tabela 1, 1.1.1.) e os “painéis leves reticulados” (tabela 1, 2.1.2.1.) no mesmo grupo (“*sistemas de entramado ligero*”), quando na verdade os primeiros são montados em obra e os segundos são pré-fabricados, merecendo por isso uma distinção de princípio. Outra tendência consiste em dar muito relevo a sistemas que não têm significado na construção nova, como é o caso dos “reticulados leves tipo *balloon frame*” e dos “reticulados pesados tradicionais”. Esta situação surge em diversos manuais como “*The construction of buildings*” [13], “*Building construction handbook*” [14], “*Architect’s data*” [15], ou “*Systems in timber engineering*” [7]. Noutros manuais, desagrega-se muito um determinado tipo de sistema, considerando as suas variantes de pormenor com o mesmo nível de importância dos restantes tipos. Este é o caso de “*Timber construction manual*” [9] onde se dá um relevo excessivo às variantes dos porticados pilar-viga.

Podem-se agrupar as diversas abordagens recolhidas nos seguintes 7 grupos: a) As classificações simples limitam-se a nomear sistemas específicos [7], ou reduzem os sistemas a dois tipos básicos [16], como por exemplo, mediante uma divisão primordial entre sistemas “*heavy timber*” e “*grid structures*”; b) O critério da geometria e forma da estrutura [17]. Este critério é levado ao limite nos casos em que se propõe a divisão em dois grupos: 1) “*beam-shaped*” (elementos lineares) e 2) “*panel-shaped*” (elementos planos) [18] ou “*mass structures*” (estruturas maciças) e “*frame structures*” (estruturas reticuladas) [19]; c) O critério do comportamento estrutural, evidencia o tipo de esforço característico. Em “*Diseño estructural en madera*” [20] é proposta uma classificação sistemática dos tipos estruturais em madeira aplicando critérios de classe em função dos esforços típicos (esforço normal; flexão pura, flexão simples, flexão composta). O autor reconhece, no entanto, que não existe suficiente univocidade na classificação obtida uma vez que existem sistemas compostos de outros sistemas do mesmo nível. d) O critério peso, apresenta as soluções estruturais segundo as duas variantes básicas” [21]: 1) “*wood light framing*” e 2) “*heavy timbers*” [22], ou “*heavy timber construction*” (construção pesada em madeira) e “*light timber frame*” (reticulados leves de madeira). Esta é a distinção feita por muitos outros textos [23] [24], [25], [26], [27]; e) O critério do processo, diferencia o grau de industrialização [28], subdividindo os tipos de paredes tipo “*timber frame construction*” em “*traditional timber frame*” e “*modern timber frame*”. Noutros casos [29] apresenta-se uma classificação que tipifica as estruturas com base em critérios diferenciados, mas com ênfase no processo, distinguindo assim “tecnologia tradicional” e “estruturas pré-fabricadas” (além de “estrutura leve” e “estrutura porticada”); f) O critério dimensão dos elementos, distingue dentro de um mesmo tipo de sistema a dimensão e conseqüentemente também o grau de pré-fabricação dos componentes. Encontram-se subdivisões do “*timber frame panel system*”, em função da dimensão dos painéis: “*micro-panel wall system*” e “*macro-panel wall system*” [30]; g) Por fim, o critério material, segundo o qual, depois de uma primeira classificação, por exemplo através do critério peso [22]: “*heavy timber frame*” e “*light timber frame*”, são distinguidas entre as estruturas formadas por secções de madeira maciça e as estruturas realizadas com recurso a “compostos de madeira”.

4. TERMINOLOGIA EM PORTUGUÊS

Analisando sete fontes seleccionadas em português confirmam-se as observações já efectuadas em relação à literatura internacional. Deve realçar-se que neste caso: a ambiguidade entre os “reticulados leves” e os “painéis leves reticulados” se mantém e se omitem alguns sistemas.

Na tese “Sistemas construtivos modernos em madeira” [31] recorre-se à seguinte classificação: 1) casas de troncos; 2) madeira pesada; 3) madeira leve; 4) pré-fabricados à base de módulos. A tese “Sistema construtivo de madeira em edifícios de baixa densidade em Portugal” [32] classifica os sistemas de construção de madeira para habitação em: 1) construção maciça; 2) pilar-viga; 3) Sistema aligeirado em plataforma (*light framing*). Na tese “Viabilidade técnico-económica de construções de madeira em Portugal” [33] consideram-se os seguintes sistemas construtivos em madeira: 1) painéis maciços de fachada; 2) painéis de madeira; 3) toros de madeira. Na tese “Construção em madeira - Exigências para a certificação energética” [34] apresentam-se: 1) prumos leves; 2) madeira maciça (toros); 3) madeira estrutural (Incluindo-se, tanto as soluções de elementos lineares como de painéis). Em “Sistemas de construção - III” [3] apresentam-se 3 tipos de sistemas de paredes: 1) toros quadrados; 2) pranchas maciças; 3) paredes com caixa-de-ar (com base no sistema porticado). Em “Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal” [35] distinguem-se: 1) toros de madeira; 2) aligeirados (incorporando ou não painéis leves); 3) painéis maciços; 4) porticados; 5) sistemas mistos de painéis e pilares. Finalmente, em “Projectar em madeira: Uma nova abordagem” [36] a classificação é a seguinte: 1) estruturas hierarquizadas (porticadas); 2) nervuradas; 3) painéis e 4) tridimensionais. A diversidade destas apresentações justifica a necessidade de encontrar uma proposta com designações genéricas que as permitam relacionar.

