

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*
SOBRE AS SUAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E RESISTÊNCIA
NATURAL A FUNGOS E CUPINS**

CINTHIA DIAS ROCHA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Ciência
Florestal.

BOTUCATU - SP
Agosto-2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*
SOBRE AS SUAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E RESISTÊNCIA
NATURAL A FUNGOS E CUPINS**

CINTHIA DIAS ROCHA

Orientador: Elias Taylor Durgante Severo

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Ciência
Florestal.

BOTUCATU - SP
Agosto-2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R672e Rocha, Cinthia Dias, 1986-
Efeito da vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis* sobre as suas propriedades químicas e na resistência natural a fungos e cupins / Cinthia Dias Rocha. - Botucatu : [s.n.], 2011
ix, 121 f. : il. color., gráfs. (alguns color.), tabs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011

Orientador: Elias Taylor Durgante Severo
Inclui bibliografia

1. *Eucalyptus grandis*. 2. Imunidade natural. 3. Madeira - Tratamento térmico. 4. Madeira - Propriedades químicas. I. Severo, Elias Taylor Durgante. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA MADEIRA DE Eucalyptus grandis
SOBRE AS SUAS PROPRIEDADES QUÍMICAS E RESISTÊNCIA NA
TURAL A FUNGOS E CUPINS

ALUNA: CINTHIA DIAS ROCHA

ORIENTADOR: PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO



PROF. DR. GERALDO BORTOLETTO JUNIOR



PROF. DR. CLÁUDIO ANGELI SANSIGOLO

Data da Realização: 12 de agosto de 2011.

“Quase sempre minorias criativas e dedicadas
tornam o mundo melhor”

Martin Luther King

Agradeço:

Primeiramente a Deus pela vida, pela capacidade e pelas bênçãos que são constantes por toda minha vida.

À minha família, que sempre foi e sempre será meu porto seguro. É o amor e o carinho deles me mantém firme e forte. Principalmente aos meus pais Milton Dias Rocha e Therezinha de Jesus Maggi Rocha e aos meus avôs Therezinha Rabachini Maggi e Antônio Maggi (*in memoriam*). Também agradeço meus tios, tias, primos e primas.

Ao curso de Pós-graduação em Ciência Florestal da Universidade Estadual Paulista.

Aos meus amigos. Àqueles que sempre me apoiaram e ofereceram suporte nas horas difíceis. Agradeço principalmente à Rita Sampaio, Karina Tumura, Elaine Leonello, Shahine Paccola, Jocelaine Francelino, Mário Piazon, Armando Tadeo, Liliane Catarina, Euclides Fieri, aos amigos guaribenses e às minhas fiéis colegas de casa pela paciência e companheirismo.

Ao meu orientador Dr. Elias Taylor Durgante Severo pelos conselhos e orientação necessários para o término desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Cláudio Angeli Sansígolo, Prof. Dr. Geraldo Bortoletto Júnior e ao Dr. Fred Willians Calonego pelas sugestões apresentadas durante a elaboração e defesa de dissertação.

A todos os funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas, que sempre ajudaram e me atenderam nas necessidades. Principalmente àqueles do Depto de Recursos Naturais/Ciências Florestais, Marcenaria da FCA, Laboratório de Física do Solo, Laboratório de Patologia Florestal e da Seção de Atividades Auxiliares (Transportes) da FCA.

À Duratex S.A. pelo fornecimento do material deste estudo.

Ao Horto Florestal de Manduri, pertencente ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo pelo processamento mecânico da madeira utilizada neste estudo.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, que realizou o ensaio de resistência da madeira aos cupins.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão da bolsa que permitiu a conclusão de mais um trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma participaram e me ampararam para a conclusão desta pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
RESUMO.....	01
SUMMARY.....	03
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	05
2. OBJETIVOS.....	08
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	09
3.1. Propriedades químicas da madeira.....	09
3.2. Durabilidade biológica da madeira.....	12
3.3. Resistência natural da madeira a fungos xilófagos.....	15
3.4. Resistência natural da madeira a cupins.....	17
3.5. Limitações do uso da madeira de <i>Eucalyptus</i> spp.....	20
3.5.1 Tensões de crescimento.....	20
3.5.2. Permeabilidade da madeira.....	21
3.6. Degradação térmica da madeira.....	22
3.7. Vaporização em madeiras.....	24
3.8. Efeito da vaporização nas propriedades da madeira.....	28
3.8.1. Efeito da vaporização nas propriedades químicas da madeira.....	28
3.8.2. Efeito da vaporização na resistência natural a fungos xilófagos.....	31
3.8.3. Efeito da vaporização na resistência natural a cupins.....	33
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1. Coleta e preparo do material.....	35
4.1.1. Vaporização de toras.....	36
4.1.2. Desdobro da madeira.....	37
4.1.3. Vaporização preliminar à secagem das tábuas.....	39
4.2. Secagem da madeira serrada.....	40
4.3. Obtenção dos corpos de prova.....	42
4.4. Determinação das propriedades químicas da madeira.....	43

4.5. Resistência da madeira a fungo xilófago.....	43
4.6. Resistência da madeira a cupim de madeira seca.....	47
4.7. Análise estatística.....	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1. Efeito da vaporização nas propriedades químicas da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	49
5.1.1. Teor de solubilidade em NaOH1% e em água quente.....	50
5.1.2. Teor de extrativos totais.....	53
5.1.3. Teor de Lignina Klason.....	56
5.1.4. Teores de holocelulose, celulose e hemiceluloses.....	58
5.2. Efeito da vaporização na resistência da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> a fungos xilófagos.....	62
5.3. Efeito da vaporização na resistência da madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> a cupim de madeira seca.....	66
5.4. Composição química e a resistência natural da madeira.....	68
6. CONCLUSÕES.....	72
7. REFERÊNCIAS.....	75
Apêndice 1. Determinação do tempo de vaporização das toras de <i>Eucalyptus grandis</i>	90
Apêndice 2. Análise exploratória dos dados e análises estatísticas para as variáveis estudadas.....	97
Apêndice 3. Regressão Linear Simples- perda de massa provocada pelo fungo em função da composição química da madeira.....	106
Apêndice 4. Regressão Linear Simples- taxa de mortalidade dos cupins em função da composição química da madeira.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Distribuição da liberação das tensões de crescimento radialmente em <i>Cryptomeria japonica</i> D. Don, adaptado de Tejada et al., 1997.....	25
2 Esquema do procedimento de anelamento de toras com motosserra.....	36
3 Aplicação do tratamento de vaporização em toras.....	37
4 Obtenção dos pranchões centrais com 80 mm de espessura.....	38
5 Esquema de cortes na ressera, obtendo-se as tábuas centrais com 40 mm de espessura.....	38
6 Figura 6. Empilhamento gradeado para secagem das tábuas centrais com 40 mm de espessura.....	41
7 Modelo de extração dos corpos de prova.....	42
8 Início do ensaio (inoculação do fungo sobre o alimentador) e após 12 semanas de incubação com o fungo <i>Pycnoporus sanguineus</i> já com os corpos de prova da madeira de <i>E. grandis</i>	46
9 Condicionamento durante o ensaio e detalhe de um dos pares de corpos de prova da madeira de <i>E. grandis</i> após 45 dias de exposição a <i>Cryptotermes brevis</i>	48
10 Teor de solubilidade em NaOH 1% e em água quente para madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> submetida à vaporização.....	52
11 Teor de extrativos totais em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> submetida à vaporização.....	55
12 Teor de lignina Klason em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> submetida à vaporização.....	58
13 Teores de holocelulose, celulose e hemiceluloses em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> submetida à vaporização.....	60
14 Efeito da vaporização em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> exposta ao fungo <i>Pycnoporus sanguineus</i>	65
15 Efeito da vaporização em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> exposta ao cupim-de-madeira-seca (<i>Cryptotermes brevis</i>).....	68

16	Gráficos de regressão linear ajustada para estimar a perda de massa provocada pelo fungo apodrecedor em função da composição química da madeira de <i>E. grandis</i>	71
----	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Caracterização química de clones de <i>Eucalyptus grandis</i> com quatro anos de idade (GOMIDE et al., 2005).....	11
2 Durabilidade natural e resistência ao ataque de térmitas de espécies de eucalipto de acordo com Australian Standards 5604 (2005).....	14
3 Valores médios de análises químicas (%) para madeira de <i>Fagus orientalis</i> tratada com vaporização.....	30
4 Tratamentos realizados em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	39
5 Programa de secagem utilizado para tábuas de <i>Eucalyptus grandis</i> com 40 mm de espessura.....	41
6 Normas técnicas seguidas para realização das análises químicas	43
7 Teores de solubilidade em NaOH1% e em água quente em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	51
8 Teor de extrativos totais em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	54
9 Teor de lignina Klason para madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	57
10 Teores de holocelulose, celulose e hemiceluloses em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	59
11 Perdas de massa em madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> pelo fungo <i>Pycnoporus sanguineus</i>	63
12 Índice de mortalidade de insetos e danos causados por <i>Cryptotermes brevis</i> à madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	67

Resumo

A madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetida ao tratamento de vaporização apresenta maior qualidade na indústria de serrados e otimização durante o processo de secagem. O objetivo desta pesquisa foi verificar o efeito da vaporização em toras e em madeira serrada nas propriedades químicas e na resistência natural a fungo e cupins da madeira de *Eucalyptus grandis*. Para isso, foram empregados quatro tratamentos: material controle, madeira vaporizada em toras (vapor saturado, 20 horas à 90°C), madeira pré-vaporizada em tábuas (1 hora de aquecimento inicial seguida de 3 horas de vapor saturado a 90°C) e material submetido às duas vaporizações, ou seja, tábuas pré-vaporizadas obtidas de toras vaporizadas. Para caracterização química foram utilizadas as normas TAPPI (1999); para determinar a resistência natural a fungo foram utilizados os procedimentos das normas ASTM D-1413 (1994) e ASTM D-2017 (1994) e, para cupim, a metodologia desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1980). Os resultados mostraram que: (1) a vaporização promoveu algumas modificações não estatisticamente significativas na composição química da madeira, como: acréscimos de até 5,07% do teor de solubilidade em NaOH 1%, decréscimos de até 21,80% no teor de solubilidade em água quente, acréscimos no teor de extrativos totais para madeira vaporizada em tora e aquela pré-vaporizada em tábuas na ordem

de 4,80% e 9,50%, respectivamente, enquanto a madeira submetida à vaporização conjunta (vaporizada/pré-vaporizada) apresentou decréscimo de 7,10%; aumento de até 6,77% no teor de lignina Klason, e redução de até 4,75% no teor de hemiceluloses. Outras modificações, no entanto, foram significativas, como: redução de 3,10% no teor de holocelulose e de 5,06% no teor de celulose; (2) houve também um efeito não significativo na susceptibilidade da madeira quando vaporizada e exposta ao fungo de podridão-branca *Pycnoporus sanguineus*. A madeira vaporizada em toras e aquela pré-vaporizada em tábuas obtiveram aumento na perda de massa na ordem de 13,03% e 5,67%, respectivamente, enquanto a madeira vaporizada/pré-vaporizada apresentou perda de massa igual à madeira controle; (3) por sua vez, o efeito da vaporização também não apresentou significância estatística na resistência ou susceptibilidade ao ataque da madeira pelo cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*).

Palavras-chave: vaporização, pré-vaporização, resistência natural, propriedades químicas, *Eucalyptus grandis*.

THE EFFECT OF STEAMING OF *Eucalyptus grandis* WOOD ON ITS CHEMICAL PROPERTIES AND NATURAL RESISTANCE TO FUNGI AND TERMITES.

Botucatu, 2011. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CINTHIA DIAS ROCHA

Adviser: ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

SUMMARY

The steamed wood of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden has a better quality to the sawn industry and optimizes the drying process. The aim objective of this work was evaluate the effect of vaporization in logs and lumber on chemical properties and *Eucalyptus grandis*'s natural resistance to dry wood termites (*Cryptotermes brevis*) and to the fungus *Pycnoporus sanguineus*. For this, four treatments were used: control material, steamed wood logs (saturated steam, 20 hours at 90 ° C), pre-steamed wood on tables (1 hour initial warm-up followed by 3 hours of saturated steam at 90 ° C) and materials that were submitted to two sprays, i.e., pre-steamed boards obtained from vaporized logs. For the chemical characterization was used TAPPI (1999), to determine the natural resistance to fungus were used procedures of ASTM D-1413 (1994) and ASTM D-2017 (1994) standards and, for termites, the methodology developed by the Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1980). Results showed that: (1) vaporization promoted no significant modifications in the chemical composition of wood, such as additions of 5.07% in the level of solubility in NaOH 1%, solubility decrease of 21.80% in the level of solubility in hot water, increases in the total extractive content for the log wood and pre-vaporized boards in the order of 4.80% and 9.50%

respectively, while the vaporized wood/pre-vaporized on boards showed a decrease of 7.10%; increase of 6.77% in Klason lignin content and reduction of 4.75% in the content of hemicelluloses. Other modifications, however, were significant, as reduction of 3.10% in the holocellulose content and 5.06% in cellulose content, (2) there was also no significant effect on the susceptibility of wood when vaporized and exposed to the white-rot fungus, *Pycnoporus sanguineus*. The steamed wood logs and the pre-steamed boards obtained an increase in mass loss in the order of 13.03% and 5.67% respectively, while the steamed wood / pre-steamed presented the same mass loss of the control material; (3) the effect of steaming is not statistically significant in the resistance or susceptibility to the attack of dry wood termites (*Cryptotermes brevis*).

Keywords: log steaming, pre-steaming, natural resistance, chemical properties, *Eucalyptus grandis*

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As espécies de rápido crescimento já estão consolidadas no Brasil como culturas de extrema importância; são, pois, alternativas à exploração indiscriminada das florestas nativas. Assim, os reflorestamentos tendem a substituir a busca constante de produtos madeireiros provenientes das florestas naturais. Segundo a ABRAF (2010) a área reflorestada no país já equivale a cerca de seis milhões de ha, sendo que destes, 62,7% é composta pelo gênero *Eucalyptus*.

Entretanto, a carência de informações tecnológicas com relação às espécies de rápido crescimento é ainda um entrave para um bom aproveitamento madeireiro para os usos nobres, tais como a fabricação de móveis (indústria de serrados) e aplicações da madeira na construção civil.

Os maiores problemas da madeira do gênero *Eucalyptus* são constatados pela presença de altos níveis das tensões de crescimento e pela baixa permeabilidade. São características inerentes da madeira e desfavoráveis ao bom emprego do material.

As manifestações das tensões de crescimento causam sérias rachaduras nas toras durante a derrubada da árvore e também empenamentos e rachaduras nas tábuas durante o processamento mecânico. Por sua vez, a baixa permeabilidade é responsável por dificuldades durante o processo de secagem e na aplicação de tratamentos preservativos. Assim, o rendimento da madeira se torna menor e, conseqüentemente, a perda econômica é majorada.

Uma forma de amenizar os entraves da madeira do gênero *Eucalyptus* citados anteriormente é a aplicação do tratamento de vaporização, técnica na qual se utiliza o emprego simultâneo de calor e alta umidade (CALONEGO et al, 2005; CALONEGO et al., 2010a; CALONEGO e SEVERO, 2007; SEVERO, 2000; SEVERO, 2004; SEVERO; TOMASELLI, 2000; SEVERO; TOMASELLI, 2000b; SEVERO; TOMASELLI, 2001; SIMPSON 1975; SIMPSON, 1976). O tratamento é aplicado tanto em madeira na forma de toras quanto em madeira serrada, anteriormente ao processo de secagem, o qual é denominado pré-vaporização.

A vaporização acarreta na plasticização da lignina nas paredes celulares (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; SEVERO, 1998; TEJADA et al., 1997), resultando em um relaxamento e liberação das tensões de crescimento existentes nas toras o que melhora a qualidade do desdobro. Enquanto que a pré-vaporização provoca o aumento da permeabilidade da madeira através da desobstrução das pontoações, otimizando o processo de secagem (ALEXIOU et al., 1990; CHEN, 1975; HARRIS et al. 1989; SEVERO, 2004). Conseqüentemente, o resultado da aplicação dos tratamentos de vaporização é a obtenção de produtos com menores porcentagens de defeitos e um melhor aproveitamento da madeira.

No entanto, concomitantemente à aplicação do tratamento térmico de vaporização podem ocorrer modificações nas propriedades da madeira. O calor e a alta umidade podem provocar degradação de componentes instáveis termicamente mesmo em temperaturas em torno de 100°C (FENGEL; WEGENER, 1984), descaracterizando algumas propriedades da madeira original, e, afetando o uso e emprego corretos da madeira tratada ou vaporizada.

Por isso, os efeitos da vaporização nas propriedades químicas e nas propriedades de resistência natural da madeira a organismos xilófagos, neste caso em relação a fungos e cupins, foram abordados nesta pesquisa.

2. OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo geral verificar o efeito da vaporização em toras e da pré-vaporização em madeira serrada nas propriedades químicas e na resistência a organismos xilófagos da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Os objetivos específicos do trabalho foram avaliar o efeito da vaporização sobre:

- as propriedades químicas da madeira, tais como a solubilidade da madeira em NaOH 1% e em água quente, teor de extrativos totais, teor de lignina Klason, teor de holocelulose, teor de celulose e teor de hemiceluloses.
- a resistência da madeira ao fungo deteriorador *Pycnoporus sanguineus*;
- a resistência da madeira ao cupim *Cryptotermes brevis*.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Propriedades químicas da madeira

A parede celular é composta basicamente por constituintes macromoleculares: as hemiceluloses, celulose e lignina. Estes materiais representam 95% do peso seco da madeira e definem a forma, resistência e estrutura do material. Em menores proporções ocorrem compostos estranhos que desempenham funções acessórias, representando em torno de 5% do peso total da madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

A celulose é o componente mais abundante, representando 45% do peso seco da madeira. É um homopolímero linear de alto peso molecular constituído exclusivamente por ligações β -1-4 glicose. Apresenta regiões amorfas e também porções de arranjo ordenado, chamada de região cristalina (BOWYER et al., 2003; HILL, 2006, LEPAGE, 1986; ZOBEL; van BUIJTENEN, 1989).

As hemiceluloses são elementos amorfos que representam em torno de 25-30% do peso da substância madeira e são formadas por ligações de polímeros

monossacarídeos (açúcares) de diversos tipos, sendo por isso uma poliose. As hexoses: glucose, manose e galactose; e as pentoses: xilose e arabinose são os tipos mais comuns de poliose. Estes componentes também possuem ramificações de radicais acetila que são facilmente hidrolisados, resultando na formação de ácido acético. O conjunto dos polímeros de hemiceluloses e celulose compõem o teor total de polissacarídeos na madeira- chamado holocelulose- o qual é encontrado no teor de 75% nas folhosas e 65% nas coníferas. (HILL, 2006; LEPAGE, 1986).

Lepage (1986) e Bächle (2010) salientam que os tipos de hemiceluloses predominantes em folhosas e coníferas são distintos. Em folhosas há predominância de glucouranoxilanas (pentosanas) e arabinogalactana (hexosanas); enquanto em coníferas há maiores proporções de glucomananas (hexosanas) e arabinoglucouranoxilana (pentosanas).

A lignina, por sua vez, difere significativamente da estrutura da celulose e das hemiceluloses. Pois, é um polímero amorfo, tridimensional e hidrofóbico, de natureza aromática e fenilpropanóica. É constituída basicamente de unidades de p-hidroxifenilpropano, guaiacilpropano (com um radical metoxila) e siringilpropano (com dois radicais metoxila) e é encontrada por volta de 28% em coníferas e 20% em folhosas (HILL, 2006; LEPAGE, 1986; WINDENSEN et al., 2007; ZOBEL; van BUIJTENEN, 1989).

Já os componentes de menores proporções são subdivididos em partes orgânica e inorgânica e podem apresentar grande influência nas diversas propriedades da madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999). A parte orgânica é composta pelos extrativos, que apresentam baixo e médio peso molecular e são extraíveis em água ou em solventes orgânicos neutros. Estes influenciam na coloração, odor, sabor, inflamabilidade, higroscopicidade e na durabilidade natural da madeira. Incluem-se neste grupo as resinas, óleos essenciais, ceras, taninos e outros polifenóis. Podem constituir de 3% até 30% da substância madeira, dependendo da espécie, idade e condições de crescimento (BARRICHELLO; BRITO, 1985; HILLIS, 1962). Os constituintes minerais ou cinzas, parte inorgânica dos componentes acidentais, estão presentes na madeira em torno de 0,2% a 1% do seu peso seco, variando conforme a espécie. O cálcio, potássio e magnésio são os componentes mais abundantes (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização química da madeira de eucalipto.

Tabela 1. Caracterização química de um clone de *Eucalyptus grandis* com quatro anos de idade (GOMIDE et al., 2005).

Análises químicas	Madeira de <i>Eucalyptus grandis</i>	
Teor de lignina, %	Solúvel	3,70
	Insolúvel (Klason)	26,40
Densidade básica, g/cm ³	0,486	
Solubilidade em álcool/tolueno, %	3,37	
Solubilidade em diclorometano, %	0,20	
Celulose, %	44,10	
Holocelulose, %	66,00	
Hemiceluloses, %	21,90	
Glucanas, %	44,60	
Xilanas, %	12,80	
Galactanas, %	0,50	
Mananas, %	0,50	
Arabinanas, %	0,30	
Relação Siringil/Guaiacil	2,50	

Santos e Sansígolo (2007) analisaram teores de holocelulose, extrativos totais, lignina total, lignina insolúvel e lignina solúvel, encontrando, respectivamente, teores de 67,12%, 3,29%, 29,59%, 27,49% e 2,10% em *Eucalyptus urophylla x grandis* com seis anos de idade com densidade básica de 0,508 g/cm³. Em *E. urophylla x grandis* com seis anos e meio os teores foram de 64,61%, 3,87%, 31,52%, 28,64%, 2,88% e a densidade básica de 0,440 g/cm³. Todas as variáveis analisadas, exceto o teor de lignina solúvel, foram estatisticamente distintas para as diferentes densidades.

Andrade et al. (2010) reportaram teores em torno de 72,5%, 23,5% e 1,7%, respectivamente para holocelulose, lignina insolúvel e extrativos totais em madeira de *Eucalyptus grandis* com oito anos de idade. Para madeiras de mesma idade, os teores dos componentes foram de 73%, 26% e 2,3%, respectivamente, para a espécie de *Eucalyptus*

saligna e de 67%, 29% e 2,7% para *Eucalyptus pellita*. Os autores verificaram efeito significativo para as diversas espécies de eucalipto.

Trugilho et al. (2007) analisaram a qualidade de diversos clones de eucalipto com idade aproximada de seis anos. A variação dos teores de lignina Klason, teor de extrativos totais, solubilidade em NaOH 1%, hemiceluloses e celulose foram de 18,66% a 31,87%, 1,98% a 7,95%, 18,28% a 24,62%, 14,76% a 25,81% e 51,60% a 60,76%, respectivamente.

Silva et al. (2005) demonstraram que a idade e a posição do tronco no sentido base-topo influenciam significativamente a composição química da madeira. A madeira de *Eucalyptus grandis* de 10 anos apresentou médias de 69,46% no teor de holocelulose e 3,41% no teor de extrativos totais, enquanto que na madeira com 14 anos os resultados foram de 70,61% e 3,85%, respectivamente. Na madeira com 10 anos os resultados para o disco da base e o disco retirado a seis metros da base foram de 68,84% e 72,11% para o teor de holocelulose e 3,90% e 3,09% para o teor de extrativos totais, respectivamente.

3.2. Durabilidade biológica da madeira

As principais formas de degradação da madeira ocorrem através de agentes biológicos, físicos, químicos, bem como através do fogo. Porém, a mais comum é a forma de deterioração biológica (LOFERSKI, 2001).

A madeira é degradada biologicamente porque os organismos reconhecem os polímeros da parede celular como fonte de nutrição, e alguns deles possuem sistemas enzimáticos específicos capazes de metabolizá-los em unidades digeríveis (OLIVEIRA et al., 1986).

A resistência ou durabilidade natural é traduzida exatamente na capacidade da madeira de resistir à ação de quaisquer agentes que deterioram a madeira (SILVA et al., 2005).

A resistência ao ataque específico de agentes biológicos se deve à presença dos extrativos, que são substâncias químicas tóxicas ou repelentes aos organismos

xilófagos. Entretanto, os extrativos estão variavelmente presentes em cada espécie, entre árvores e entre porções do lenho. De modo geral, a maior concentração dos extrativos é encontrada no cerne e mais precisamente na região de transição para o alburno, decrescendo em direção à medula e aumentando em direção à base do fuste; esta qualidade aliada à ausência de material nutritivo garante que o cerne seja a região que represente maior capacidade de durabilidade natural das madeiras (LEPAGE, 1986; OLIVEIRA et al., 1986; PAES et al., 2003; SILVA et al., 2005).

Há diversas classes de extrativos em cada espécie e entre espécies, e cada classe de extrativo representa um papel na durabilidade biológica. Oliveira et al. (2005a), correlacionaram classes de extrativos e a durabilidade natural das madeiras de *E. gummifera* e *Corymbia citriodora* através da inoculação por 16 semanas com o fungo xilófago *Gloeophyllum trabeum*. Para *E. gummifera* a perda de massa da madeira natural, extraída com água fria e com diclorometano foram baixas e não diferiram estatisticamente, sendo da ordem de 1,10%, 0,98% e 1,01%, respectivamente. Tais resultados diferiram da madeira livre de extrativos e aquela que passou por extração com água quente ao apresentarem perda de massa da ordem de 19,50% e 9,70% respectivamente, não diferindo entre si. Para *C. citriodora* as perdas de massa não diferiram na extração com água fria, água quente, diclorometano e a madeira natural, sendo da ordem de 0,63%, 0,64%, 1,12% e 1,34%, respectivamente, já a perda de massa de madeira com extração total diferiu de todos os tratamentos e foi da ordem de 38,70%.

Jesus et al. (1998) verificaram os diferentes graus de durabilidade natural das espécies ao analisarem que de 46 espécies amazônicas em campo de apodrecimento, cerca de 50% foram classificadas como altamente duráveis ao apresentarem 60% das suas estacas deterioradas após oito anos; 15,2% das espécies foram inutilizadas entre cinco a oito anos, sendo classificadas como duráveis; em 21,7% das espécies o tempo de deterioração foi de dois a cinco anos, classificando-as como moderadamente duráveis. O restante das espécies (13,1%) demorou menos de dois anos para se deteriorarem e foram consideradas não duráveis.

CSIRO (1997) relacionaram a durabilidade natural do cerne de árvores adultas de espécies australianas de eucaliptos e classificaram o *Eucalyptus grandis* como espécie moderadamente durável tanto para fungos quanto para cupins ou térmitas.

A Tabela 2 apresenta a classificação de uma norma australiana (AS-5604, 2005) para diferentes espécies de eucalipto quanto à propriedade de resistência natural a fungos, insetos e organismos xilófagos marinhos.

Tabela 2. Durabilidade natural e resistência ao ataque de térmitas de espécies de eucalipto de acordo com Australian Standards 5604 (2005).

Espécie	Nível de resistência a térmitas *	Classe de durabilidade natural **
<i>Eucalyptus pilularis</i>	R	2
<i>Eucalyptus regnans</i>	NR	4
<i>Eucalyptus microcarpa</i>	R	1
<i>Eucalyptus albens</i>	R	2
<i>Eucalyptus torelliana</i>	NR	2
<i>Eucalyptus globulus</i>	NR	3
<i>Eucalyptus saligna</i>	NR	3
<i>Eucalyptus viminalis</i>	NR	4
<i>Eucalyptus Alba</i>	NR	3
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	R	1
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	R	2
<i>Eucalyptus grandis</i>	NR	3
<i>Eucalyptus nitens</i>	NR	4
<i>Eucalyptus dunnii</i>	NR	4
<i>Eucalyptus paniculata</i>	R	1
<i>Eucalyptus pellita</i>	R	2
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	R	1
<i>Corymbia citriodora</i>	R	2

*NR - não resistente; R - resistente. **Classe 1: alta durabilidade, com mais de 25 anos de expectativa de vida; 2: alta durabilidade, com expectativa de vida de 15 a 25 anos; 3: moderada durabilidade, com expectativa de vida de 5 a 15 anos; 4: baixa durabilidade, com expectativa de vida menor que 5 anos.

Oliveira et al. (1986) ressaltam que para impedir ou pelo menos atenuar a ação de agentes degradadores há, basicamente, três linhas de ação: empregar madeira de elevada resistência natural, incorporar produtos químicos à madeira ou introduzir alterações químicas permanentes em sua estrutura polimérica.

3.3. Resistência natural da madeira a fungos xilófagos

Os fungos que se utilizam de ação enzimática em compostos lignocelulósicos como fonte de suprimento para o metabolismo intracelular são conhecidos como fungos xilófagos (CARVALHO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 1986).

Para Loferski (2001), os fungos são os principais e mais importantes organismos xilófagos no mundo e causam prejuízos maiores que os insetos em madeiras utilizadas em construções, especialmente quando o material está em contato com o solo.

Condições de temperatura variando entre 10°C a 35°C, umidade por volta de de 25% a 30% e oxigenação adequada permitem o ataque intenso de fungos à madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; LEPAGE, 1986; LOFERSKI, 2001; OLIVEIRA et al., 2005b; PAES et al. 2003). E é de acordo com o tipo de ataque que os fungos são reunidos em dois grupos principais: Fungos apodrecedores e Fungos emboloradores/manchadores (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

O grupo dos fungos apodrecedores apresenta grande potencialidade para degradar os compostos da parede celular, resultando em modificações nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, sendo que dentre os principais processos de apodrecimento estão a podridão mole, a podridão parda e a podridão branca. O ataque da podridão mole ocorre superficialmente através da erosão da parede celular na presença de alta umidade, deixando a madeira com aspecto “esponjoso”. Na podridão parda ocorre a degradação dos polímeros de celulose e hemiceluloses da camada S₂ da parede celular, enquanto que a lignina não é praticamente alterada, resultando em rachaduras perpendiculares e paralelas às fibras e na coloração amarronzada ou parda da madeira. Na podridão branca a madeira torna-se esbranquiçada e com aspecto fibroso devido à degradação de todos os componentes primários do material, inclusive a lignina; ocorre mais frequentemente em espécies do grupo das folhosas. (BOWYER et al. 2003; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; LOFERSKI, 2001; MESQUITA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 1986).

Já o grupo dos fungos conhecido por emboloradores ou manchadores modifica esteticamente a superfície da madeira ao consumir as substâncias de reserva presentes, principalmente no alburno, como no caso de açúcares simples, gorduras e proteínas. Assim sendo, não alteram as propriedades mecânicas da madeira (OLIVEIRA et al. 1986).

Paes (2002) verificaram que a durabilidade da madeira de *Corymbia maculata* com 21 anos de idade à degradação com inóculos de *Polyporus fumosus*, fungo causador da podridão branca, durante 12 semanas apresentou perdas de massa da ordem de 7,12%, 4,81%, 9,75%, 13,83% para as posições interna, média interna, média externa e externa na direção medula-casca, respectivamente. O material foi classificado como altamente resistente para o cerne interno (posições interna e média interna) e resistente para a o cerne externo e alburno (posições média externa e externa), de acordo com classificação da norma ASTM D-2017 (1994).

Com perda de massa variando entre 0,05% a 3,21%, as madeiras *Aspidosperma desmanthum*, *Mouriri callocarpa*, *Parinari excelsa*, *Astronium* sp., *Peltogyne paniculata* e *Marmaroxylon racemosum* de foram consideradas altamente resistentes segundo a classificação da norma ASTM D2017 (1994) quando expostas ao fungo *Pycnoporus sanguineus* durante seis semanas em ensaio acelerado de laboratório, não havendo correlação entre a massa específica e a resistência natural das espécies (ALVES et al. 2006).

Abreu et al. (2007) reportaram que o grau de degradação do fungo *Pycnoporus cinnabarinus* em *Eucalyptus* sp. com 12 meses de idade durante 12 semanas apresentou perda de massa média da ordem de 28,1%.

Fernandes et al. (2005) reportaram que a madeira de *Eucalyptus grandis* quando degradada por *Phellinus flavomarginatus*, fungo causador da podridão branca, resultou em baixa perda de massa, sendo da ordem de 1,2% e 3,2% durante 30 e 60 dias em condições de laboratório, respectivamente.

Resultado análogo deu-se em ensaio acelerado de laboratório com o fungo causador de podridão parda *Gloeophyllum trabeum* durante 16 semanas, no qual Oliveira et al. (2005b) obtiveram perda de massa média da ordem de 0,5% em cerne de árvores de *Eucalyptus grandis* com 16 anos de idade, classificando-o como altamente durável de acordo com a norma ASTM D-2017 (1994).

Palanti et al. (2010) observaram comportamento similar em clones de *Eucalyptus grandis* quando exposta por diversos fungos durante 12 semanas de ensaio. As perdas de massa para cada fungo foi estatisticamente diferente e da ordem média de 0,27% a 0,80%; 3,19% a 7,29% e 3,55% a 10,67% para os fungos *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Coniophora puteana*, respectivamente.

Oliveira (1997) reportou bom desempenho quando diversificadas espécies de eucalipto com idades aproximadas de 16 anos foram inoculadas com o fungo *Gloephyllum trabeum* durante 12 semanas. A perda de massa média por meio do ensaio “soil-block” para *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. tereticornis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. paniculata* e *E. citriodora* foram de: 0,5%, 1,3%, 0,6%, 0,3%, 2,8%, 2,1% e 4,6%, respectivamente. Todas as espécies foram classificadas como altamente resistentes de acordo com a norma ASTM D-2017 (1994).

Contudo, Silva et al. (2007) reportou perda de massa em torno de 9,1% quando madeira de *Eucalyptus grandis* foi inoculada com *Pycnoporus sanguineus* por 16 semanas, resultado que não diferiu estatisticamente da madeira testemunha de *Pinus* sp que apresentou perda de massa de 9,8%.

3.4. Resistência natural da madeira a cupins (Térmitas)

Os cupins pertencem à classe Insecta e ordem Isoptera. São insetos sociais que possuem castas de indivíduos divididos em operários, soldados e reprodutores alados. Possuem também como características a metamorfose incompleta e a alimentação baseada em celulose, a qual é consumida através da associação digestiva com bactérias ou protozoários (LEPAGE, 1986).

Os cupins da família Kalotermitidae vivem exclusivamente dentro da madeira. Nessa família as colônias são pouco populosas, com apenas alguns milhares de indivíduos. A espécie *Cryptotermes brevis*, conhecido como cupim de madeira seca, pertence à essa família e é economicamente uma das mais importantes no Brasil (OLIVEIRA et al., 1986).

Oliveira (1997) relata a importância do estudo da durabilidade natural de madeiras empregadas na construção civil, sobretudo seu desempenho na presença de agentes xilófagos que produzem expressiva deterioração, como o cupim de madeira seca. Para Pêgas (2007) e Lepage (1986) o cupim de madeira seca é uma espécie cosmopolita e o principal agente destruidor do material fora de contato com solo, colonizando madeiras com teor de umidade abaixo de 30%.

Eleoterio e Berti Filho (2000) analisaram a ocorrência das espécies de cupins da região de Piracicaba-SP e verificaram que as espécies de maior frequência são *Coptotermes havilandi* e *Cryptotermes brevis*, sendo este último o de maior distribuição. Os autores também observaram que o custo com controle curativo para o ataque dos térmitas é bastante alto.

Paes et al. (2003) ao verificarem a resistência natural de espécies nativas do semi-árido brasileiro (*Prosopis juliflora*, *Piptadenia macrocarpa*, *Myracrodruon urundeuva*, *Schinopsis brasiliensis*, *Senna siamea*, *Tabebuia aurea*, *Amburana cearenses*, *Tabebuia impetiginosa* e *Aspidosperma pyrifolium*) ao ataque de cupins subterrâneos *Nasutitermes corniger* concluíram que, de modo geral, a resistência natural variou de acordo com as espécies. A resistência ao ataque dos cupins, entretanto, não foi relacionada com a densidade das madeiras ou com a classe de extrativos solúveis em água quente.