5. CLASSIFICAÇÃO

Na classificação proposta entendeu-se que os elementos que mais eficazmente caracterizam um sistema construtivo/estrutural são os verticais. Estes, uma vez escolhidos pelo projectista condicionam a compartimentação do espaço, o resultado estético e as restantes definições técnicas. Distinguiu-se entre estruturas de reticulados, porticadas, paredes e painéis. “Reticulados são planos formados por componentes lineares verticais e horizontais, com vazios entre si, montados em obra. “Porticados” são estruturas de pórticos formadas por componentes lineares pilar-viga, montados em obra. “Paredes” são planos contínuos, formados por componentes lineares ou blocos, montados em obra. “Painéis” são planos contínuos, formado por componentes pré-fabricados, prontos a instalar em obra. Para efeitos de hierarquização distinguiu-se entre componentes lineares, planos e tridimensionais [37]. Esta classificação surge em “*Components and systems*” [8], sob as seguintes expressões: “*timber frame systems*”, “*timber panel building methods*” e “*room module systems*”. Adicionalmente considerou-se o critério peso pela sua importância do ponto de vista do transporte, da produção e do processo de construção [37], permitindo depois um segundo grau de diferenciação. Consideraram-se estruturas leves aquelas que são constituídas por componentes de reduzida secção integrando vazios ou materiais de isolamento, em oposição às estruturas pesadas em que os componentes têm uma secção maior ou não integram vazios. Finalmente, as distinções relativamente ao processo permitem estabelecer hierarquias de pré-fabricação [36] [38].

5.1. Classificação e terminologia proposta

Avançou-se para uma proposta de classificação (tabela 1.) com base na geometria e peso relativo dos componentes estabelecendo quatro divisões. A primeira consiste em identificar as características formais dos elementos do sistema estrutural (lineares, planos, tridimensionais ou mistos). A segunda distingue sistemas leves e pesados. A terceira procura identificar os tipos genéricos mais comuns, onde se possam inserir os tipos específicos disponíveis. A quarta divisão estabelece os tipos específicos mais significativos encontrados, cujas lógicas assumem uma já reduzida possibilidade de variantes. Foram consideradas as características dos componentes estruturais colocados em obra e montados sem adição de componentes de contraventamento, isolamento e revestimento.

Tabela 1. Proposta de classificação dos sistemas construtivos em madeira para habitação.

GEOMETRIA	PESO	TIPO GENÉRICO	TIPO ESPECÍFICO		
1. Sistemas de componentes lineares (Reticulados e Porticados)	1.1. Componentes lineares leves	1.1.1. Reticulados leves	1.1.1.1. Reticulados leves tipo "platform frame" 1.1.1.2. Reticulados leves tipo "balloon frame"		
		1.2. Componentes lineares pesados	1.2.1. Porticados	1.2.1.1. Porticados de pilar-viga 1.2.1.2. Porticados de pórticos paralelos 1.2.1.3. Porticados tradicionais "timber frame" 1.2.1.4. Porticados de estacas "pole construction" 1.2.1.5. Porticados de postes verticais "post frame" 1.2.1.6. Porticados tipo "plank and beam"	
	1.2.2. Reticulados pesados		1.2.2.1. Reticulados pesados tradicionais		
	2. Sistemas de componentes planos (Painéis e Paredes)	2.1. Componentes planos leves	2.1.1. Paredes leves	2.1.1.1. Paredes leves de blocos 2.1.1.2. Paredes leves de pranchas e montantes	
2.1.2. Painéis leves			2.1.2.1. Painéis leves reticulados 2.1.2.2. Painéis leves alveolares compactos 2.1.2.3. Painéis leves alveolares tipo caixa 2.1.2.4. Painéis leves tipo sanduiche		
			2.2. Componentes planos pesados	2.2.1. Paredes pesadas	2.2.1.1. Paredes pesadas de toros serrados 2.2.1.2. Paredes pesadas de toros redondos 2.2.1.3. Paredes pesadas de toros verticais
				2.2.2. Painéis pesados	2.2.2.1. Painéis pesados de lamelados cruzados colados 2.2.2.2. Painéis pesados de lamelados cruzados cavilhados 2.2.2.3. Painéis pesados de lamelados paralelos 2.2.2.4. Painéis pesados de derivados de madeira 2.2.2.5. Painéis pesados de feixes paralelos
		3.1. Componentes espaciais leves	3.1.1. Módulos tridimensionais parciais		3.1.1.1. Módulos parciais de porticados (1.2.1.) 3.1.1.2. Módulos parciais de painéis leves (2.1.2.) 3.1.1.3. Módulos parciais de painéis pesados (2.2.2.) 3.1.1.4. Módulos parciais de sistemas mistos leves (4.1.1.) 3.1.1.5. Módulos parciais de sistemas mistos pesados (4.2.1.)
3.2. Componentes espaciais pesados					3.2.1. Módulos tridimensionais completos
	4.1. Mistos leves	4.1.1. Sistemas mistos leves		4.1.1.1. Sistemas mistos de reticulados leves + outro(s) 4.1.1.2. Sistemas mistos de paredes leves + outro(s) 4.1.1.3. Sistemas mistos de painéis leves + outro(s)	
4.2. Mistos pesados				4.2.1. Sistemas mistos pesados	