Paes et al. (2007) analisaram a resistência natural à degradação pelos térmitas *Nasutitermes corniger* durante 28 dias em diferentes espécies de madeiras e obtiveram ataques superficiais para as espécies *Cordia trichotoma*, *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Azadirachta indica*; ataques moderados para *Tectona grandis* e *Croton sonderianus* e ataque severo na espécie *Leucaena leucocephala*. Os autores também não encontraram correlação positiva entre a degradação pelos térmitas e a densidade das madeiras.

Trevisan et al. (2008) analisaram a degradação das espécies florestais *Eucalyptus urophylla*, *Melia azedarach*, *Lophantera lactescens*, *Pinus elliottii* e *Inga marginata* em dois campos de apodrecimento localizados em pasto e floresta durante 12 semanas. A espécie de *E. urophylla* foi a mais degradada em ambos ambientes, apresentando 100% de infestação pelos cupins *Nasutitermes minor*, *Nasutitermes jaraguai* e *Heterotermes longiceps* ao final do ensaio. O ambiente com maior infestação ocorreu na mata, na qual 56,6% das toras foram deterioradas pelos cupins, enquanto no campo de pastagem isso ocorreu em apenas 20%.

Gonçalves e Oliveira (2006) analisaram o desgaste, a quantidade de cupins mortos e o número de furos provocados na madeira de seis espécies florestais (*Cedrela fissilis*, *Cariocar brasiliense*, *Goupia glabra*, *Toona ciliata*, *Tachigalia myrmecophila* e *Schilozobium parahyba*) quando na presença de *Cryptotermes brevis* por 45 dias. A madeira

de *Goupia glabra* foi a mais resistente ao apresentar desgaste superficial com 90,4% de taxa de mortalidade dos cupins e nenhum furo, enquanto a testemunha (*Pinus* sp) obteve dano profundo, 17,5% de cupins mortos e dois furos. Os autores observaram que mesmo nas madeiras que apresentaram taxa de mortalidade de cupins similares, o desgaste na madeira foi significativamente diferente, indicando diversidade de níveis de susceptibilidade entre as espécies.

Oliveira (1997) avaliou o comportamento das espécies *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. tereticornis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. paniculata* e *Corymbia citriodora* frente ao ataque de *Cryptotermes brevis*, concluindo que as madeiras de *E. grandis* e *E. urophylla* foram significativamente mais susceptíveis ao ataque, obtendo 73% e 70% de desgaste, respectivamente, em comparação à testemunha (*Pinus elliottii*). As espécies *C. citriodora*, *E. paniculata* e *E. cloeziana* apresentaram melhor comportamento após o ataque, com desgastes superficiais de 38%, 45% e 48%, enquanto *E. pilularis* e *E. tereticornis* apresentaram desgaste médio de 60% e 63%, respectivamente.

Silva et al. (2004) analisaram a durabilidade natural da madeira de *Eucalyptus grandis* com idades de 10, 14, 20 e 25 anos ao ataque do cupim *Cryptotermes brevis* e observaram que a porcentagem de cupins mortos após 45 dias apresentou taxas de 42%, 48%, 46% e 47% para as respectivas idades. Apesar da alta susceptibilidade da madeira em todas as idades, a madeira com 10 anos foi a mais severamente atacada, em razão da menor porcentagem de extrativos e da maior quantidade de carboidratos, não diferindo estatisticamente da madeira testemunha de *Pinus elliottii*, mas diferindo das madeiras das demais idades.

Silva et al. (2007) obtiveram 32,5% de mortalidade dos cupins *Cryptotermes brevis* quando expostos por 45 dias com a madeira de *Eucalyptus grandis*, não diferindo estatisticamente da testemunha de *Pinus elliottii*, que apresentou 55,4% de mortalidade dos cupins.

3.5. Limitações do uso da madeira de *Eucalyptus* spp.

Para Severo e Tomaselli (2000), Rocha (2000), Jankowsky et al. (2000) e Yang et al. (2005) a presença de elevado gradiente de umidade, grande formação de nós, fortes tensões de crescimento e colapso durante a secagem são características desfavoráveis intrínsecas do gênero *Eucalyptus*. Esses fatores acarretam no aparecimento de defeitos durante o processamento industrial, gerando restrições e insatisfação quanto ao uso do gênero como madeira serrada.

3.5.1. Tensões de Crescimento

As tensões de crescimento são tidas como ações de forças internas de tração e compressão existentes no fuste da madeira verde em folhosas e algumas coníferas. Estas tensões estão em equilíbrio na árvore em pé e têm origem nas camadas cambiais durante a formação e diferenciação de novas células (JACOBS, 1945; LIMA et al. 2000; LIMA et al., 2004).

No processo de deposição e polimerização da lignina na parede secundária há uma expansão ou inchamento transversal da parede celular, que pode causar aumento ou diminuição longitudinal da célula, determinado pela elasticidade natural da madeira e pelo ângulo formado pelas microfibrilas. Caso o ângulo das microfibrilas da camada S₂ seja menor que 40°, ocorrerá encurtamento longitudinal da célula e, se maior que 40°, ocorrerá alongamento celular. Sendo os ângulos fibrilares relativamente pequenos, é esperado um encurtamento longitudinal e inchamento tangencial das células, o que provoca a consequente contração das paredes celulares, processo este que é dificultado pelas células vizinhas, já diferenciadas. Com a restrição deste decréscimo em comprimento imposta pelo tecido maduro, as células em crescimento ficam em estresse de tração longitudinal, enquanto que nos tecidos próximos à medula originam-se estresses de compressão, já que a formação das sucessivas camadas comprimem crescentemente o tecido mais central, definindo assim o equilíbrio das forças internas no fuste (BOYD, 1972; YANG et al., 2002; YANG et al., 2005).

Segundo García (1995), Calonego e Severo (2005), Yang et al. (2005) e Yang et al. (2002) as tensões de crescimento afetam sobremaneira o rendimento da madeira, pois, no momento ou logo após a derrubada das árvores e durante o desdobro das toras há a liberação e redistribuição dessas tensões, resultando no aparecimento de rachaduras no topo das toras e de empenamentos e rachaduras das tábuas destas obtidas.

Métodos de desdobro (ACOSTA, 1999; PONCE, 1995; ROCHA, 2000; ROCHA; TOMASELLI, 2001), anelamento (AGUIAR; JANKWOSKY, 1986; MATOS et al., 2003; ROZAS MELLADO, 1993; ROZAS MELLADO; TOMASELLI, 1993), uso de herbicidas na árvore em pé (MATOS et al., 2003;), aplicação de selantes (JARA et al., 1997; MATOS et al., 2003) e tratamentos térmicos como a vaporização (CALONEGO; SEVERO, 2005; CALONEGO et al., 2006; TEJADA et al., 1997; SEVERO; TOMASELLI, 2000a; SEVERO, 2000; YILGOR et al., 2001) podem amenizar os problemas relativos às tensões de crescimento na madeira.

3.5.2. Permeabilidade de madeira

Outro aspecto que limita o uso da madeira de eucalipto é a sua baixa permeabilidade, que é baseada na dificuldade da passagem de fluidos através do material. Segundo Angyalossy-Alfonso (1987) e Silva (2007) a presença de tiloses nos vasos e o tamanho reduzido da abertura das pontoações são fatores que caracterizam a madeira de *Eucalyptus* spp como impermeável. Silva (2007) reportou que os vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* são em sua maioria completamente obstruídos por tilas.

Calonego e Severo (2007), Galvão e Jankwosky (1985), Jankowsky et al. (2000) e Severo (2000) salientam que a baixa permeabilidade da madeira de eucalipto resulta em acentuado gradiente de umidade e taxa de secagem não constante, o que gera tensões de secagem que se manifestam como defeitos no material. Por isso, o processo de secagem necessita ser lento e complexo, pois o procedimento deverá ser iniciado com altas umidades relativas e baixas temperaturas, as quais serão progressivamente alteradas de acordo com a saída de água da madeira.

3.6. Degradação térmica da madeira

Os componentes químicos da parede celular são modificados por meio da degradação térmica, alterando as propriedades da madeira (BOWYER et al. 2003; BHUÍYAN et al., 2000; FIGUEROA; MORAES, 2009; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; SEVERO; TOMASELLI, 2000b; STAMM, 1956; VARGA; van DER ZEE, 2008).

Durante tratamentos térmicos ocorre a pirólise e a madeira irá aquecer-se frente à fonte de calor por meio de processos de convecção e irradiação, culminando na formação de isotermas a partir da superfície exposta ao calor, que vão avançando para o interior do material até que a peça entre em equilíbrio térmico com o meio. A isoterma T_0 (temperatura ambiente) que correspondente às temperaturas até 200°C, é denominada zona A e é nessa fase que ocorre a evolução de vapor de água (secagem da madeira), com traços de gás carbônico, ácido acético e fórmico (voláteis) -este último em menor proporção- por meio de reações endotérmicas de pirólise, sendo que a água atuará como importante agente no processo de condutibilidade térmica no material. Mantido o aquecimento, a temperatura da superfície da madeira se eleva até 280°C, surgindo a zona B que é caracterizada por um pirólise suave, fazendo com que a isoterma inicial (até 200°C) desloque-se mais para o interior da madeira. Na zona B ocorre liberação de vapor, dióxido de carbono, ácidos orgânicos e em menores proporções de monóxido de carbono, produtos decorrentes de reações endotérmicas, com perda na ordem de 12% do peso inicial do material. A partir de 280°C até 500°C, há formação de nova isoterma, chamada zona C, havendo o deslocamento das isotermas anteriores para o interior da peça de madeira e o início do saldo de reações exotérmicas (oxidativas), resultando na formação de carvão vegetal. Posteriormente, na zona D (acima de 500°C) ocorre a queima dos gases formados nas outras fases, resultando no início da ignição da madeira. Entretanto, a partir de temperaturas em torno de 50°C já começam a ocorrer mudanças físico-químicas nos constituintes da madeira, sendo que cada componente possui estabilidade térmica diferenciada em função de suas características (FIGUEROA; MORAES, 2009; LEPAGE, 1986).

As hemiceluloses, por apresentarem natureza não cristalina, estrutura heterogênea, baixo peso molecular em relação aos outros polímeros e alta higroscopicidade

são os componentes mais instáveis termicamente e os mais facilmente hidrolisáveis da madeira. Em temperaturas próximas a 55°C já se inicia o amolecimento do polímero e em temperaturas próximas a 100°C o teor de hemiceluloses começa a diminuir gradativamente. A estrutura aromática e complexa da lignina, entretanto, permite ao componente maior estabilidade térmica que os carboidratos que compõem a madeira, sendo degradada em temperaturas entre 250° e 500°C. Já a celulose é despolimerizada em temperaturas entre 200° até 280°C, aproximadamente (ESTEVES; PEREIRA, 2009; FENGEL; WEGENER, 1984; FIGUEROA; MORAES, 2009; LEPAGE, 1986; WINDEINSEN et al. 2007). Para Klock et al. (2005) a transição vítrea é a temperatura na qual um polímero amorfo se torna plástico. Os últimos autores salientam que para lignina esta temperatura varia entre 135-190°C, sendo que o teor de umidade da madeira influencia diretamente na diminuição desta temperatura. Quirino e Vale (2002) ressaltam que a temperatura de transição vítrea (ou plasticização) da lignina na madeira verde de *E. grandis* é em torno de 82°C.

A degradação térmica, assim, apresenta comportamento diferenciado conforme o meio de aquecimento e as características da madeira utilizada. Segundo Forest Products Laboratory (1999), Boonstra et al. (2007), Esteves et al. (2007), Hill (2006), Stamm (1956) e Sundqvist et al. (2006) essa degradação depende de alguns fatores, tais como o teor de umidade, dimensão das peças, espécie, temperatura de aquecimento e tempo de exposição, atmosfera do tratamento e o fato deste ocorrer em sistemas abertos ou fechados. Segundo Hill (2006), a presença de alta umidade na madeira afeta não só a química da degradação térmica, assim como aumenta a transferência interna de calor no material durante a aplicação da temperatura.

Para Stamm (1956), a degradação térmica é extremamente brusca em sistemas fechados quando na presença de ar e vapor em comparação aos processos de secagem convencional da madeira, sendo até mais intensa que a degradação através somente de pirólise. Isso ocorre porque há a degradação da madeira também por hidrólise ácida, na qual a quebra dos grupos acetilas (desacetilação) das hemiceluloses levam à formação de ácido acético (pentoses) e fórmico (hexoses), grandes responsáveis pela catalisação da quebra dos polímeros da parede celular (ESTEVES; PEREIRA, 2009; FENGEL; WEGENER, 1984; STAMM, 1956). Por sua vez, essa degradação torna-se apreciável mesmo em temperaturas abaixo de 100°C, dependendo da concentração de ácidos (FENGEL; WEGENER, 1984).

Lepage (1986) ressalta que as folhosas são termodegradadas mais facilmente que as coníferas por diversos motivos: (1) o componente hemicelulósico majoritário nas folhosas são as xilanas, as quais são mais facilmente hidrolisadas em meio ácido, e, nas coníferas as hemiceluloses são constituídas em sua maioria por hexoses, as quais possuem ligações mais dificilmente quebradas por ácidos; (2) as folhosas possuem maior quantidade de grupos acetilas nas hemiceluloses do que as coníferas; e (3) as coníferas possuem menor teor de hemiceluloses que as folhosas.

Fengel (1966) apud Beall (1969) salientam que a degradação das hemiceluloses ocorre em dois estágios: (a) fragmentação em componentes solúveis em água, seguido por (b) despolimerização ou decomposição dos componentes formados e volatilização, ou até mesmo uma rápida degradação, resultando em volatilização sem a formação dos açúcares simples.

Para Hill (2006) e Lepage (1986) as hemiceluloses são decompostas primeiramente em açúcares simples na forma de monossacarídeos e oligossacarídeos, resultando na formação de compostos voláteis, na maioria ácidos. Posteriormente, em condição de alta concentração ácida e temperatura são formados monômeros.

De tal modo, a ruptura das unidades de pentoses e hexoses leva à formação, respectivamente, dos monômeros furfural e 5-hidroxi metilfurfural, os quais podem reagir com a lignina e formar produtos insolúveis em água. Também processos que envolvam altas temperaturas e períodos prolongados levam à hidrolização da lignina, resultando na formação de compostos fenólicos (HOMAN et al. 2000; PULS et al., 1985).

3.7. Vaporização em madeiras

A vaporização é a técnica de aquecimento da madeira em vapor saturado, a qual é justificada por várias razões. Dentre elas destacam-se: o escurecimento de algumas espécies, o aumento da estabilidade dimensional e da permeabilidade, esterilização e amolecimento da madeira, liberação das tensões de crescimento e de secagem, recuperação do colapso e reduções do gradiente de umidade e do tempo de secagem (CALONEGO et al, 2005; CALONEGO; SEVERO, 2007; SEVERO, 2000; SEVERO, 2004; SEVERO;

TOMASELLI, 2000; SEVERO; TOMASELLI, 2000b; SEVERO; TOMASELLI, 2001; SIMPSON 1975; SIMPSON, 1976).

Segundo Calonego et al. (2010a), Severo, 1998, Nogi et al. (2003), Forest Products Laboratory (1999), Skolmen (1967) e Tejada et al. (1997) um dos mecanismos mais eficientes de relaxamento das tensões de crescimento residuais em madeiras é relacionado à plasticização (transição vítrea) da lignina que ocorre durante a vaporização.

Tejada et al. (1997) estudando o efeito da aplicação de calor na liberação de tensões de crescimento em *Cryptomeria japonica* D Don verificaram que o tratamento de aplicação de ar aquecido e alta umidade durante 70 horas desencadeou um relaxamento das tensões da madeira, sendo que a redução destas pode ser eficaz em até 100%. A Figura 1 apresenta a redução da curva de liberação das tensões devido ao tratamento em *Cryptomeria japonica* com diâmetro de 29 cm.

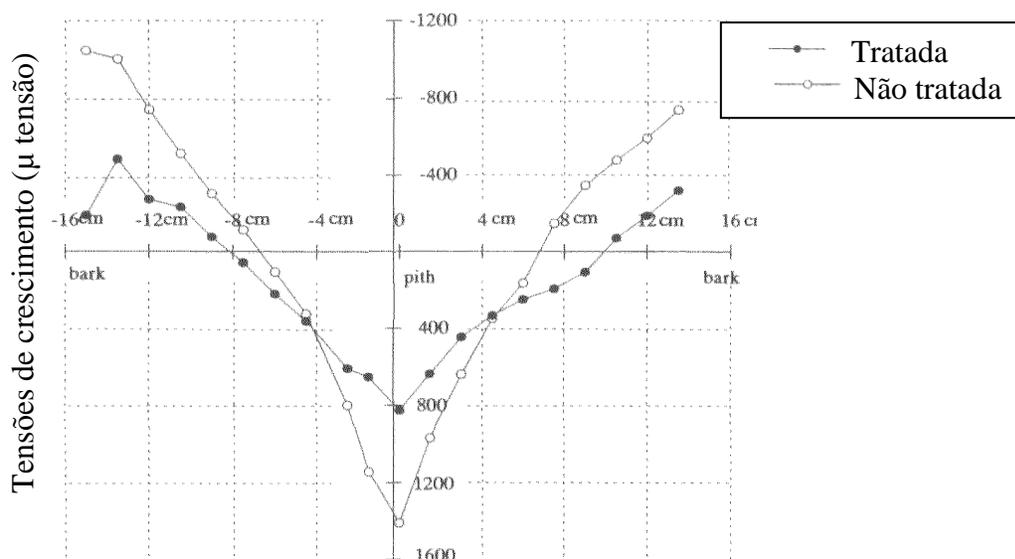


Figura 1. Distribuição da liberação das tensões de crescimento radialmente em *Cryptomeria japonica* D. Don, adaptado de Tejada et al., 1997

Após um tratamento de 24 horas em água quente, Skolmen (1967) obteve reduções da ordem de 50% das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus saligna* com diâmetro de 15-20 cm.

Para Calonego e Severo (2004), Severo (2004), Severo (1998), Severo e Tomaselli (2000) e Calonego e Severo (2006) o tratamento térmico de vaporização

demonstrou ser uma técnica viável para melhorar a qualidade do desdobro e da secagem da madeira de *Eucalyptus* spp. Severo e Tomaselli (2000) observaram que a vaporização de toras de *Eucalyptus dunnii* a 100°C por 20 horas gerou uma redução significativa aproximada de 50% no comprimento e largura das rachaduras durante o desdobro e de cerca de 40% na aberturas das tábuas em relação às toras controle.