5.2. Alternativas de classificação

A segunda proposta de classificação (tabela 2.) é constituída com base no maior ou menor grau de pré-fabricação dos produtos colocados em obra. Estabelece-se uma primeira divisão entre sistemas de componentes, elementos e módulos seguida de uma segunda divisão mais específica. Adaptaram-se os princípios de montagem em obra formulados por Kolb [7]: 1) Pequenos componentes com um grau de pré-fabricação reduzida ou média, que montados em obra e agregados com outros formalizam elementos (e.g. toros, prumos). 2) Elementos instalados em obra, ou seja unidades funcionais de um edifício (e.g. parede exterior, pilar); 3) Módulos espaciais constituídos por elementos com grau de pré-fabricação elevado ou integral, instalados em obra (e.g. módulo de quarto). Os sistemas mistos serão classificados de acordo com o tipo genérico principal que os caracterizam.

Tabela 2. Proposta alternativa de classificação segundo o grau de pré-fabricação.

Processo	Nível de Prefabricação	Tipo genérico
1. Sistemas de componentes pré-fabricados	Processos tradicionais	1.2.2. Reticulados pesados
	Prefabricação reduzida/ média	1.1.1. Reticulados leves; 2.1.1. Paredes leves; 2.2.1. Paredes pesadas
2. Sistemas de elementos pré-fabricados	Prefabricação média/ elevada	1.2.1 Porticados
	Prefabricação elevada	2.1.2. Painéis leves ; 2.2.2. Painéis pesados
3. Sistemas de módulos pré-fabricados	Prefabricação elevada/ integral	3.1.1. Módulos tridimensionais parciais
	Prefabricação integral	3.2.1. Módulos tridimensionais completos

A terceira proposta de classificação (tabela 3.) tem por base o tipo de unidades conceptuais de projecto. Distingue-se entre “greiha estrutural de pilares”, “compartimentação estrutural de paredes”, “agregação de módulos espaciais” e “definição de soluções integrais”. No segundo nível manteve-se o critério do nível de pré-fabricação devido à sua importância para as decisões de projecto.

Tabela 3. Proposta alternativa de classificação segundo as unidades de projecto.

Unidade de Projecto	Nível de Prefabricação	Tipo genérico
1. Greiha estrutural de pilares	Prefabricação média/ elevada	1.2.1 Porticados
2. Compartimentação estrutural de paredes	Processos tradicionais	1.2.2. Reticulados pesados
	Prefabricação reduzida/ média	1.1.1. Reticulados leves; 2.1.1. Paredes leves; 2.2.1. Paredes pesadas
	Prefabricação elevada	2.1.2. Painéis leves ; 2.2.2. Painéis pesados
3. Agregação de módulos espaciais	Elementos espaciais leves	3.1.1. Módulos tridimensionais parciais
4. Definição de soluções integrais	Elementos espaciais pesados	3.2.1. Módulos tridimensionais completos

6. IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

6.1. Reticulados leves

São sistemas em que a estrutura vertical é constituída por planos reticulados formados por componentes lineares leves de pequena secção em madeira maciça, com vazios entre si, montados em obra. O tipo específico dominante é o “reticulado leve do tipo *platform frame*”. Encontram-se principalmente expressões como “*timber frame*”, “*frame construction*”, “*light framing*”, “*ossature légère*” e “*entramado ligero*”. Adoptou-se a expressão “reticulado” que se encontra na página do LNEC [39] sobre os Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG) [40] como tradução de “*timber frame*”. Preferiu-se esta expressão a outras como “sistema de prumos leves” [34], “gaiolas leves” [2], “estrutura leve” [29], “estruturas nervuradas” [36], “entramado” [41], “armação ligeira” [42], “paredes com montantes” [43]. Para os tipos específicos decidiu-se manter as designações originais em língua inglesa, já que outras traduções encontradas [2] [24] pareceram forçadas.

6.2. Porticados

São sistemas em que a estrutura vertical é constituída por um conjunto de componentes lineares pesados (pilares) montados em obra. O tipo mais simples é o “porticado de pilar viga”, distinguindo-se depois: os “porticados de pórticos paralelos” em que viga e pilar formam uma unidade estrutural [44]; os “porticados tipo *timber frame*” com ligações tradicionais e escoras; os “porticados de estacas tipo *pole construction*” com pilares cravados no solo; os “porticados de postes verticais tipo *post frame*”, com pilares travados por travessas [6]; e os “porticados tipo *plank and beam*” [25], com um sistema auxiliar de pavimento em pranchas. Os porticados são incluídos em geral em categorias nomeadas como “*heavy timber*”, “*skeleton construction*”, “*ossature bois*”, sendo designados em particular como “*timber frame*”, “*frame construction*”, “*post and beam*”, “*post frame*”, “*poteaux et poutres*”. Adoptou-se a expressão “porticados” [29] [12] em vez de “armação pesada” [42], “entramados pesados” [4] [24], “entramados” [5], “estrutura em madeira pesada” [31], “estruturas hierarquizadas” [36], “esqueleto” [2].

6.3. Reticulados pesados

São sistemas em que a estrutura vertical é constituída por planos reticulados, formados por componentes lineares de grande e média secção em madeira maciça, com vazios entre si, montados em obra. O interesse destas estruturas dirige-se sobretudo para a área da reabilitação. Não se apresentam as variantes deste tipo que se designou genericamente de “reticulado pesado tradicional”. As ligações entre componentes são executadas através de juntas de encaixe tipo macho-fêmea e cavilhas. Surgem em categorias designadas como “*heavy timber*” [11] e “*entramados pesados*” [4], sendo utilizadas designações específicas como “*timber frame*” [8] [7] [44], “*half timbering*” [18] [45] e “*colombage*” [46] [41] [47]. Em português encontra-se, entre outras expressões, “*taipas estruturais – gaiola*” [29] e “*entramado tradicional*” [41]. Adoptou-se a expressão “reticulados pesados tradicionais”, já que a expressão “tradicional” aponta para o seu interesse histórico.

6.4. Paredes leves

São sistemas em que a estrutura vertical é constituída por paredes contínuas, formadas por componentes lineares ou blocos leves, sem vazios no plano vertical, montados em obra. Apresentam-se duas variantes, as “paredes leves de blocos” em que o componente básico são blocos de madeira (tipo tijolo) com vazios no seu interior (em secção horizontal) e as “paredes leves de pranchas e montantes” em que pranchas maciças são encaixadas entre pilares verticais, constituindo painéis de parede resistentes. Para o primeiro sistema encontram-se as designações “*timber hollow blocks*” [45], “*timber modules*” [8] e “*modular building block system*” [7]. Para o segundo, “sistema de painel” [48], “parede estrutural em pranchas” [36], “paredes com pranchas maciças” [3].

6.5. Painéis leves

São sistemas em que a estrutura vertical é constituída por painéis contínuos de componentes planos leves pré-fabricados, sem vazios no plano vertical, prontos a instalar em obra. Apresentam-se quatro variantes: “painéis leves reticulados”, com prumos, travessas e placas de derivado de madeira; “painéis leves alveolares compactos” constituídos por pranchas ou sarrafos cruzados, deixando vazios entre si; “painéis leves alveolares tipo caixa” que aligeiram o peso da estrutura através de vazios de maior dimensão; “painéis leves tipo sanduiche” constituídos por duas placas de derivados de madeira com isolamento térmico entre elas. O termo genérico para os painéis leves é “*panel construction*” [44] [45] [9] [15], encontrando-se também “*structural panels*” [11] e “*timber panel building methods*” [8]. Para os “painéis leves reticulados” encontram-se as expressões “*timber frame*” [49] [30] [9], com variantes como “*stressed skin panels*” [26] [11]. Os “painéis leves alveolares compactos” surgem como “*timber block panels*” [8], “*cross banded spaced plies*” [7] ou “placas nervadas” [12]. Os “painéis leves tipo sanduiche” surgem como “*structural insultraed panels*” (SIPs) [26] [27]. Em português encontram-se as seguintes designações para os painéis leves em geral: “painéis compostos” [48], “painéis portantes” [36], “painéis pré-fabricados” [41] [39].

6.6. Paredes pesadas

São sistemas em que a estrutura vertical é constituída por paredes contínuas e opacas formadas por componentes lineares montados em obra. Apresentam-se três variantes, as “paredes pesadas de toros serrados”, as “paredes pesadas de toros redondos” e ainda as “paredes pesadas de toros verticais”. O grupo genérico das paredes pesadas surge em categorias designadas como “*heavy timber*” [11], ou “*mass structures*” [19], ou ainda “*constructions en bois massif*” [47], sendo por vezes incluído nos “*timber panel building methods*” [8]. O termo mais encontrado é “*log construction*” [49] [11] [44] [7] ou “*madirers*”, surgindo também como “*block construction*” [15] [18] (para os toros serrados). Em português, a expressão “toros” parece ser a dominante [39] [33] [32], encontrando-se variantes para os toros redondos como “truncos” [29] [31] [50]. Manteve-se no entanto a designação encontrada na tradução de “*Log building kits*” [51] para “Kits para edifícios de toros de madeira” [39].