Calonego e Severo (2005) submeteram toras *Eucalyptus grandis* com 30 anos de idade ao tratamento de vaporização à 90°C por 20 horas. Observaram que tal técnica promoveu redução significativa na aberturas nas tábuas em relação ao bloco, comprimento e largura das rachaduras da ordem de 18,9%, 36,4% e 49,7%, respectivamente.

Calonego e Severo (2004) verificaram reduções significativas de 27,7% e 43,4% para o comprimento das rachaduras e 23,1% e 59,7% para encanoamento em toras de 25 a <30cm e 20 a <25 cm de diâmetro, respectivamente, quando a madeira controle de *Eucalyptus grandis* foi comparada à vaporizada por 20 horas a 90°C.

Os decréscimos entre a madeira controle e a vaporizada por 20 horas a 90°C foram significativos na largura e no comprimento das rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis* de 20<25 cm de diâmetro, com redução média de 49,2% e 39,2%, respectivamente (SEVERO et al. 2010).

Rozas Mellado e Tomaselli (1993) ao estudarem toras de *Eucalyptus viminalis* vaporizadas à temperatura de 80°C por períodos de 18, 24 e 48 horas verificaram que após a secagem, 72% das tábuas eram utilizáveis e recomendaram programa de secagem para a espécie considerando uma vaporização inicial para facilitar a secagem, uma vaporização intermediária para recuperação do colapso e uma final para redução do gradiente de umidade.

Para Calonego e Severo (2005), Calonego et al. (2006) e Severo (2000) a pré-vaporização soluciona o problema do emprego de programas de secagem caracterizados como suaves para espécies do gênero *Eucalyptus* que aumentam o tempo de secagem e oneram o processo produtivo.

A melhora da permeabilidade em madeira vaporizada preliminarmente à secagem, ou seja, pré-vaporizada, é consequência da hidrolização parcial e desaspiração das membranas de pontoação, além de modificações na estrutura e organização de componentes, como no caso de extrativos hidrossolúveis presentes principalmente no cerne da madeira. O resultado é a melhora na aplicação de tratamentos preservativos, maior difusão

da umidade e diminuição de defeitos e do tempo de secagem (ALEXIOU et al., 1990; SEVERO, 1998; SEVERO, 2000; SEVERO, 2004; SEVERO; TOMASELLI, 2001).

Chen (1975) obteve cerca de 130% de aumento na permeabilidade longitudinal do cerne de *Juglans nigra* após tratamento de pré-vaporização a 100°C por quatro horas, enquanto que a permeabilidade do alburno não foi alterada.

Harris et al. (1989) relataram aumento da taxa de secagem inicial, maior homogeneização da umidade através da espessura e redução de 10% na umidade inicial na madeira de *Quercus* spp após pré-vaporização durante quatro horas a 100°C.

Severo e Tomaselli (2001) estudando *Eucalyptus dunnii* com 16 anos de idade de duas procedências, Urbenville e Dorrigo, obtiveram redução significativa no teor de umidade inicial através da pré-vaporização por três horas, sendo que as procedências Urbenville e Dorrigo, respectivamente, apresentaram teor de umidade inicial médio de 83,8% e 86,3% para os corpos de prova controle e de 73,6% e 76,1% para os corpos de prova pré-vaporizados. A densidade básica da madeira não sofreu alteração significativa devido ao tratamento para as duas procedências.

Yilgor et al. (2001) utilizaram a pré-vaporização em madeira serrada de *Fagus orientalis* a 80°C por 20 a 100 horas e também não observaram diferenças significativas na densidade básica. Um aumento pequeno, mas significativo de 0,25% e 0,70% nas contrações radial e tangencial na madeira vaporizada foi constatado pelos autores devido ao aumento da permeabilidade, gerando maior difusão da água na madeira.

Uma redução efetiva de 80% na variação do gradiente de umidade foi observada por Avramidis e Oliveira (1993) através de vaporização de madeira de “hem-fir” (grupo de coníferas) a 100°C por cinco a 20 horas, sendo que o maior tempo resultou em produtos com melhor estabilidade dimensional. O tratamento de vaporização foi sugerido pelos autores para agregar valor em peças a serem remanufaturadas quando a uniformidade através da espessura é necessária.

Severo (2004) utilizando a pré-vaporização por três horas a 94°C em madeira de *E. grandis*, reportou que o tratamento reduziu significativamente o teor de umidade inicial da madeira e o gradiente de umidade em 10,7% e em até 23%, respectivamente. Também houve aumento da taxa de secagem em até 8% e melhorar a qualidade da madeira serrada em relação aos defeitos de secagem.

Alexiou et al. (1990) obtiveram redução da taxa de secagem de 7% a 16% depois de pré-vaporização a 100°C durante três horas após uma hora de aquecimento inicial em madeira de *E. pilularis* como consequência de uma realocação e remoção parcial dos extrativos presentes solúveis em água.

A aplicação conjunta de vaporização em toras e pré-vaporização em madeira serrada acentua a qualidade obtida no produto final quando comparado ao material somente vaporizado em toras. A vaporização em toras por 20 horas seguida de pré-vaporização por três horas após uma hora de aquecimento inicial em madeira de *Eucalyptus grandis* promoveu redução média significativa de 38,8% quanto às rachaduras e de 13,7% quanto ao arqueamento das tábuas durante a secagem em relação ao material vaporizado somente em toras (CALONEGO et al., 2006).

3.8. Efeito da vaporização nas propriedades da madeira

3.8.1. Efeito da vaporização nas propriedades químicas da madeira

Durante a vaporização, a ruptura dos grupos acetilas das hemiceluloses levam à formação de ácidos carbônicos, principalmente do ácido acético, que degradará bruscamente a madeira (FENGEL; WEGENER, 1984; LEPAGE, 1986; STAMM, 1956).

Sundqvist et al. (2006) relataram a formação de ácidos acético e fórmico como resultado das quebras hidrolíticas em aquecimento da madeira de *Betula pubescens* a 160-200°C por quatro horas em atmosfera inerte com vapor, sendo que o aumento na concentração de ácidos ocorre de acordo com o aumento do tempo e temperatura do tratamento. A formação do ácido acético ocorreu devido à degradação de grupos acetilas de hemiceluloses glucouranoxilanas e a degradação das hexoses levou à formação de ácido fórmico. Após o tratamento, o pH era de 3,0; a perda de massa em torno de 30% em relação ao peso seco da madeira controle.

Após tratamento de 120°C a 180°C por um total de nove horas, as madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus saligna* apresentaram perdas de

massa significativas de 2,8 a 8,7% e 2,6 a 9,6%, respectivamente. Houve redução significativa nos teores de arabinose, manose, galactose e xilose, que compõem as hemiceluloses, sendo que a madeira de conífera tratada apresentou degradação de 32% da soma desses componentes, enquanto que na folhosa a perda foi de 39%. O teor de lignina Klason, no entanto, apresentou aumento significativo para ambas as espécies, apresentando 23,6% para madeira controle, 29,7% para madeira tratada de pinus e para madeira de eucalipto os teores foram de 27,1% e 32,8%, respectivamente (BRITO et al., 2008).

Puls et al. (1985) ao vaporizarem cavacos de madeira de *Betula papyrifera* a 170-210°C durante 10 minutos, verificaram que as hemiceluloses estavam em sua maioria na forma de monômeros simples e a celulose, no entanto, permaneceu insolúvel nas fibras com um menor grau de polimerização.

Campbell e Taylor (1933) pré-vaporizaram madeira serrada de *Fagus sylvatica* durante quatro horas a 1,36 atm de pressão e temperatura de 109°C. A madeira controle e a vaporizada apresentaram 16% e 17% de solubilidade em NaOH 1%; 1,79% e 2,07% de solubilidade em água quente; 63% e 55% de teor de celulose e 22% e 23% de teor de lignina, respectivamente. Os autores afirmaram que parte dos açúcares, principalmente pentosanas, foi decomposto em produtos voláteis, aumentando então a solubilidade da madeira e proporcionalmente o teor de lignina.

Na Tabela 3 são apresentados valores obtidos por Yilgor et al. (2001) ao estudarem madeira serrada de *Fagus orientalis* pré-vaporizada a 80°C durante 20 e 100 horas.

Tabela 3. Valores médios de análises químicas (%) para madeira de *Fagus orientalis* tratada com vaporização.

Análises químicas	Tratamentos		
	Controle	Vaporizada por 20 horas	Vaporizada por 100 horas
Teor de Lignina Klason, %	22,97	23,88	23,90
Teor de Lignina solúvel, %	4,22	4,07	3,93
Teor de Holocelulose, %	85,9	86,18	86,58
pH	4,73	5,39	5,28
Solubilidade em água quente, %	0,57	1,15	2,21
Solubilidade em NaOH 1%	13,82	14,98	16,15
Solubilidade em etanol, %	0,29	0,30	0,53
Densidade básica (g/cm ³)	0,638	0,620	0,625

O aumento de 3,96% no teor de lignina Klason e decréscimo de 3,55% no teor de lignina solúvel em ácido na madeira vaporizada por 20 horas em relação à madeira controle (TABELA 3) foi resultado de uma possível reação de condensação da lignina, gerando produtos insolúveis em ácido. Os autores ressaltaram que o aumento da solubilidade da madeira é devido à dissolução e degradação de componentes facilmente hidrolisáveis, além de maior promoção de acesso dos solventes à parede celular. O aumento do pH foi causado pela remoção de ácidos orgânicos no material.

Chen e Workman (1980) reportaram que a pré-vaporização por 2 a 16 horas em temperaturas de 100°C e 120°C em *Juglans nigra* modificou significativamente o pH da madeira apenas na condição mais severa (120°C por 16 horas), na qual a madeira controle apresentou pH 4,2, enquanto a madeira tratada obteve pH 3,9. Para os autores, o decréscimo médio de 9% no teor de extrativos foi devido à dissolução seguida da lixiviação de componentes hidrossolúveis na madeira tratada; o aumento médio de 11% na solubilidade em álcool-benzeno foi devido ao aumento de permeabilidade da madeira tratada, que promoveu maior eficiência do solvente.

No entanto, Ishiguri et al. (2003) observaram quase nenhuma diferença química entre a madeira controle de *Cryptomeria japonica* e a tratada por 10 a 70 horas a 100°C em condição úmida. O decréscimo de holocelulose foi de apenas 1,56% na madeira exposta durante 70 horas, sendo que a temperatura no interior das toras era de aproximadamente 80°C.

Ishiguri et al. (2005) também reportaram quase nenhuma mudança química quando madeiras de coníferas foram tratadas em toras por 100 horas em condição úmida. Porém, o material tratado por 200 horas apresentou decréscimo significativo médio de 5% no teor de holocelulose, o que foi devido à decomposição das hemiceluloses. Os autores também observaram aumentos no teor de celulose na ordem de até 10%. Ishiguri et al. (2005), Esteves e Pereira (2009) e Bhyuian et al. (2000) salientam que tratamentos térmicos em condições de vapor aumentam o grau de cristalinidade da celulose devido à degradação das regiões amorfas do polímero. Bhyuian et al. (2000) também relatam a capacidade de cristalização de xilanas e mananas durante tratamentos térmicos, fato que aumenta a espessura da região cristalina do polímero de celulose.

Todavia, Beall (1969) citaram que em um tratamento térmico de 150-180°C o teor de hemiceluloses se manteve constante e igual ao da madeira controle. Isso ocorreu devido à fragmentação da parte amorfa da celulose em hexoses (glucoses), que apareceram como parte da fração hemiceluloses e encobriu o real teor de componente.

Bhuiyan et al. (2001) ressaltam que tratamento térmicos intermitentes não atingem os mesmo resultados quando comparados aos tratamentos contínuos. Pois, nos primeiros há interrupção temporária nas reações térmicas devido ao fornecimento insuficiente de energia, não atingindo assim o mesmo efeito de um tratamento contínuo.

3.8.2. Efeito da vaporização na resistência natural a fungos xilófagos

Šušteršič et al. (2009) , Hakkou et al. (2006) e Boonstra et al. (2007) afirmam que as modificações químicas nas paredes celulares através de tratamentos térmicos a determinadas temperaturas, geralmente acima de 150°C, são efetivas na alteração da durabilidade natural da madeira ao ataque de agentes xilófagos.

Madeira de *Cryptomeria japonica* seca ao ar e vaporizada por 24 horas a 105°, 135° e 150°C foi exposta ao fungo causador da podridão parda, *Fomitopsis palustris*, por oito semanas e apresentou perda de massa de 27%, 25% e 10%, respectivamente. O tratamento a 150°C foi o único significativamente diferente da madeira controle, a qual apresentou 31% de perda de massa. A fim de verificar se o tempo de

exposição ao tratamento interfere na resistência de exposição ao fungo, o tratamento a 135°C foi realizado por 5 a 72 horas, o qual apresentou perda de massa significativamente diferente para os diferentes períodos, com 33% e 16%, respectivamente, garantindo que o tempo de duração do tratamento foi eficaz e influenciou no aumento da resistência natural da madeira ao fungo. Os autores concluíram que há uma relação linear de diminuição da perda de massa da madeira exposta a fungos com o aumento do tempo de vaporização (MOMOHARA et al., 2003).

Porém, Mazela et al. (2003) reportaram que os elementos resultantes da hidrolização das hemiceluloses são produtos prontamente disponíveis para o ataque de fungos. E, acima de 200°C os produtos da decomposição destes compostos formam substâncias tóxicas como o furfural, afetando a resistência da madeira aos agentes xilófagos.

De acordo com Doi et al. (2005) e Puls et al. (1985) a madeira vaporizada pode se tornar mais susceptível ao ataque de fungos por diversos motivos: (1) ocorrer a desintegração química de certos componentes, como as xiloses, que podem vir a serem prontamente aproveitáveis pelos fungos; (2) haver uma diminuição no pH, que cria condição propícia ao desenvolvimento micelial e (3) a lixiviação de componentes tóxicos, ou seja, dos extrativos presentes no cerne, favorecendo a biodeterioração da madeira através de hidrólises enzimáticas.

Doi et al (2005) aplicaram pré-vaporização por oito horas a 95°C e secagem a alta temperatura a 120° e 130°C em madeira de *Larix leptolepis* com idade de 40 anos e analisaram sua susceptibilidade ao fungo *Fomitopsis palustris* durante 90 dias. Os resultados mostraram não haver diferença significativa entre a perda de massa da madeira controle e do material seco a 130°C que foram da ordem de 5,0% e 10,0% e que o material seco a 120°C apresentou perda de massa significativamente maior e da ordem de 14,0%. Para os autores, as hemiceluloses foram largamente degradadas em temperatura de 120°C, resultando na geração de açúcares de baixo peso molecular, que são altamente atrativos para fungos. Em temperaturas superiores, esses compostos podem ser reticulados com a lignina, tornando-se indisponíveis para utilização pelos fungos.

3.8.3. Efeito da vaporização na resistência natural a cupins

Doi e Kurimoto (2004) e Doi et al. (1998) afirmam que a madeira quando vaporizada deve ser tratada com preservativos para sua utilização final. Pois, o tratamento de vaporização causa a diminuição de substâncias antagônicas (classes de extrativos) e/ou surgimento de compostos estimulantes ao ataque de cupins, não ocorrendo o mesmo com a madeira que passa simplesmente pelo processo de secagem convencional.

O mesmo foi constatado por Ohmura et al. (2000) e Ohmura et al. (1999) ao concluírem que a madeira tratada por vaporização implica a degradação ou lixiviação de flavanóides de grande capacidade inseticida contra os térmitas.

Ao expor a madeira de *Cryptomeria japonica* seca ao ar e vaporizada a 105°, 135° e 150°C por 72 horas aos térmitas *Coptotermes formosanus* por oito semanas, Momohara et al. (2003) obtiveram perdas de massa médias de 6%, 10% e 9%, respectivamente. Os tratamentos a 135°C e 150°C foram significativamente diferentes da madeira controle que apresentou perda de massa de 3%. Os autores verificaram aumento significativo no consumo da madeira pelos térmitas de acordo com o aumento da temperatura de tratamento.

Doi et al. (1999) reportaram perda elevada e significativa de massa quando a madeira de *Cryptomeria japonica*, *Pinus densiflora* e *Picea jezoensis* foram tratadas com vapor a 150°C por três horas e expostas ao térmita *Reticulitermes speratus* por 20 dias. A madeira controle e a tratada de *C. japonica* apresentaram perdas de massa de 4,6% e 27,6%; enquanto para *P. densiflora* esses valores foram de 1,5% e 20,6% e para *P. jezoensis* de 17,4% e 53,4%, respectivamente.

A madeira de *Fagus crenata* que passou por extração em água quente foi diferente significativamente do material controle e o vaporizado a 150°C por quatro horas quando expostas ao térmita *R. speratus* por 20 dias. A perda de massa da madeira vaporizada natural foi de 6,7%, enquanto que a madeira vaporizada extraída foi de 38%. A madeira controle não apresentou diferença significativa quando extraída ou não, com perda de massa de 4,2% e 2,6%, respectivamente. O resultado foi justificado pela remoção e/ou modificação dos extrativos da madeira durante o tratamento de vaporização, ou até mesmo a formação de compostos atrativos aos cupins devido à extração em água quente (DOI et al., 1999).

Doi et al. (2005) estudaram a influência da vaporização (95°C) preliminar à secagem em alta temperatura (120° e 130°C) na durabilidade da madeira de *Larix leptolepis* quando exposta às espécies de cupins *Reticulitermes speratus* e *Coptotermes formosanus*. Para ambas as espécies de cupins houve consumo significativamente maior do material seco a altas temperaturas quando comparado à madeira controle, exceto na comparação do material controle com o seco a 130°C para *C. formosanus*. O material seco a 120°C apresentou maior consumo em todos os ensaios, sendo que para *C. formosanus* o consumo deste material foi 40% maior em relação à madeira controle e ao material seco a 130°C. Para os autores, o aparecimento de produtos da degradação hidrotérmica da madeira a 120°C foram estimulantes para a alimentação dos cupins e/ou modificou substâncias que limitavam o ataque dos térmitas.