6.7. Painéis pesados

São sistemas em que a estrutura vertical é constituída por painéis contínuos de elementos planos pesados pré-fabricados prontos a instalar em obra. Apresentam-se cinco variantes: “painéis pesados de lamelados cruzados colados” em que as lamelas de madeira são dispostas em camadas cruzadas e coladas entre si; os “painéis pesados de lamelados cruzados cavilhados” em que a cola é substituída por cavilhas e em que podem ser introduzidas camadas de lamelas na diagonal; “painéis pesados de lamelados paralelos” em que as lamelas são dispostas no mesmo sentido, podendo ser coladas, cavilhadas ou pregadas; “painéis pesados de derivados de madeira” em que se juntam várias placas de derivados; “painéis de feixes paralelos” em que se agregam elementos de madeira em forma de feixe através de cavilhas. Os termos mais comuns encontrados para descrever os painéis pesados referem-se ao seu carácter maciço: “*solid timber panels*” [8] [7], “*solid layered board elements*” [45], “*solid wood*” [18], ou “*panneux de bois massif*” [53]. Em português surgem expressões como “sistemas de painéis maciços de fachada” [33], “construção com placas maciças” [48], “construção maciça” [32]. Para os “painéis pesados de lamelados cruzados colados” encontrou-se “*cross-laminated timber*” [9]; para os “painéis pesados de lamelados cruzados cavilhados”, “*cross banded and doweled*” [7]; para os “painéis pesados de lamelados paralelos”, “*edge fixed element*” [7]; para os “painéis pesados de derivados de madeira”, “*pressed particleboards or OSB*” [7]; e para os “painéis de feixes paralelos”, “*solid wood components from round small-wood boles*” [53].

6.8. Módulos tridimensionais e sistemas mistos

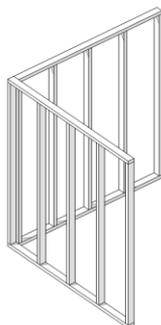
Módulos tridimensionais são sistemas em que a estrutura é constituída por um conjunto tridimensional de elementos pré-fabricados, pesados ou leves, instalados em obra no estado parcial ou completo. Os elementos do sistema admitem todos os tipos específicos antes indicados (tabela 1). Sistemas mistos são aqueles em que a estrutura é constituída por um conjunto de componentes estruturais pertencentes a vários tipos específicos estruturais. Incluem-se nos sistemas mistos, os sistemas que integram em conjunto com a madeira, outros sistemas de betão, alvenaria, aço, etc.

7. CONCLUSÕES, DESENVOLVIMENTOS E LIMITAÇÕES

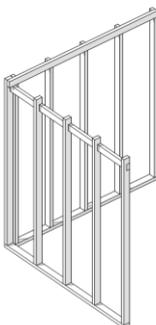
A proposta de nomenclatura e classificação apresentada considera-se provisória, mas permitirá adoptar na investigação que se segue, as designações e conceitos aqui estabelecidos. Este artigo pretende contribuir para o conhecimento dos sistemas estruturais em madeira, dirigindo-se em particular para os projectistas que têm que escolher a solução adequada, entre as várias possíveis, em resposta ao problema específico que encontram em cada projecto. Seguem-se quatro desafios principais: 1) Aperfeiçoar, corrigindo e completando, a classificação e a listagem de tipos específicos, através de consultas e entrevistas a profissionais do sector; 2) Avaliar e caracterizar com profundidade cada um dos sistemas estruturais do ponto de vista do projecto de arquitectura, testando a categorização proposta no sentido de a aperfeiçoar para a tornar operativa; 3) Elaborar a listagem dos sistemas históricos; 4) Efectuar uma abordagem mais completa da classificação, nomeadamente incluindo na categorização os elementos estruturais horizontais e de contraventamento e diferenciando os tipos específicos em função de características relevantes como o material, as espécies de madeira, a dimensões dos componentes, o tipo ligações e outras.

O artigo assume limitações que devem ser superadas em desenvolvimentos posteriores. O levantamento efectuado tem por base a literatura consultada e a informação comercial disponível na internet, não tendo sido realizado um trabalho de campo ou entrevistas às empresas e a profissionais do mercado da construção em madeira. Por outro lado, as fontes consultadas limitaram-se às línguas portuguesa, inglesa, francesa e espanhola. Idealmente deveriam ser também consultadas fontes noutras línguas e áreas geográficas onde a cultura da construção em madeira é significativa. Deve-se também sublinhar que os sistemas estruturais indicados não cobrem toda a diversidade de variantes, especialmente as dos sistemas híbridos. Importa referir também que o presente trabalho aborda as estruturas na óptica formal da arquitectura e não da engenharia.

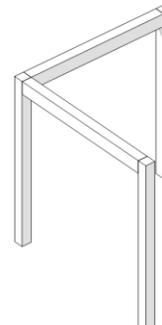
8. ESQUEMAS SÍNTESE DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS IDENTIFICADOS



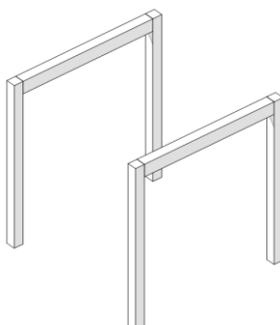
1.1.1.1. Reticulados leves tipo "platform frame"



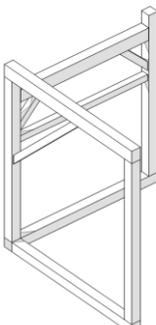
1.1.1.2. Reticulados leves tipo "balloon frame"



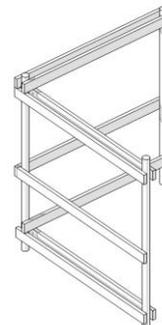
1.2.1.1. Porticados de pilar-viga



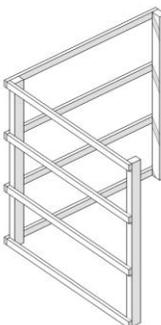
1.2.1.2. Porticados de pórticos paralelos



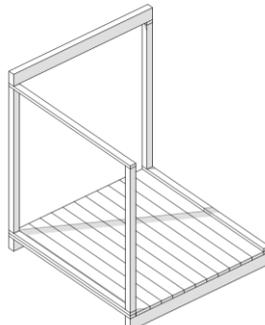
1.2.1.3. Porticados tradicionais "timber frame"



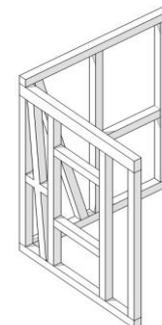
1.2.1.4. Porticados de estacas "pole construction"



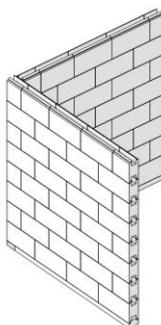
1.2.1.5. Porticados de postes verticais "post frame"



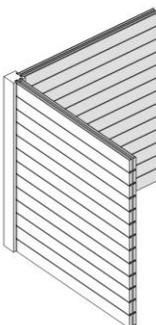
1.2.1.6. Porticados tipo "plank and beam"



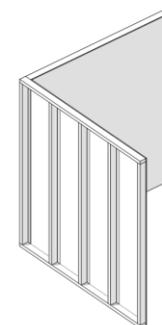
1.2.2.1. Reticulados pesados tradicionais