4. Material e Métodos

4.1. Coleta e preparo do material

Para o presente estudo foi utilizado material proveniente de 16 árvores de *Eucalyptus grandis* com idade de 5,9 anos. As árvores foram selecionadas ao acaso em um reflorestamento de origem seminal da Fazenda Rio Claro, localizada nas posições geográficas de 22°27'S e 48°57'W, no município de Lençóis Paulista/ SP, pertencente à empresa Duratex S.A.

A área da fazenda, com aproximadamente quatro mil ha, apresenta solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo com fase argilosa e plantio com espaçamento de 2,0m x 3,0m, sem operações de desbastes. A média de altitude do local é de 570 m e o clima é classificado como tropical de altitude.

Conforme recomendado por Ponce (1995), selecionou-se material com diâmetro de 20 a 22 cm ao longo da tora, pois, esta amplitude de diâmetro representa boa produtividade quando a madeira de *Eucalyptus* ssp. é empregada na indústria de serrados.

De cada árvore foi retirada uma tora basal, com aproximadamente seis metros de comprimento, as quais foram seccionadas transversalmente na metade com ajuda de motosserra, obtendo-se 32 toras de três metros.

Durante o traçamento foi ainda retirado um disco da parte central de cada uma das 16 toras para determinar-se a massa específica básica média da madeira. No material estudado a referida propriedade física apresentou-se na ordem de $0,451 \text{ g/cm}^3$.

Posteriormente, as toras com três metros de comprimento foram aneladas a 10 cm das extremidades numa profundidade aproximada de $1/3$ do raio da tora, conforme proposto por Rozas Mellado (1993) e Sales (1986). Esse procedimento pode ser observado no esquema simplificado da Figura 2.

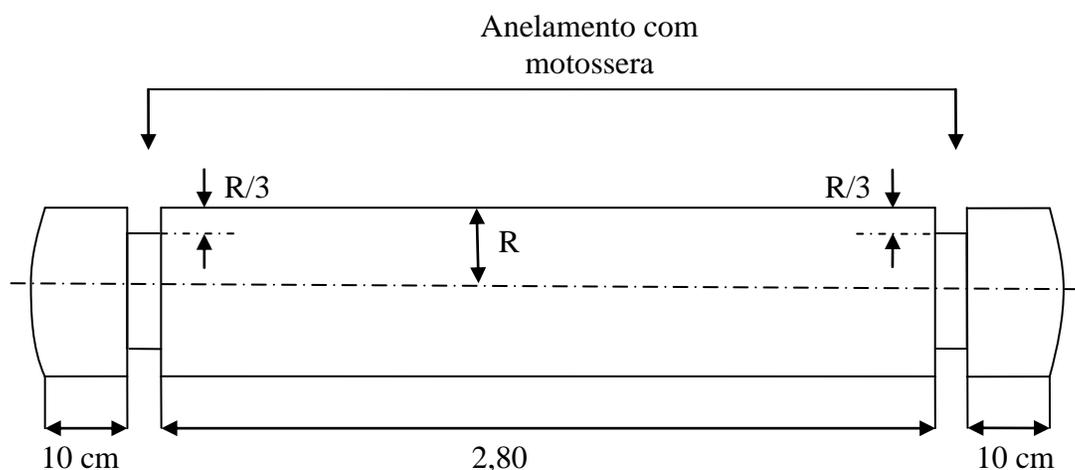


Figura 2. Esquema do procedimento de anelamento de toras com motosserra.

4.1.1. Vaporização das toras

Após o traçamento e o anelamento das toras, a metade do material (16 toras com três metros de comprimento cada) foi submetida ao tratamento de vaporização, sendo que o restante das toras manteve-se no seu estado original (controle).

A estufa piloto de secagem do Laboratório de Secagem e Preservação de Madeiras-FCA/UNESP (FIGURA 3) acoplada a uma caldeira capaz de gerar vapor a 8kgf/cm² de pressão foi utilizada como meio vaporizador.



Figura 3. Aplicação do tratamento de vaporização em toras.

As toras foram vaporizadas nas seguintes condições: 90°C de temperatura e 100% de umidade relativa por 13 horas. Este tempo é suficiente para que o centro das toras atingissem a temperatura de transição vítrea da lignina na madeira verde de *E. grandis*, que é em torno de 82°C (QUIRINO; VALE, 2002). O tempo de vaporização das toras de 20 a 22 cm de diâmetro foi determinado segundo o modelo pressuposto por Steinhagen et al., (1980) e os fatores de correção sugeridos por Calonego e Severo (2006). A determinação do tempo de vaporização de toras pode ser melhor elucidada no Apêndice 1.

4.1.2. Desdobro da madeira

Todas as toras, tanto as vaporizadas quanto as controles, quando frias foram destopadas do anelamento e desdobradas em serraria pertencente ao Instituto Florestal de São Paulo - Seção de Manduri, localizada no município de Manduri-SP.

Durante o processamento, cada tora foi desdobrada de maneira a se obter apenas as tábuas centrais, perfeitamente orientadas e com espessura de 40 mm, conforme o sistema de corte apresentado nas Figuras 4 e 5.

Inicialmente, as toras foram desdobradas em pranchas centrais com 80 mm de espessura em uma serra de fita dupla com as seguintes características: RPM do motor: 1170 rpm; potência do motor: 22Kw; diâmetro dos volantes: 1,10m; largura dos volantes: 11,5 cm; dimensão da polia do motor: 27 cm; dimensão da polia do volante: 38 cm; altura de corte máximo da serra: 35,36 cm; espessura da lâmina da serra: 1,3 mm e largura de corte da serra: 3,2 mm. Posteriormente, as tábuas com 40 mm de espessura foram obtidas através da ressera de fita simples com as seguintes especificações: RPM do motor: 1175 rpm; potência do motor: 18,5 Kw; diâmetro dos volantes: 1,10 m; largura dos volantes: 11,5 cm; dimensão da polia do motor: 27cm; dimensão da polia do volante: 38 cm; espessura da lâmina de serra: 1,2 mm e largura de corte da serra: 3,2 mm.

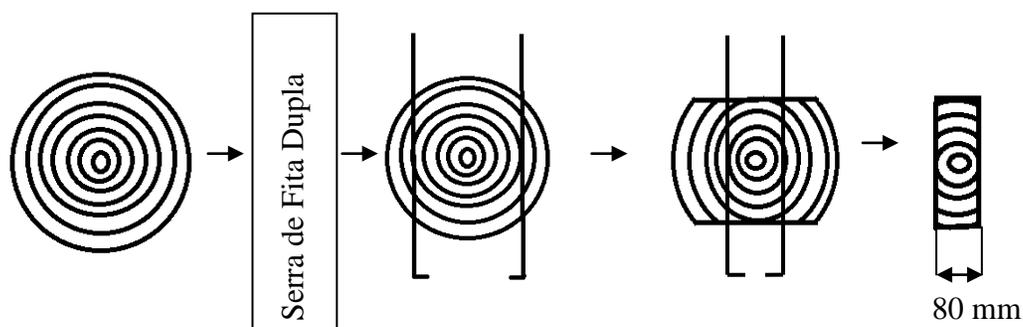


Figura 4. Obtenção dos pranchões centrais com 80 mm de espessura.

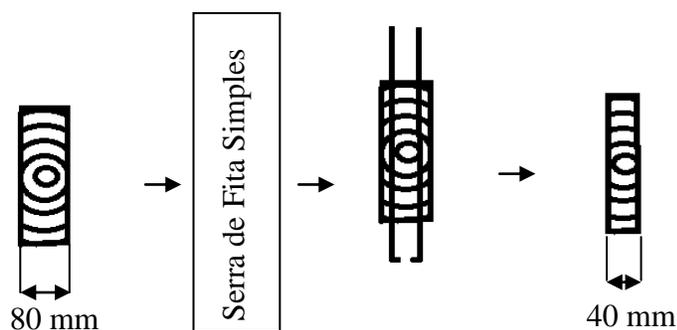


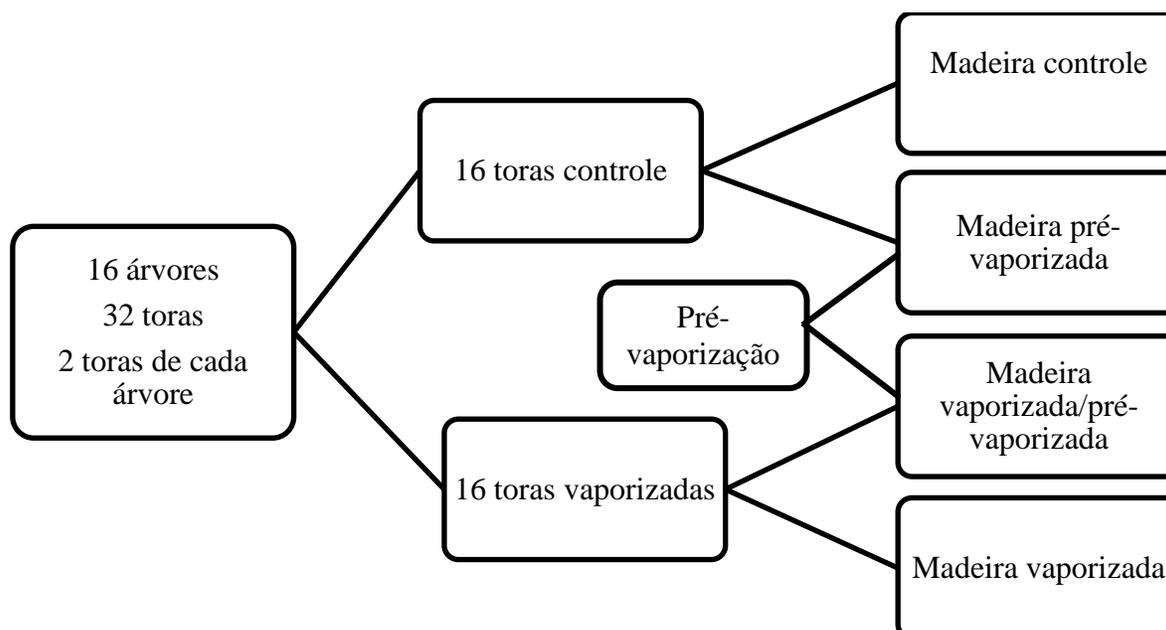
Figura 5. Esquema de cortes na ressera, obtendo-se as tábuas centrais com 40 mm de espessura.

4.1.3. Vaporização preliminar à secagem das tábuas

Posteriormente, todas as tábuas provenientes de toras controle e vaporizadas foram divididas transversalmente ao meio com o intuito de se obter duas amostras pareadas, com aproximadamente 1,40 m de comprimento. Todo esse material teve os topos selados com uma resina sintética. Parte dessas amostras (metade de cada tábua) foi submetida ao tratamento de pré-vaporização na estufa piloto de secagem com vapor saturado a 90°C durante três horas, após uma hora de aquecimento inicial, conforme recomendado por Alexiou et al. (1990), Calonego et al. (2006), Severo (2004), Severo e Tomaselli (2001) e Simpson (1976). As amostras restantes, ou seja, a outra metade das tábuas, tanto de toras controle quanto das vaporizadas, foram mantidas no seu estado original.

O esquema na Tabela 4 resume e identifica os tratamentos realizados na madeira de *E. grandis*.

Tabela 4. Tratamentos realizados em madeira de *Eucalyptus grandis*.



4.2. Secagem da madeira serrada

Todas as tábuas (controle, vaporizadas, pré-vaporizadas e vaporizadas/pré-vaporizadas) foram secas em estufa piloto com capacidade de 2,5 m³, com aquecimento através de resistência elétrica; um sistema de umidificação por vapor a baixa pressão (1 a 2 kgf/cm²); sistema de circulação de ar superior com três ventiladores de três cavalos vapor cada, controlados por inversor de frequência com capacidade de variação de velocidade do ar de 0,5 a 8 m/s e um sistema de ventilação através de chaminés controladas por um sistema de válvulas proporcionais. A caldeira elétrica acoplada à estufa é da marca ETNA com capacidade de geração de vapor de 30 kgf/h e uma pressão máxima de trabalho de 8 kgf/cm². O sistema de gerenciamento do processo de secagem é composto por um microcomputador e um programa específico denominado LIGNOMAT.

O processo de secagem convencional foi realizado através de um programa de secagem com temperatura inicial de 40°C e potencial de secagem próximo a 2,0, conforme mostra a Tabela 5 e também de acordo com recomendações de Andrade (2000) e Santos et al. (2003), a fim de se evitar a formação de rachaduras e colapso no material.

Para o processo de secagem, as tábuas com 40 mm foram empilhadas de modo gradeado sob um carrinho transportador (FIGURA 6) que permite a construção de pilha de tábuas na largura máxima de 1,18 m no interior da estufa.



Figura 6. Empilhamento gradeado para secagem das tábuas centrais com 40 mm de espessura.

Tabela 5. Programa de secagem utilizado para tábuas de *Eucalyptus grandis* com 40 mm de espessura.

Umidade da madeira (%)	Ts (°C)	Tu(°C)	UR(%)	TUE(%)	Ps
Aquecimento	40,0	38,0	88,0	18,4	*
Até 50	40,0	38,0	88,0	18,8	2,5
50	40,0	38,0	88,0	18,8	2,6
45	40,0	38,0	88,0	18,0	2,5
40	40,0	37,5	85,0	17,5	2,2
35	40,0	37,5	85,0	16,7	2,0
30	40,0	36,0	77,0	14,3	2,0
25	51,0	455,0	72,0	11,9	2,1
20	57,0	49,0	62,0	9,5	2,1
15	65,0	52,0	50,0	7,1	2,1
10	65,0	52,0	50,0	7,1	2,1
Uniformização	65,0	58,0	58,0	10,0	*
Condicionamento	65,0	62,0	85,0	14,0	*

Em que: Ts- temperatura do bulbo seco; Tu- temperatura do bulbo úmido; UR- umidade relativa; TUE- teor de umidade de equilíbrio; PS- potencial de secagem.

4.3. Obtenção dos corpos de prova

Após a secagem das tábuas de *Eucalyptus grandis*, todas foram demarcadas a cerca de 40 mm de distância da medula, com o intuito de obterem-se corpos de prova perfeitamente orientados e isentos de medula. Sendo assim, 80 mm de cada tábua contendo a medula foi descartado.

As tábuas foram então subdivididas em corpos de prova na marcenaria da FCA/UNESP de Botucatu/SP. O modelo de extração dos corpos de prova usados nesse estudo é mostrado na Figura 7. Durante esta etapa utilizou-se uma desempenadeira para esquadrear as peças de madeira e uma desgrossadeira para padronizar as dimensões radial e tangencial. Por fim, com serra circular padronizou-se as dimensões longitudinais dos corpos de prova.

Todos os corpos de prova foram devidamente identificados e acondicionados em câmara climática pré-regulada a 21°C e 65% de umidade relativa localizada no Laboratório de Secagem e Preservação de Madeiras da FCA/UNESP em Botucatu-SP.

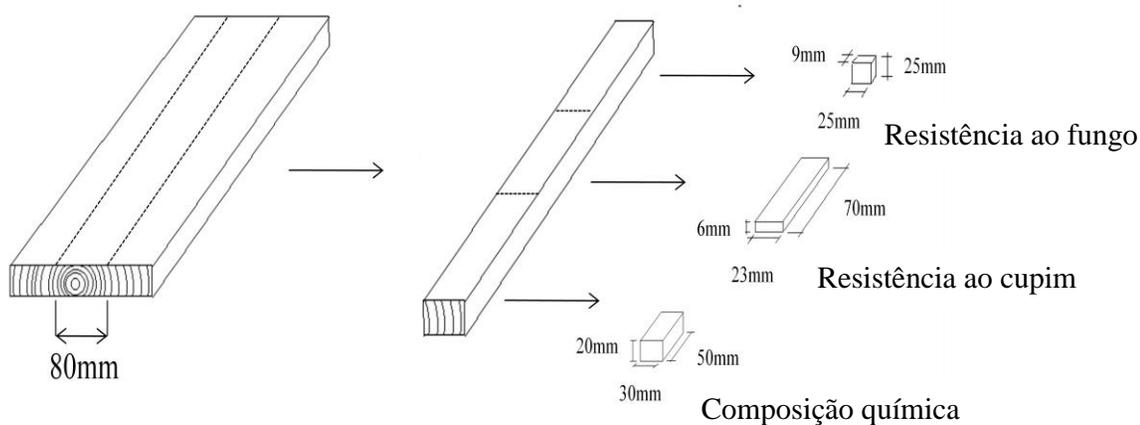


Figura 7. Modelo de extração dos corpos de prova.

4.4. Determinação das propriedades químicas da madeira

Para determinação das propriedades químicas da madeira para os quatro tratamentos, os corpos de prova de 30mm x 20mm x 50mm (ABTN, 1997) previamente identificados foram reduzidos manualmente a palitos com ajuda de uma faca e um martelo, seguindo-se com a obtenção de serragem em macro-moinho Wiley, a qual posteriormente foi classificada em vibrador Produtest para obtenção da fração 40/60 mesh. Foram utilizadas cinco tábuas de cada um dos quatro tratamentos: madeira controle, vaporizada, pré-vaporizada e aquela vaporizada/pré-vaporizada, sendo que todas as análises foram feitas em duplicata (TAPPI, 1999). Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Química da Madeira, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais da FCA/UNESP.

Para as análises químicas seguiu-se o roteiro das normas da Tabela 6. Salienta-se que o teor de hemiceluloses foi obtido por diferença entre o teor de holocelulose e celulose.

Tabela 6. Normas técnicas seguidas para realização das análises químicas.

Análise realizada	Norma Técnica
Solubilidade em NaOH 1%	TAPPI T 4 wd-75 (TAPPI, 1999)
Solubilidade em água quente	TAPPI T 1 wd-75 (TAPPI, 1999)
Teor de Extrativos Totais	TAPPI T 12 wd-82 (TAPPI, 1999)
Teor de Lignina Klason	TAPPI T 222 om-88 (TAPPI, 1999)
Teor de Holocelulose	Deslignificação com clorito
Teor de Celulose	Wright e Wallis, 1998

4.5. Resistência da madeira a fungo xilófago

A metodologia utilizada para este ensaio seguiu as normas estabelecidas pela ASTM D-2017 (1994) e ASTM D-1413 (1994), com algumas modificações.