2.1.1.1. Paredes leves de blocos



2.1.1.2. Paredes leves de pranchas e montantes



2.1.2.1. Painéis leves reticulados

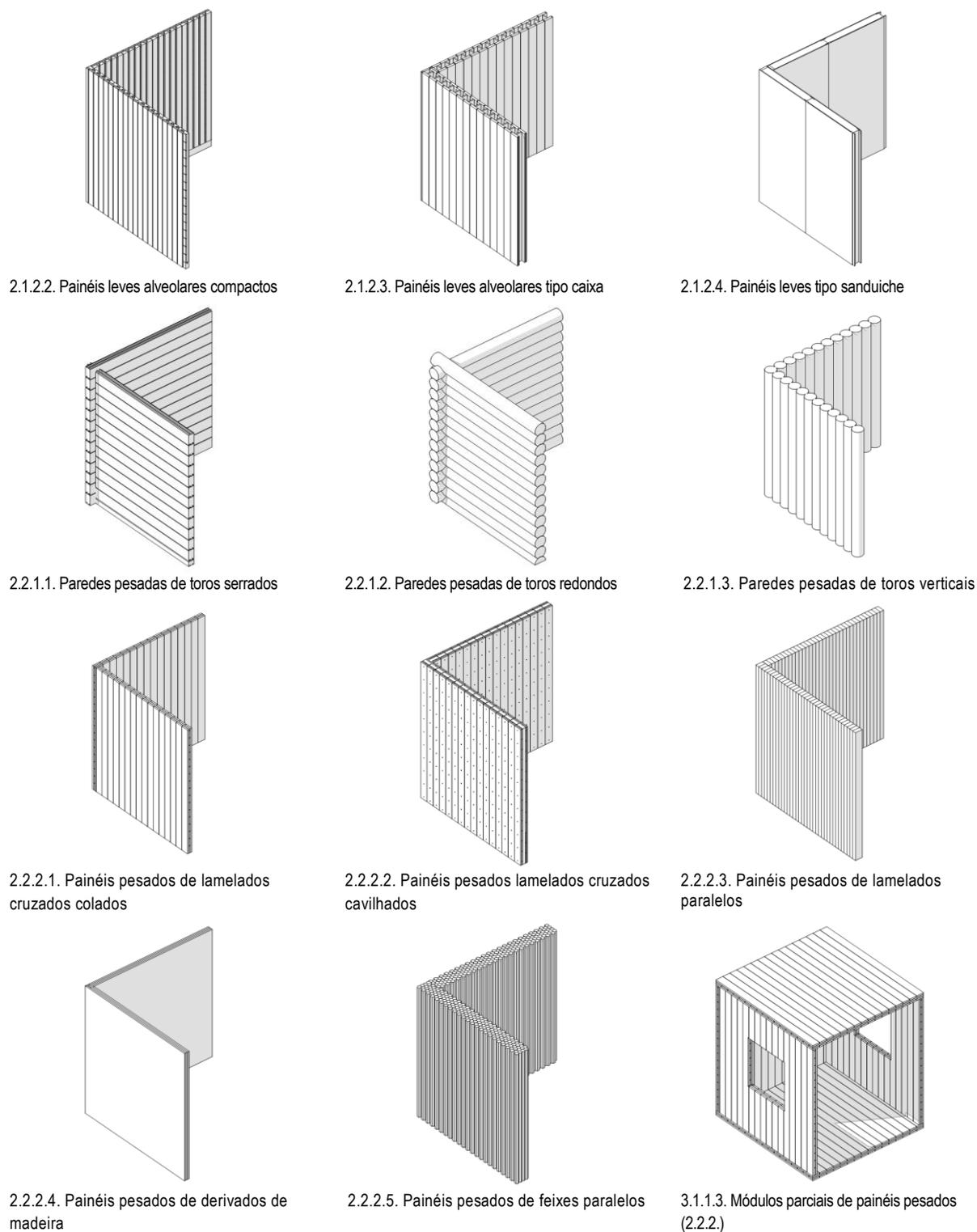


Figura 1. Ilustração dos principais tipos específicos de sistemas estruturais em madeira.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Eng.^o Pedro Pontífice e ao Arq.^o João Branco Pedro pelo importante apoio prestado.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Faria, *Análise dos sistemas construtivos portugueses*, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, (1997).
- [2] P. Mendonça, *Habitar sob uma segunda pele - Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*, Guimarães: Universidade do Minho - Departamento de Engenharia Civil, (2005).
- [3] J. Mascarenhas, *Sistemas de construção - III Paredes*, Lisboa: Livros Horizonte, (2006).
- [4] J. Peraza Sánchez et al., *Casas de madera - Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares*, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, (1995).
- [5] A. Fritz Durán, *Manual - la construcción de viviendas en madera*, Santiago de Chile: Centro de Transferencia Tecnológica - Corporación Chilena de la Madera, (2004).
- [6] American Institute of Timber Construction, *Timber construction manual*, New Jersey: John Wiley & Sons, (2012).
- [7] J. Kolb, *Systems in timber engineering*, Basel: Birkhauser, (2009).
- [8] G. Staib, A. Dörrhöfer e M. Rosenthal, *Components and systems - Modular construction - Design, structures, new technologies*, München: Detail - Birkhäuser, (2008).
- [9] T. Herzog et al., *Timber construction manual*, Basel: Birkhauser - Edition Detail, (2008).
- [10] B. Pickartz, "Timber frames". [Online]. Available: http://www.linkedin.com/groups/We-are-all-asked-difference-2829487.S.99020147?qid=058b6ef3-2ddc-42df-aafe-1551e8cf42d7&trk=group_items_see_more-0-b-ttl. [Acedido em 03-10-2012].
- [11] CSI - Construction Specifications Institute, *MasterFormat - 2004 Edition Numbers & Titles*, CSI - Construction Specifications Institute Canada, (2005).
- [12] G. Grohe, "El futuro de la construcción con madera," *Tectonica 13 - Madera (II) estructuras*, pp. 28-37, Julio 2001, (2001).
- [13] R. Barry, *The construction of buildings*, Oxford: Blackwell Science, (1999).
- [14] R. Chudley e R. Greeno, *Building construction handbook*, Oxford: Elsevier, (2004).
- [15] E. Neufert e P. Neufert, *Architects' Data*, Oxford: Blackwell Science, (2002).
- [16] G. Schierle, *Architectural Structures*, Los Angeles: University of Southern California, (2006).
- [17] M. McLuhan, *Una visión de la construcción industrializada*, Barcelona: Gustavo Gili, (1976).
- [18] C. Affentranger, "Building simply with wood," in *Building simply*, Munchen, Detail - Birkhauser, pp. 27-35, (2005).
- [19] R. Smith, *Prefab Architecture: a guide to modular design and construction*, New Jersey: Wiley, (2011).
- [20] M. Rodriguez Nevado, *Diseño estructural en madera*, Madrid: AITIM - Asociación de Investigación de las Técnicas de las Industrias de la Madera y del Corcho, (1999).
- [21] J. McMorrough, *Materials standards structures*, Massachusetts: Rockport, (2006).
- [22] D. J. Hopkin, *The fire performance of engineered timber products and systems*, Loughborough: Loughborough University, (2011).
- [23] J. Alread e T. Leslie, *Deign-Tech - Building science for architects*, Oxford: Elsevier - Architectural Press, (2007).
- [24] G. Roselló, "El futuro de la construcción en madera," *Tectonica 13 - Madera (II) estructuras*, pp. 31-32, (2001).
- [25] D. Watson, M. Crosbie e J. Callender, *Time saver standards for architectural design data*, New York: Mc Graw Hill, (1999).
- [26] E. Allen e J. Iano, *Fundamentals of building construction - materials and methods*, New Jersey: Wiley - John Wiley & Sons, (2008).

- [27] M. Metha, W. Scarborough e D. Armpriest, *Building construction - Principles, materials, and systems*, Boston: Pearson, (2011).
- [28] E. Fleming, *Construction Technology*, Oxford: Blackwell Publishing, (2005).
- [29] D. B. Lopes, "Seminário de construção em madeira", Ordem dos Arquitectos, Porto, (2006).
- [30] M. Premrov, "Timber frame houses," *Handbook 1 - Timber structures*, pp. 180-198, (2008).
- [31] J. Torres, *Sistemas construtivos modernos em madeira*, Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, (2010).
- [32] P. Almeida, *Sistema construtivo de madeira em edifícios de baixa densidade em Portugal*, Lisboa: Faculdade de Arquitectura - UTL, (2010).
- [33] V. Ferreira, *Viabilidade técnico-económica de construções de madeira em Portugal*, Lisboa: Instituto Superior Técnico - UTL, (2009).
- [34] R. Jerónimo, *Construção em Madeira - Exigências para a Certificação Energética*, Lisboa: Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Civil, (2009).
- [35] L. Morgado e J. Pedro, "Caracterização de casas de madeira em Portugal - Inquérito às empresas de projecto, fabrico, construção e comercialização," LNEC, Lisboa, (2011).
- [36] R. Mello, *Projectar em madeira: Uma nova abordagem*, Brasília: Faculdade de Arquitectura da Universidade de Brasília, (2007).
- [37] W. A. Thanoon, et al., "The essential characteristics of industrialised building system," in *International Conference on Industrialised Building Systems*, Kuala Lumpur, (2003).
- [38] R. Silva e A. Ino, "Habitação económica no Brasil: Estado da arte," in *XI Encontro brasileiro em madeira e estruturas de madeira*, Londrina, (2008).
- [39] LNEC, "Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG)," 14-05-2012. [Online]. Available: <http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/etags> [Acedido em 03-10-2012].
- [40] EOTA, ETAG 007 - *Guideline for european technical approval of Timber building kits*, Brussels: European Organisation for Technical Approvals, (2001).
- [41] I. Valle, *A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas*, São Carlos: Universidade de São Paulo, (2011).
- [42] N. Asensio, *Arquitectura: Madeira*, Savigliano: Edizione Gribaudo - Lisma, (2005).
- [43] F. Ching e C. Adams, *Técnicas de construção ilustradas*, Porto Alegre: Bookman, (2001).
- [44] C. Calil Junior e L. D. Brito, *Manual de projecto e construção de estruturas com peças roliças e madeira de reflorestamento*, São Carlos: Universidade de São Paulo, (2010).
- [45] A. Deplazes, *Constructing architecture - materials processes structures - a handbook*, Basel: Birkhauser, (2005).
- [46] German Timber, *The world of timber*, Bonn: Holzabsatzfonds, (2006).
- [47] J.-C. Bignon e N. Critt-Crai, *Technologies de construction bois*, Paris: CNDB - Comité National pour le Développement du Bois, (2003).
- [48] Y. Benoit e T. Paradis, *Construction de maisons à ossature bois*, Paris: Éditions Eyrolles, (2008).
- [49] S. F. César, *Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente - Projeto conceitual*, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, (2002).
- [50] G. W. Aparicio Jr, *Timber construction and material information exchanges for the design of complex geometric structures*, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, (2010).
- [51] A. Santos, *Comportamento térmico e acústico de pré-fabricados de madeira*, Aveiro: Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Civil, (2008).
- [52] EOTA, ETAG 011 - *Guideline for european technical approval of Light composite wood-based beams and columns*, Brussels: European Organisation for Technical Approvals, (2002).
- [53] CNDB, "Systèmes constructifs,". [Online]. Available: http://www.cndb.org/?p=systemes_constructifs . [Acedido em 03-10-2012] .
- [54] K. Mydlarz, "Contemporary timber-frame construction systems in Europe," *Ann. WULS-SGGW, Forestry and Wood Technology No 75*, pp. 122-126, (2011).