Os corpos de prova para o ensaio de resistência a fungos, livres de nós e defeitos, foram provenientes de 12 tábuas de cada um dos tratamentos. De cada uma das tábuas, foram retirados três corpos de prova, totalizando 36 unidades de cada tratamento (madeira controle, vaporizada, pré-vaporizada e vaporizada/pré-vaporizada).

Todos os corpos de prova foram lixados e posteriormente secos à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ em estufa elétrica com ventilação forçada até atingirem peso constante.

Posteriormente, todos os corpos de prova foram pesados em balança com precisão de 0,01 g para determinação de sua massa inicial (M1).

O fungo deteriorador *Pycnoporus sanguineus* muito encontrado em reflorestamentos de eucalipto (ALONSO et al., 2007) e utilizado neste ensaio foi coletado em março de 2008 na Fazenda Morro do Ouro, localizada em Agudos-SP e pertencente à empresa Duratex S/A. O fungo foi preservado e mantido em câmara escura pré-regulada a 26°C através de repicagem em placas de Petri contendo meio de cultura composto por batata-dextrose-agar.

Para a realização do teste foi montado um sistema no qual 48 frascos de vidro com capacidade de 725 mL com tampas rosqueáveis receberam solo argiloso, uma lâmina do alburno com maior proporção de lenho juvenil de *Pinus* sp, chamada de alimentador, com dimensões de 0,3 cm x 5,0 cm x 5,0 cm e água, inseridos nesta mesma ordem e como descrito na norma ASTM D-2017 (1994).

O substrato para o ensaio foi o solo argiloso coletado na Fazenda Experimental Edgárdia, pertencente à FCA-UNESP de Botucatu-SP, o qual pertence à classe Latossolo roxo com textura argilosa e capacidade de retenção de água de 29%.

A análise do solo coletado foi realizada no Laboratório de Física do Solo da FCA-UNESP de Botucatu-SP, procedendo-se então com a correção do pH através da adição de calcário dolomítico com PRNT=96% na proporção de 1,9 ton/m³ de solo. Após a reação do calcário com o solo e a adequada correção do pH, o solo foi peneirado em peneira de 4 mm de abertura para eliminação de impurezas e torrões que vieram a se formar.

A equação (1) determina a quantidade de água adicionada em cada um dos frascos.

$$Q_{H_2O} = [1,30 * (A - B)] * [M_{SOLO}/(100 + B)] \quad (1)$$

Sendo:

Q_{H_2O} - quantidade de água adicionada em cada frasco; g

A- capacidade de retenção de água no solo, %

B- teor de umidade do solo seco, %

M_{SOLO} - massa de solo seco ao ar adicionado em cada frasco, g.

Sendo assim, em cada frasco foram adicionados 300 g de solo e 90 mL de água destilada, já que o teor de umidade encontrado no solo estocado foi de 5%, mais a lâmina da madeira de *Pinus* sp ou alimentador, que atuou como fonte e substrato para crescimento e desenvolvimento do fungo.

Posteriormente, todos os frascos foram esterilizados em autoclave a $121 \pm 1^\circ\text{C}$ com pressão de uma atmosfera durante uma hora com o objetivo de evitar a proliferação de contaminantes.

Após o resfriamento, cada alimentador recebeu dois inóculos da cultura do fungo *Pycnoporus sanguineus* em câmara de fluxo laminar com condições assépticas. Os frascos foram então incubados em B.O.D. pré-regulada a $26,7 \pm 1^\circ\text{C}$ e $70 \pm 4\%$ de umidade relativa (ASTM D-2017, 1994) sendo que após um mês, a placa do alimentador estava completamente colonizada pelo fungo. Logo após, os corpos de prova com $25 \times 25 \times 9$ mm (FIGURA 7) em número de três por tratamento, previamente identificados e esterilizados, foram depositados assepticamente em cada frasco sobre o alimentador colonizado.

Os frascos foram então reconduzidos à B.O.D., onde permaneceram pelo período de 12 semanas, conforme sugerido pela norma ASTM D-1413 (1994), finalizando o período de incubação. Os frascos apresentaram aspecto mostrado na Figura 8.



Figura 8. Início do ensaio (inoculação do fungo sobre o alimentador) e após 12 semanas de incubação com o fungo *Pycnoporus sanguineus* já com os corpos de prova da madeira de *E. grandis*.

Após o período de incubação, os corpos de prova foram então retirados de cada frasco e novamente acondicionados em estufa com ventilação forçada e temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até estes alcançarem massa constante. Posteriormente, os corpos de prova foram pesados em balança com precisão de 0,01g para determinação de sua massa (M_2).

Assim, a avaliação da deterioração do material foi realizada através da avaliação da perda de massa (ASTM D-2017, 1994) aplicada pela equação (2), que representa uma medida de susceptibilidade ou resistência ao apodrecimento pelo fungo *Pycnoporus sanguineus*.

$$PM(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \quad (2)$$

Sendo:

PM- perda de massa dos corpos de prova submetidos aos ensaios de apodrecimento, %

M_1 - massa inicial dos corpos de prova, g

M_2 - massa dos corpos de prova após o fim do ensaio, g.

4.6. Resistência da madeira ao cupim de madeira seca

O ensaio de resistência ao ataque de cupim de madeira seca foi realizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e seguiu o método desenvolvido pelo próprio instituto, denominado "Ensaio Acelerado de Laboratório da Resistência Natural ou de Madeira Preservada ao Ataque de Térmitas do Gênero *Cryptotermes*, da Família Kalotermitidae" (IPT, 1980).

Após o acondicionamento em câmara climática, os corpos de prova com dimensões de 6 x 70 x 23 mm (FIGURA 7) livre de defeitos e sem nós foram selecionados aleatoriamente e acomodados aos pares para compor o ensaio de resistência a cupins.

Oito pares para cada um dos quatro tratamentos (madeira controle, vaporizada, pré-vaporizada e aquela vaporizada/pré-vaporizada) foram montados através de 16 corpos de prova, sendo que cada corpo de prova foi retirado uma tábua de cada tratamento. Adicionalmente, foram montados e colocados sob idênticas condições laboratoriais mais oito pares com corpos de prova da madeira de *Pinus elliottii*, que serviram como testemunha para o ensaio ao garantir a viabilidade do mesmo.

Assim sendo, cada dois corpos de prova foram unidos entre si pelas arestas laterais (lado com 70 mm) com auxílio de fita adesiva. Em seguida, mangas de vidro foram acopladas com ajuda de parafina nas superfícies dos pares de corpos de prova (FIGURA 9), para fazer com que os cupins se concentrassem em determinada área de ataque, facilitando a análise do ensaio.

Os cupins da espécie *Cryptotermes brevis* foram selecionados, contados no número de 39 operários e um soldado e inseridos dentro da manga de vidro em cada um dos pares. Esse sistema foi então conduzido até uma câmara climática que operou com temperatura de $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ e $70\pm 4\%$ de umidade relativa durante 45 dias no escuro.



Figura 9. Condicionamento durante o ensaio e detalhe de um dos pares de corpos de prova da madeira de *E. grandis* após 45 dias de exposição a *Cryptotermes brevis*.

Após os 45 dias, houve a contagem da mortalidade dos cupins e da quantidade de orifícios presentes nos corpos de prova, assim como a avaliação de três pessoas independentes e distintas que por meio de notas de 0 a 4 qualificaram subjetivamente o desgaste ocorrido no material quando comparado à testemunha:

- 0- nenhum desgaste
- 1- desgaste superficial
- 2- desgaste moderado
- 3- desgaste acentuado
- 4- desgaste profundo (o mais semelhante à testemunha).

4.7. Análise estatística

Para as variáveis das propriedades químicas, resistência da madeira ao fungo e porcentagem de cupins mortos foram adotados métodos de análise paramétrica (ANOVA), com delineamento inteiramente casualizado, levando-se em consideração os níveis de vaporização e o uso do teste de Tukey para a comparação de médias. A avaliação do desgaste causado pelos cupins foi analisada através do teste de Kruskal-Wallis (não-paramétrico). O nível de significância adotado em todos os testes foi de 5% de significância.

O Apêndice 2 apresenta as análises estatística realizadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito da vaporização nas propriedades químicas da madeira de *Eucalyptus grandis*

Conforme metodologia citada anteriormente (item 4.4) determinou-se o efeito da vaporização nas propriedades química da madeira de *Eucalyptus grandis*, tais quais o teor de solubilidade em NaOH 1% e em água quente, teor de extrativos totais, lignina Klason, holocelulose, celulose e hemiceluloses.

A análise dos dados obtidos permitiu verificar que os mesmos possuíam distribuição normal (Apêndice 2) e igualdade de variância. A partir disso, foi adotada a análise de variância com delineamentos inteiramente casualizado, levando-se em consideração os tratamentos de vaporização, e o teste de Tukey com 5% de significância para as comparações múltiplas.

5.1.1. Teor de solubilidade em NaOH 1% e em água quente

Pode-se verificar na Tabela 7 que a solubilidade em NaOH 1% da madeira controle de *E. grandis* foi de 9,66%. O resultado é compatível ao encontrado por Marron e Neves (2000) em madeira de *Eucalyptus grandis* com sete anos, a qual apresentou 12,58% de solubilidade. Barrichelo e Brito (1976) encontraram para várias espécies de eucalipto a solubilidade em NaOH 1% variando entre 10,80% e 18,50%, e encontra-se inserido na faixa da presente pesquisa.

Verifica-se também na Tabela 7 que a solubilidade em água quente da madeira controle de *E. grandis* foi de 1,84%. Alguns autores reportaram valores um pouco acima ao da presente pesquisa. Caixeta et al. (2003) encontraram teores de solubilidade em água quente de diversos genótipos de *Eucalyptus* spp. (13 a 17 anos) da ordem de 2,68% até 7,62% e Marron e Neves (2000) verificaram valor de 3,29% em *E. grandis* com sete anos. Guilmo et al. (1993), entretanto, encontraram valor análogo ao da presente pesquisa ao reportarem que a madeira de *Eucalyptus saligna* apresentou 1,82% de solubilidade em água quente.

As variações dos valores da presente pesquisa e os da literatura se devem à diversidade das espécies do gênero *Eucalyptus*, variação da madeira ao longo do fuste, idade, tipos de lenho, condições de crescimento e interação dos fatores genéticos com os ambientais (LEPAGE, 1986; OLIVEIRA et al, 2005b; PANSHIN; ZEEUW,1970; SILVA et al., 2005; TRUGILHO et al., 1996).

Contudo, a influência da vaporização, da pré-vaporização e do uso conjunto da vaporização em toras e em madeira serrada (vaporizada/pré-vaporizada) de *E. grandis* na solubilidade em NaOH 1% e em água quente pode ser constatada na Tabela 7.

Tabela 7. Teores de solubilidade em NaOH1% e em água quente em madeira de *Eucalyptus grandis*.

Tratamento	N	Solubilidade em NaOH1%(%)			Solubilidade em água quente (%)		
		C.V.	Média	Aumento, %	C.V.	Média	Redução, %
Controle	5	7,8	9,66a	-	43,1	1,84a	-
Vaporizado	5	7,1	10,15a	5,07	33,0	1,44a	21,80
Pré-vaporizado	5	9,5	10,04a	3,93	24,9	1,83a	0,50
Vaporizado/pré-vaporizado	5	4,6	10,06a	4,14	50,5	1,46a	20,70

Sendo: N-número de repetições; C.V.- coeficiente de variação, %; Letras iguais- indicam diferença não significativa ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Verifica-se que a vaporização, pré-vaporização e a vaporização conjunta na madeira de *E. grandis* promoveu um aumento de até 5,07% na magnitude da solubilidade em NaOH 1%, embora diferenças estatísticas não tenham sido detectadas entre os tratamentos.

O mesmo comportamento foi constatado por Yilgor et al. (2001) e Ishiguri et al. (2005). Yilgor et al. (2001) ao pré-vaporizarem *Fagus orientalis* por 20 horas concluíram que a solubilidade em NaOH 1% foi acrescida na ordem de 8,40%. Ishiguri et al. (2005) ao tratarem em condição úmida a 75°C madeiras de coníferas por 100 horas encontraram aumento médio de 22,17% no teor de solubilidade em NaOH 1%.

A norma TAPPI (1999) salienta que a solução alcalina é responsável pela extração de carboidratos de baixo peso molecular da madeira. Assim, a maior solubilidade em NaOH 1% encontrada na madeira vaporizada, que é melhor visualizada na Figura 10, apesar de não significativa estatisticamente, indica que a madeira tratada apresentava maior teor de carboidratos de baixo peso molecular em relação à madeira controle.

Vários autores relatam sobre a quebra das hemiceluloses através de hidrólise ácida em condições de alta umidade relativa (FENGEL; WEGENER, 1984; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; STAMM, 1956). A partir disso, possivelmente, na madeira tratada houve a geração de fragmentos susceptíveis de solubilização pela solução alcalina, o que levou ao aumento da solubilidade deste material em relação à madeira controle.

Essa provável degradação de hemiceluloses e de outros componentes hidrolisáveis também pode ter permitido maior acesso das moléculas do solvente (NaOH) a um maior número de locais da parede celular, promovendo aumento de retirada de componentes solúveis (ISHIGURI et al, 2005; YILGOR et al., 2001). Chen e Workman (1980) ressaltam que o tratamento com aplicação de vapor acarreta em maior permeabilidade da madeira, facilitando a ação dos solventes.

O tratamento de vaporização, pré-vaporização e a vaporização conjunta igualmente não promoveram mudanças estatisticamente significativas na madeira de *E. grandis* quanto à solubilidade em água quente (TABELA 7). No entanto, houve decréscimo de até 21,80% na magnitude do teor de solubilidade em água quente na madeira tratada, como é melhor evidenciado na Figura 10.

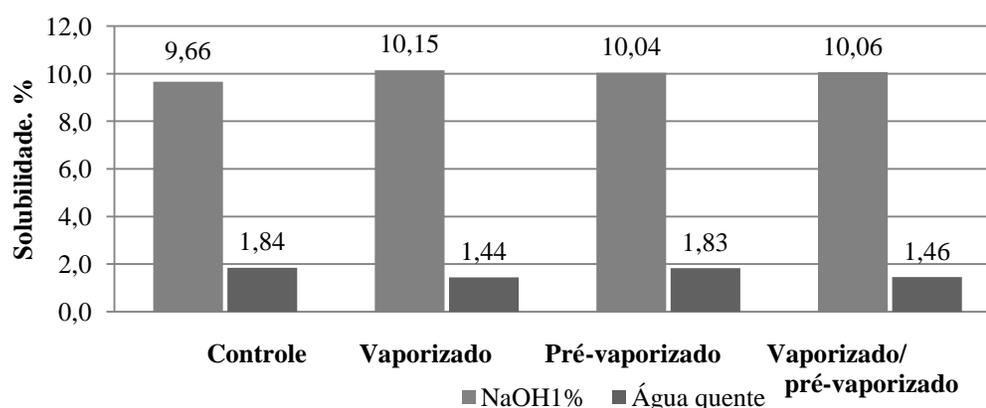


Figura 10. Teor de solubilidade em NaOH 1% e em água quente para madeira de *Eucalyptus grandis* submetida à vaporização.

A norma TAPPI (1999) ressalta que a água quente é capaz de solubilizar e remover alguns componentes inorgânicos da madeira, tais como taninos, gomas e ceras, além de açúcares solúveis em água. De tal modo, na presente pesquisa, a aplicação de vapor pode ter provocado a prévia dissolução e/ou lixiviação de tais componentes, os quais teriam sido extraídos no ensaio com água quente. Essa observação se enquadra ao que foi reportado por Ishiguri et al. (2003) ao citaram decréscimo de 20% na solubilidade em água quente quando a madeira de *Cryptomeria japonica* foi tratada em condição úmida a 100°C por 20 horas. O mesmo também foi observado por Campbell e Taylor (1933) em

Fagus sylvatica após quatro horas de pré-vaporização sob pressão, a qual apresentou decréscimo de 17% na solubilidade em água quente.

No entanto, a literatura revela alguns resultados distintos para o teor de solubilidade da madeira em água quente quando esta foi tratada termicamente ou vaporizada. Ishiguri et al. (2005) relataram aumento de 100%, 133% e 21,05% no teor de solubilidade em água quente quando a madeira tratada (condição úmida a 75°C por 100 horas) foi comparada à controle para as espécies de *Larix kaempferi*, *Chamaecyparis obtusae* *Abies sachaliensis*, respectivamente; enquanto as madeiras de *Cryptomeria japonica*, *Pinus densiflora* e *Picea glehnii* obtiveram decréscimo de 22,23%, 85,71% e 8,33%, respectivamente. Yilgor et al. (2001) também encontraram aumento na solubilidade em água quente na madeira de *Fagus orientalis* pré-vaporizada por 20 horas, sendo este na ordem de 100%.

A distinção nos resultados e a proporção do teor de solubilidade da madeira em água quente se deve às diferenças na composição química das espécies utilizadas (LEPAGE, 1986; STAMM, 1956), assim como à diferenciação das condições e do tempo de tratamento aplicados (ESTEVES et al., 2007; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; MOMOHARA et al., 2003; STAMM, 1956; STEINHAGEN et al., 1980; SUNDVQIST et al., 2006).

Campbell e Taylor (1933) ressaltam que o aumento da solubilidade da madeira vaporizada se deve à maior ou menor volatilização e lixiviação de açúcares durante o tratamento, assim como a estrutura química de tais componentes.

5.1.2. Teor de extrativos totais

Verifica-se na Tabela 8 que o teor médio de extrativos totais na madeira controle de *E. grandis* foi de 1,26%. Na literatura, no entanto, os valores para o teor de extrativos totais se mostraram mais elevados do que aquele encontrado na presente pesquisa.

Santos e Sansígolo (2007) e Silva et al. (2005) verificaram valores para o teor de extrativos totais em madeira de *E. urophylla* x *grandis* e *E. grandis* com seis

anos e 10 anos de idade, respectivamente, na ordem de 3,29% e 3,41%. Severo et al. (2006) obtiveram 7,14% no teor de extrativos totais em madeira de *Corymbia citriodora*. Contudo, os resultados encontrados na atual pesquisa, são conexos e se enquadram com àquele encontrado por Andrade et al. (2010), que reportaram teor de extrativos totais para *Eucalyptus grandis* com oito anos de idade da ordem de 1,7%. Os autores também analisaram as espécies de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*, as quais apresentaram teores médios de extrativos totais acima de 4%. Tais diferenciações se enquadram na distinção química das espécies, assim como na idade e condições de crescimento (LEPAGE, 1986; TRUGILHO et al., 1996; TRUGILHO et al., 2007) das madeira estudadas em cada pesquisa.

Alguns autores (BARRICHELLO; BRITO, 1985; HILLIS, 1962; LEPAGE, 1986) salientam que o teor de extrativos totais é variável na faixa de 3% até 30% do peso seco da substância madeira, concluindo que a variação deste componente é normalmente alta.

Verifica-se também na Tabela 8 que a vaporização, pré-vaporização e a vaporização conjunta em toras e madeira serrada de *E. grandis* promoveram, quando comparado à madeira controle, um aumento de até 9,50% e redução de 7,10% no teor de extrativos totais, de acordo com o nível de vaporização, embora tais aumentos e redução não se verifiquem estatisticamente significativos.

Tabela 8. Teor de extrativos totais em madeira de *Eucalyptus grandis*.

Tratamentos	N	Teor de Extrativos Totais (%)		
		C.V.	Média	Redução ou (Aumento)
Controle	5	15,2	1,26a	-
Vaporizado	5	17,8	1,32a	(4,80)
Pré-vaporizado	5	18,7	1,38a	(9,50)
Vaporizado/pré-vaporizado	5	17,9	1,17a	7,10

Sendo: N-número de repetições; C.V.- coeficiente de variação, %; Letras iguais- indicam diferença não significativa ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Comportamento diferenciado foi reportado por Chen e Workman (1980) após pré-vaporização de tábuas de *Jugans nigra* por 2-16 horas a 100°C e obtenção de um decréscimo médio de 9% no teor de extrativos na madeira tratada. Os autores salientaram

que esta redução foi causada por lixiviação e/ou degradação de extrativos durante a vaporização.

No entanto, na presente pesquisa a pré-vaporização resultou em acréscimo médio de 9,50% no teor de extrativos totais. A distinção nos resultados pode ser explicada com base em Forest Products Laboratory (1999), Sundqvist et al. (2006), Momohara et al. (2003) e Brito et al. (2008) ao salientarem que o tempo de tratamento culmina em alterações díspares na madeira, assim como a composição química da espécie utilizada em cada trabalho. Lepage (1986) ressalta haver considerável variação do teor extrativos em dada árvore, assim como variação da natureza química destes componentes, sendo estes solúveis em água ou solventes orgânicos.

A explicação para os acréscimos apresentados na madeira vaporizada e naquela pré-vaporizada pode ser baseada no aumento da acessibilidade dos solventes a um maior número de locais das paredes celulares, como foi reportado por Chen e Workman (1980) e Yilgor et al. (2001). Os mesmos autores também ressaltam que o vapor promove a mobilização de certos componentes na madeira. Além disso, novos compostos formados a partir dos produtos derivados da degradação térmica podem ter sido extraídos pelos solventes como parte da fração de extrativos totais da madeira (ESTEVEES et al., 2007; ISHIGURI et al., 2005).

A magnitude da diferença do teor de extrativos entre os tratamentos é melhor visualizada na Figura 11.

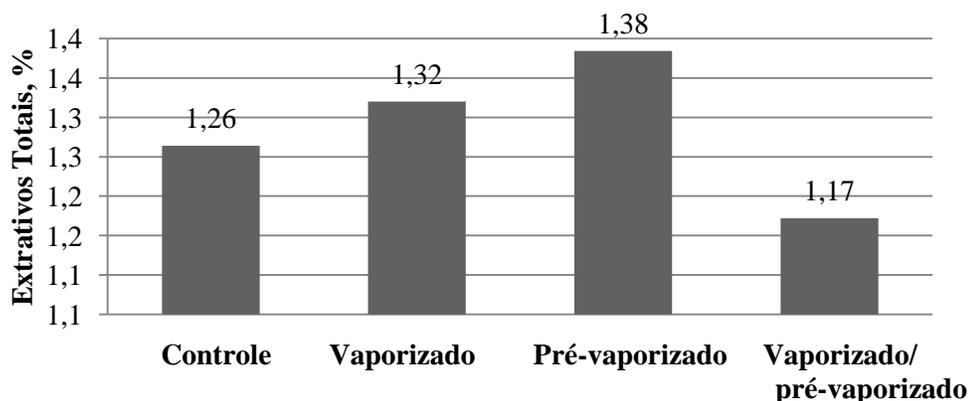


Figura 11. Teor de extrativos totais em madeira de *E. grandis* submetida à vaporização.

O aumento do percentual de extrativos totais só não ocorreu na madeira vaporizada/pré-vaporizada porque, possivelmente, a vaporização em tora tenha permitido maior saída de extrativos, porém, a aplicação posterior da pré-vaporização tenha degradado ou lixiviado boa parte destes. Bhuiyan et al. (2001) salientam que tratamentos térmicos intermitentes e contínuos em madeiras são bastante diferenciados, já que nos últimos não há tempo de esfriamento ou interrupção da reação térmica na madeira. Neste contexto, a madeira que passou pela vaporização em toras e depois foi pré-vaporizada como madeira serrada teve degradação térmica diferenciada. Os últimos autores afirmam que é necessário um tempo de tratamento muito maior para retomada da reação térmica inicial após um resfriamento da madeira.

5.1.3. Teor de lignina Klason

Verifica-se na Tabela 9 que o teor de lignina Klason na madeira controle de *Eucalyptus grandis* foi de 22,73%. Este valor difere ligeiramente daqueles reportados por Gomide et al. (2005) e Santos e Sansígolo (2007). Gomide et al. (2005) encontraram teor de lignina Klason na ordem de 28,60% em *Eucalyptus grandis* com quatro anos de idade e Santos e Sansígolo (2007) reportaram 27,49% do componente em madeira de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* com seis anos. Contudo, o valor da presente pesquisa se assemelha ao que foi reportado por Andrade et al. (2010) ao analisarem que o teor médio de lignina Klason foi de 24,50% em madeira de *Eucalyptus grandis* com oito anos de idade. Também Trugilho et al. (1996) encontraram teor médio de lignina Klason de 24,49% em *E. saligna* com 48 meses de idade. Conforme argumentado anteriormente, a disparidade dos teores baseia-se na composição, idade, tipo de lenho e outras características de cada material estudado (LEPAGE, 1986; OLIVEIRA et al., 2005b; TRUGILHO et al., 1996; TRUGILHO et al., 2007).

Verifica-se também na Tabela 9 que a vaporização, pré-vaporização e a vaporização conjunta em toras e em madeira serrada de *E. grandis* promoveu um aumento de até 6,77% na magnitude do teor de lignina Klason, embora tais aumentos não foram estatisticamente significativos.

Tabela 9. Teor de lignina Klason para madeira de *Eucalyptus grandis*.

Tratamentos	N	Lignina Klason (%)		
		C.V.	Média	Aumento
Controle	5	3,3	22,73a	-
Vaporizado	5	3,6	24,27a	6,77
Pré-vaporizado	5	5,6	24,01a	5,63
Vaporizado/ pré-vaporizado	5	5,8	23,73a	4,39

Sendo: N-número de repetições; C.V.- coeficiente de variação, %; Letra iguais- indica diferença não significativa ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Os acréscimos nos teores de lignina Klason nas madeiras vaporizadas apresentaram a mesma tendência de aumento encontrado por Yilgor et al. (2001) ao obterem acréscimo de 3,96% do componente após pré-vaporização de madeira de *Fagus orientalis* por 20 horas. O mesmo comportamento foi constatado por Ishiguri et al. (2005) ao vaporizarem *Picea torano* por 100 horas e reportarem aumento de 2,74%. O resultado também se enquadra ao trabalho de Campbell e Taylor (1933) após pré-vaporização com pressão de madeira de *Fagus sylvatica* por quatro horas, proporcionando aumento de 6,28%.

Estes aumentos possivelmente são devidos à degradação de outros componentes químicos, como as hemiceluloses por meio de hidrólise ácida (FENGEL; WEGENER, 1984; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; STAMM, 1956), o que acarreta aumento proporcional no teor de lignina (BRITO et al., 2008).

Outra explicação ao fenômeno é dada por possíveis reações de entre os produtos da degradação térmica com a lignina. Yilgor et al. (2001) ressaltam que o amolecimento térmico ou a plasticização da lignina facilitam reações de condensação entre a lignina e outros componentes, gerando aumento do teor de lignina insolúvel em ácido (lignina Klason). Os resultados são melhores visualizados na Figura 12.

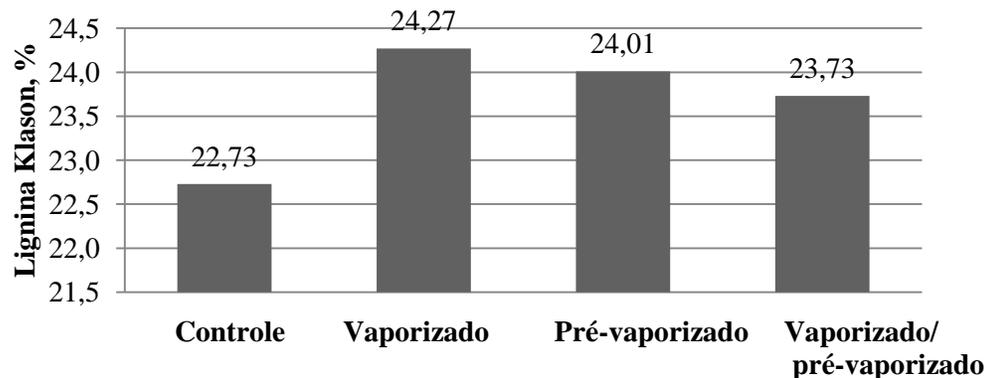


Figura 12. Teor de lignina Klason em madeira de *Eucalyptus grandis* submetida à vaporização.

A vaporização, no entanto, provavelmente não teve capacidade de diminuição do componente aromático, já que este é degradado somente em temperaturas acima de 250°C (FIGUEROA; MORAES, 2009; HILL, 2006; LEPAGE, 1986).

5.1.4. Teores de holocelulose, celulose e hemiceluloses

Conforme resultados apresentados na Tabela 10, a madeira controle de *E. grandis* apresentou 81,38%, 46,86% e 34,52% para os teores de holocelulose, celulose e hemiceluloses, respectivamente.

Comparando-se com a literatura, o teor de holocelulose na presente pesquisa foi mais elevado. Santos e Sansígolo (2007) reportaram teor de 67,12% em *E. urophylla* x *grandis* com seis anos e Andrade et al. (2010) determinaram teor de 72,5% em madeira de *E. grandis* com oito anos, também Silva et al. (2005) encontraram teor médio de holocelulose em *E. grandis* com 10 anos na ordem de 70,61%.

O teor de celulose, contudo, se enquadra àquele verificado por Gomide et al. (2005), sendo da ordem de 43,90% para *E. grandis* com quatro anos.

Conseqüentemente, os teores de hemiceluloses também foram maiores do que aqueles citados na literatura. Gomide et al. (2005) reportaram teor de 20,60% em *E.*

grandis com quatro anos e Trugilho et al. (2007) encontraram a variação de 14,76% a 25,81% em clones de eucalipto com quatro anos.

Como anteriormente citado, a idade, condições de crescimento, condições genéticas e espécies distintas são fatores que afetam sobremaneira as propriedades químicas (LEPAGE, 1986; PANSHIN; ZEEUW, 1970; TRUGILHO et al., 1996), gerando disparidade entre a literatura e a composição química do material da presente pesquisa.

Em se tratando do comportamento dos componentes após os tratamentos, verifica-se na Tabela 10 que a vaporização proporcionou redução estatística significativa de 3,10% no teor de holocelulose. O decréscimo também ocorreu na magnitude do teor de hemiceluloses, com redução de até 4,75%. Contudo, o teor de celulose, sofreu aumento significativo de 5,06% na madeira vaporizada.

Verifica-se também que somente o uso da pré-vaporização não influenciou significativamente a modificação de nenhum destes componentes da madeira.

Tabela 10. Teores de holocelulose, celulose e hemiceluloses em madeira de *E. grandis*.

Tratamento	N	Teores, %								
		Holocelulose			Celulose			Hemiceluloses		
		C.V.	Média	Redução %	C.V.	Média	Redução ou (Aumento) %	C.V.	Média	Redução %
Controle	5	0,5	81,38a	-	2,5	46,86a	-	3,5	34,52a	-
Vaporizado	5	1,7	78,86b	3,10	2,7	44,49b	5,06	3,2	34,37a	0,43
Pré-vaporizado	5	0,6	81,36a	0,02	1,6	46,96a	(0,21)	2,5	34,40a	0,35
Vaporizado/Pré-vaporizado	5	1,8	79,86ab	1,87	3,8	46,97a	(0,21)	2,3	32,88a	4,75

Sendo: N-número de repetições; C.V.- coeficiente de variação, %; Letras diferentes- indicam diferença significativa ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

As reduções no teor de holocelulose se enquadram com os resultados de Ishiguri et al. (2005) ao constatarem decréscimos de 3,92% e 3,08% no teor de holocelulose em madeira de *Thuja plicata* e *Abies alba* quando tratadas condição úmida a 75°C por 100 horas. Também Ishiguri et al. (2003) reportaram redução de 1,56% no teor de holocelulose em *Cryptomeria japonica* exposta durante 70 horas em presença de vapor. Estes

decréscimos, melhor evidenciados na Figura 13, são derivados da degradação de componentes facilmente hidrolisáveis (hemiceluloses), que fazem parte do teor de holocelulose.

O maior teor de solubilidade em NaOH 1% (TABELA 7) na vaporização é reflexo da diminuição na ordem de 3,10% no teor de holocelulose para o mesmo tratamento, o que indica a maior geração de açúcares após a vaporização em toras.

No entanto, observa-se que, apesar de não significativo estatisticamente, o teor de hemiceluloses foi diminuído (FIGURA 13). A vaporização, pré-vaporização e a vaporização conjunta resultaram em decréscimos respectivos na ordem de 0,43%, 0,35% e 4,75% para o teor de hemiceluloses em relação à madeira controle. Yilgor et al. (2001) encontraram decréscimo de 7% no teor das hemiceluloses em madeira de *Fagus orientalis* pré-vaporizada por 20 horas e, Ishiguri et al. (2005) observaram que após 200 horas de tratamento em vapor houve redução média de 5,27% das hemiceluloses em coníferas.

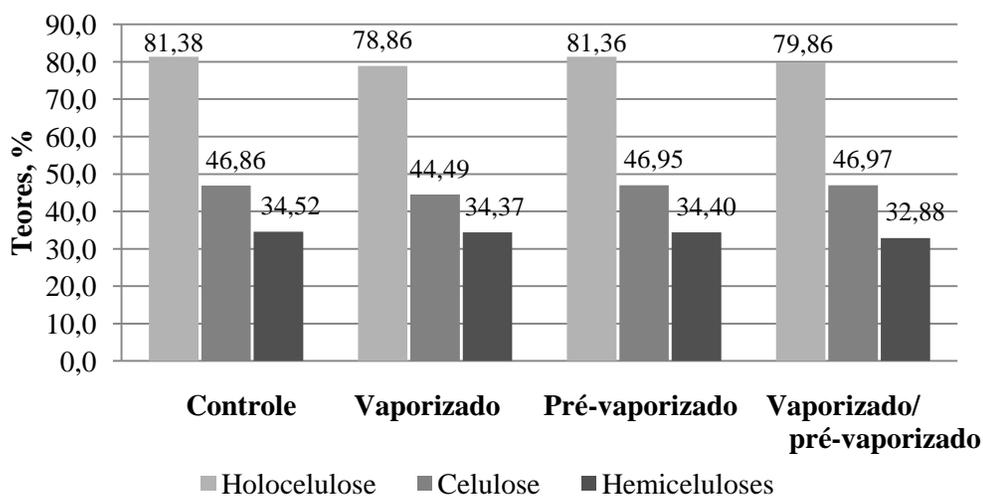


Figura 13. Teores de holocelulose, celulose e hemiceluloses em madeira de *Eucalyptus grandis* submetida à vaporização.

Esses resultados são explicados por vários autores devido à degradação da madeira por hidrólise ácida que leva à despolimerização das hemiceluloses, componente da madeira mais instável termicamente (BEALL, 1969; ESTEVES; PEREIRA, 2009; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; PULS et al., 1985; STAMM, 1964;

YILGOR et al., 2001). Salienta-se que a hidrólise ácida nas hemiceluloses inicia-se através da desacetilação, que libera principalmente o ácido acético, grande responsável pela despolimerização que ocorre no polissacarídeo durante a vaporização. Deste modo, as hemiceluloses são intensivamente degradadas até a formação de monômeros simples (furfural das pentoses- e 5-hidroximetilfurfural das hexoses) e produtos voláteis. Conseqüentemente, este processo é intenso mesmo em temperaturas abaixo de 100°C (ESTEVES; PEREIRA, 2009; FENGEL; WEGENER, 1984; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; ISHIGURI et al., 2005, ISHIGURI et al., 2003; PULS et al., 1985; STAMM, 1956).

A madeira vaporizada apresentou redução significativa e na ordem de 5,06% no teor de celulose (FIGURA 13). Este resultado se enquadra àquele apresentado por Ishiguri et al. (2005) ao observarem decréscimo médio de 4% deste componente quando madeiras de coníferas foram tratadas em condição úmida a 75°C por 100 horas.

O mesmo decréscimo não pôde ser observado na madeira vaporizada/pré-vaporizada. Bhuyian et al. (2000) salientaram que durante tratamentos térmicos alguns componentes da degradação da madeira, como xilanas e mananas podem se cristalizar junto às cadeias de celulose.

No entanto, Campbell e Taylor (1933) encontraram redução de 11,81% do teor de celulose em *Fagus sylvatica* pré-vaporizada por quatro horas sob pressão, e, na presente pesquisa a pré-vaporização não teve influencia na composição química da madeira. Isto pode ser explicado pela diferenciação no tratamento e na espécie utilizada (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Embora Esteves et al. (2007) salientem que a estrutura cristalina da celulose é pouco afetada em tratamentos térmicos, durante a vaporização em toras pode ter ocorrido uma intensa despolimerização das hemiceluloses, e também a degradação da parte amorfa das cadeias de celulose. Pois, Puls et al. (1985) e Bhuiyan et al. (2000) relatam que a parte amorfa das cadeias de celulose pode ser diminuída por decomposição das ligações glicosídicas após tratamentos térmicos em madeiras, principalmente em condições em alta umidade.

Uma real despolimerização das hemiceluloses pode ter sido encoberta pela remoção das hexoses (glucose) advindas da parte amorfa das cadeias de celulose, assim

como salientado por Beall (1969). De tal modo, durante a vaporização em toras pode ter ocorrido a degradação inicial das hemiceluloses e, ao final do tratamento, a liberação das glucoses da parte amorfa da celulose. Posteriormente, a pré-vaporização na madeira serrada pode ter degradado e volatilizado as glucoses, explicando a redução de 4,75% no teor de hemiceluloses e quase nenhuma mudança no teor de celulose.

5.2. Efeito da vaporização na resistência a fungo deteriorador

Conforme metodologia citada no item 4.5 foram realizados os testes acelerados de laboratório do tipo “soil-block” para avaliar a resistência da madeira de *Eucalyptus grandis* à deterioração provocada pelo fungo *Pycnoporus sanguineus*.

Foi verificada a normalidade (Apêndice 2) e igualdade de variância dos dados obtidos. A partir disso, adotou-se a análise de variância, levando-se em consideração os tratamentos de vaporização e o teste de Tukey com 5% de significância para as comparações de médias.

A perda de massa média para a madeira controle, vaporizada, pré-vaporizada e aquela vaporizada/pré-vaporizada foi de 25,94%, 29,32%, 27,41% e 25,91%, respectivamente, após 12 semanas de ensaio. Não houve, no entanto, diferença significativa entre as médias.

As madeiras controle e tratadas foram classificadas como de moderada resistência ao fungo xilófago, já que apresentaram porcentagem de massa residual de 56% a 75% ou perda de massa de 25% a 44%, segundo os critérios da norma ASTM D-2017 (1994). Para a espécie *Eucalyptus grandis*, a mesma constatação foi feita por CSIRO (1997) e a norma australiana AS-5604 (2005).

O resultado para a perda de massa observada na madeira controle foi semelhante ao observado por Abreu et al. (2007), os quais encontraram perda de massa média de 28,10% em madeira de *Eucalyptus* sp quando inoculada com *Pycnoporus cinnabarinus* por 16 semanas. No entanto, com valor acima daquele encontrado na presente pesquisa, Calonego et al. (2010b) detectaram perda de massa da madeira de *Eucalyptus grandis* da ordem de 34,32%, em ensaio com o fungo *Pycnoporus sanguineus* durante 12

semanas, classificando-a também, no entanto, como madeira com moderada resistência ao fungo.

Tais variações para as perdas de massa são explicadas pela diferenças estrutural e de constituição química das madeiras, que ocorrem até mesmo entre árvores de mesma espécie (ALVES et al., 2006; PAES et al., 2003; SILVA et al., 2005), provocando alterações na propriedade de durabilidade natural das mesmas. Assim, a mesma espécie pode não ocupar o mesmo nível de resistência à deterioração, principalmente quando diferentes tipos de fungos degradadores são utilizados (ASTM D-2017, 1994; DOI et al., 2005; MBURU et al., 2007).

A influência da vaporização, da pré-vaporização e do uso conjunto de vaporização e pré-vaporização na resistência natural da madeira ao fungo pode ser verificada na Tabela 11.

Tabela 11. Perdas de massa em madeira de *Eucalyptus grandis* pelo fungo *Pycnoporus sanguineus*.

Tratamentos	N	Média (%)	Redução ou (Aumento) %	C.V. (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
Controle	12	25,94a	-	30,1	36,95	7,09
Vaporizado	12	29,32a	(13,03)	28,3	45,33	15,29
Pré-vaporizado	12	27,41a	(5,67)	39,0	41,82	8,10
Vaporizado/pré-vaporizado	12	25,91a	0,11	33,1	46,05	16,59

Em que: N- número de repetições; Letras iguais -indicam diferença não significativa a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Na observação das variações de perda de massa na madeira tratada, nota-se que os tratamentos não influenciaram significativamente a resistência da madeira de *E. grandis* quando inoculada com *Pycnoporus sanguineus*.

A magnitude do aumento na perda de massa em relação à madeira controle foi de, respectivamente, 13,03% e 5,67% na madeira vaporizada e na madeira pré-vaporização. Na madeira vaporizada/pré-vaporizada a perda de massa foi praticamente idêntica à da madeira controle.

O acréscimo, apesar de não significativo, da perda de massa da madeira vaporizada quando comparada à controle, possivelmente, se deve ao fato de que o desenvolvimento fúngico tenha sido estimulado por: (1) compostos resultantes da

decomposição das hemiceluloses; (2) lixiviação de componentes biocidas (extrativos) ou (3) a uma possível diminuição do pH do substrato, o que favoreceria o desenvolvimento micelial (DOI et al., 2005; PULS et al., 1985). Sendo assim, o menor teor de holocelulose (TABELA 10) e a maior solubilidade da madeira em NaOH 1% (TABELA 7) podem ter direta relação com a maior perda de massa quando a madeira foi vaporizada em toras. Mazela et al. (2004) afirmam que produtos resultantes da hidrolização de componentes da madeira são prontamente disponíveis para utilização de fungos.

Contudo, na madeira vaporizada/pré-vaporizada pode ter ocorrido condensação, degradação ou lixiviação de monômeros e açúcares resultantes da degradação parcial das hemiceluloses, tornando-os indisponíveis para ação fúngica, resultando em perda de massa de menor magnitude. O mesmo foi observado por Doi et al. (2005) quando reportaram que no material vaporizado e seco em temperatura de 120°C ocorreu a liberação de açúcares de baixo peso molecular, aumentando a susceptibilidade da madeira; enquanto que no material tratado a 130°C houve indisponibilização desses açúcares para utilização dos fungos.

Salienta-se a explicação do item 5.1.5, o qual revela que na madeira vaporizada pode ter ocorrido a despolimerização de boa parte das hemiceluloses, assim como pode ter ocorrido a degradação da parte amorfa da celulose. Posteriormente, no entanto, a pré-vaporização pode ter levado à volatilização e/ou lixiviação dos componentes resultantes da primeira degradação térmica. Tais componentes e as próprias cadeias de hemiceluloses são fontes primárias utilizáveis para desenvolvimento micelial (LEPAGE, 1986; LOFERSKI, 2001). Assim, a madeira vaporizada/pré-vaporizada apresentou menor crescimento micelial, e por isso, menor perda de massa; os resultados podem ser melhores constatados na Figura 14. O item 5.1.4 corrobora a questão, já que o último tratamento citado apresentou menor magnitude no teor de hemiceluloses.

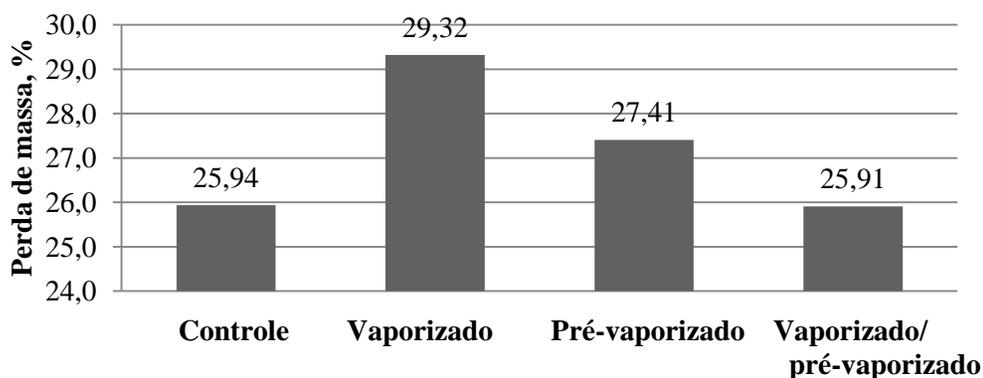


Figura 14. Efeito da vaporização em madeira de *Eucalyptus grandis* exposta ao fungo *Pycnoporus sanguineus*.

De acordo com a literatura, somente temperaturas por volta de 200°C são capazes de aumentar a resistência natural a fungos, pois nessa condição ocorrem modificações efetivas dos componentes da parede celular, dificultando a ação fúngica no material (CALONEGO et al., 2010b; LI SHI et al., 2007; MAZELA et al., 2004; WEILAND; GUYONNET; 2003).

Entretanto, Mburu et al. (2007) também não encontraram diferenças na perda de massa quando a madeira de *Grevilea robusta* foi termorretificada por sete horas a 250°C e exposta ao fungo *Pycnoporus sanguineus* por 12 semanas; a perda de massa para madeira tratada e controle foi de 7%. Isto indica que não só a temperatura, como também o tempo e condições do tratamento, influenciam na modificação da madeira à ação fúngica.

Boonstra et al. (2007), Stamm (1956), Forest Products Laboratory (1999) salientam que também a composição química de cada espécie diferencia as respostas dos tratamentos térmicos quando relacionadas à resistência natural. Assim, madeiras de outras espécies podem apresentar comportamento diferenciado daquele encontrado na madeira de *E. grandis*.

5.3. Efeito da vaporização na resistência a cupim de madeira seca

Conforme metodologia citada anteriormente (item 4.6), determinou-se o efeito dos níveis de vaporização na propriedade de resistência da madeira de *Eucalyptus grandis* ao cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) após 45 dias de exposição.

Face a não-normalidade dos dados, referentes às variáveis de degradação da madeira por cupim de madeira seca, adotou-se uma análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis, para verificar a diferença entre os tratamentos.

Para a madeira controle, observa-se que o grau de ataque dos cupins aos corpos de prova foi bastante rápido e severo (nota 4), sendo idêntico ao da testemunha (*Pinus elliottii*). O mesmo comportamento foi constatado por Silva et al. (2004) ao determinarem que a madeira de *Eucalyptus grandis* com 10 anos de idade obteve nota 4 e 42% de mortalidade de cupins, segundo os mesmos critérios do IPT (1980).

Outras espécies, no entanto, apresentam notas de desgaste bem abaixo daquela encontrada na presente pesquisa. Isto é demonstrado no trabalho de Gonçalves e Oliveira (2005) ao reportarem que as madeiras *Schizolobium parahyba*, *Toonia ciliata*, *Tachigardia myrmecophylla*, *Goupia glabra*, *Cedrela fissilis* e *Caryocar brasiliense* apresentaram notas de desgaste médias de 2,78; 1,94; 1,33; 0,45; 0,28 e 0,22; respectivamente, após 45 dias de exposição ao inseto.

Portanto, este ensaio corrobora a questão da alta susceptibilidade da madeira do gênero *Eucalyptus* quando na presença de cupim de madeira seca. Silva et al. (2005) salientam que este comportamento é ocasionado pela presença de pequena quantidade e/ou do tipo de extrativos não eficazes para combater o ataque do agente na madeira estudada.

A influência da vaporização, da pré-vaporização e do uso conjunto da vaporização em toras e em madeira serrada na resistência da madeira a cupim de madeira seca pode ser constatada na Tabela 12.

Tabela 12. Índice de mortalidade de insetos e danos causados por *Cryptotermes brevis* em madeira de *Eucalyptus grandis*.

Tratamentos	Porcentagem de cupins mortos (%)			Nota do Desgaste	
	N	Média	C.V. (%)	Moda	Média
Testemunha (<i>Pinus elliottii</i>)	16	49,06a	19,2	4a	3,75
Controle	16	45,94a	19,7	4a	3,62
Vaporizado	16	56,25a	12,3	3a	3,50
Pré-vaporizado	16	57,50a	12,1	3a	3,50
Vaporizado/pré-vaporizado	16	54,38a	25,9	4a	3,62

Em que: N-número total de repetições; Letras iguais- não significativo no teste de Tukey (mortalidade de insetos) e Kruskal-Wallis (notas de desgaste) a 5% de significância.

Nota-se que as madeiras submetidas aos tratamentos de vaporização apresentaram, apesar de não significativa, alta taxa de mortalidade de cupins. Este fato pode ter ocorrido pela presença de compostos fenólicos resultantes da degradação térmica da madeira (PESSOA et al, 2006).

Contudo, estatisticamente, a vaporização não alterou a resistência e/ou susceptibilidade da madeira de *E. grandis* ao inseto xilófago *Cryptotermes brevis*

Deste modo, independentemente dos tratamentos, os corpos de prova receberam notas elevadas dos avaliadores, sendo que a moda foi 4 na madeira vaporizada e naquela pré-vaporizada, e moda 3 na madeira vaporizada/pré-vaporizada, o que é melhor evidenciado na Figura 15.

Resultado também não significativo foi encontrado por Brito et al. (2008), ao notificarem nota média de desgaste de 2,44 e índice médio de mortalidade dos cupins de 14,6% quando a madeira de *Eucalyptus grandis* foi termorretificada a 120°C, não diferenciando, porém, da testemunha. Pessoa et al. (2006) também não obtiveram imunidade ao térmita *Cryptotermes brevis* quando a madeira de *E. grandis* foi termorretificada com temperaturas de 120°C a 200°C.

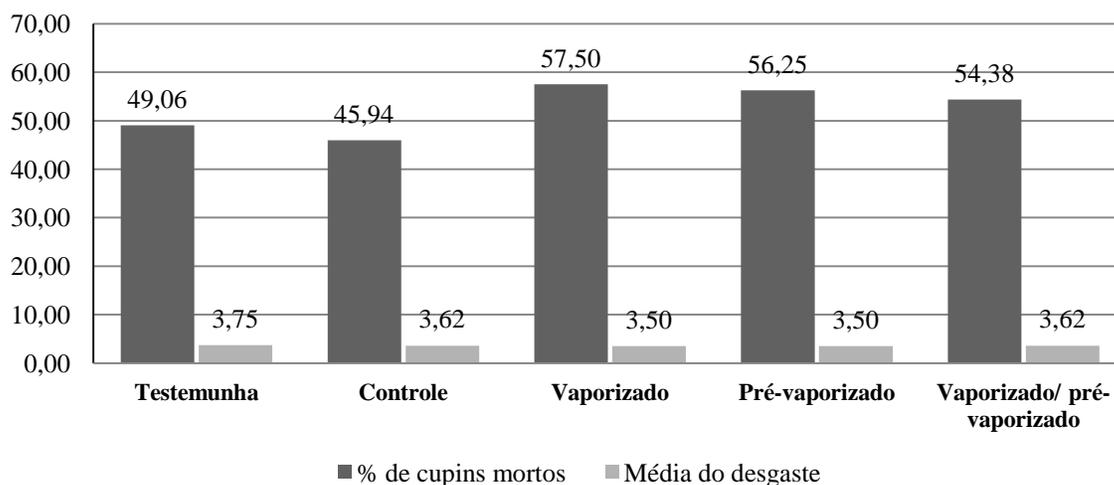


Figura 15. Efeito da vaporização em madeira de *Eucalyptus grandis* exposta ao cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*).

Não obstante, o tratamento de vaporização pode não ter sido eficiente na liberação de compostos alimentares que atrairiam os cupins em maior proporção e/ou na modificação das substâncias biocidas (extrativos), culminando em um ataque superior ao da testemunha ou da madeira controle, como aconteceram nos trabalhos de Doi et al. (1998), Doi et al. (1999), Doi et al. (2005), Ohmura et al. (2000), Ohmura et al (1999) e Momohara et al. (2003).

Outro fato é que este ensaio pode não ter sido eficiente na comparação entre as madeiras controle e vaporizada, já que as duas sofreram grande desgaste e obtiveram nota máxima.

5.4. Composição química e a resistência natural da madeira

A fim de relacionar a composição química da madeira com a perda de massa provocada pelo fungo apodrecedor, foram aplicados modelos de regressão linear simples tendo a perda de massa como variável dependente em função da composição química da madeira, que foi a variável independente.

Os gráficos obtidos são apresentados na Figura 16 e, no Apêndice 3 são apresentadas as análises estatísticas realizadas para obtenção de cada gráfico.

Apesar dos coeficientes de determinação (R^2) se mostrarem bastante baixos, aponta-se que através dos intervalos de confiança e de previsão que os modelos ajustados e descritos podem representar os conjuntos de dados estudados a fim de verificar qual a variável química que influi na perda de massa da madeira quando exposta ao fungo deteriorador.

Verifica-se no Apêndice 3 que, excetuando-se o teor de hemiceluloses, o coeficiente angular (b), que indica a inclinação da reta, não foi estatisticamente significativo para as propriedades químicas estudadas.

Sendo assim, conclui-se que apenas o teor de hemiceluloses apresentou relação ou influência com a perda de massa gerada pelo fungo *Pycnoporus sanguineus*.

Vários autores (BOONSTRA et al., 2007; LEPAGE, 1986; LOFERSKI, 2001; MAZELA et al., 2004; PULS et al., 1985) relatam que a fonte energética primária dos fungos são as hemiceluloses. Por isso, quanto maior o teor de hemiceluloses, maior será o ataque provocado pelo fungo, e conseqüentemente maior a perda de massa da madeira.

Já a variação dos outros componentes não mostrou interação estatisticamente significativa com a perda de massa causada pelo fungo. Pois, o coeficiente angular não foi significativo a 5% de confiança, mostrando que uma reta constante é capaz de explicar a perda de massa na madeira.

No entanto, nota-se que os gráficos apontam tendências quando relaciona-se o teor de cada componente químico da madeira com a perda de massa ou susceptibilidade ao fungo deteriorador. Nota-se na Figura 16 que quanto maior o teor de extrativos totais na madeira, menor é a perda de massa. O mesmo comportamento foi observado para o teor de celulose.

Para relação da composição química da madeira com a taxa de mortalidade de cupins também foi realizada regressão linear simples.

O Apêndice 4 apresenta os modelos aplicados entre a variável dependente (taxa de mortalidade dos cupins) e independente (propriedades químicas da madeira).

Verifica-se que nenhum componente químico relacionou-se com a taxa de mortalidade dos cupins, já que os coeficientes angulares (b) não foram estatisticamente significativos.

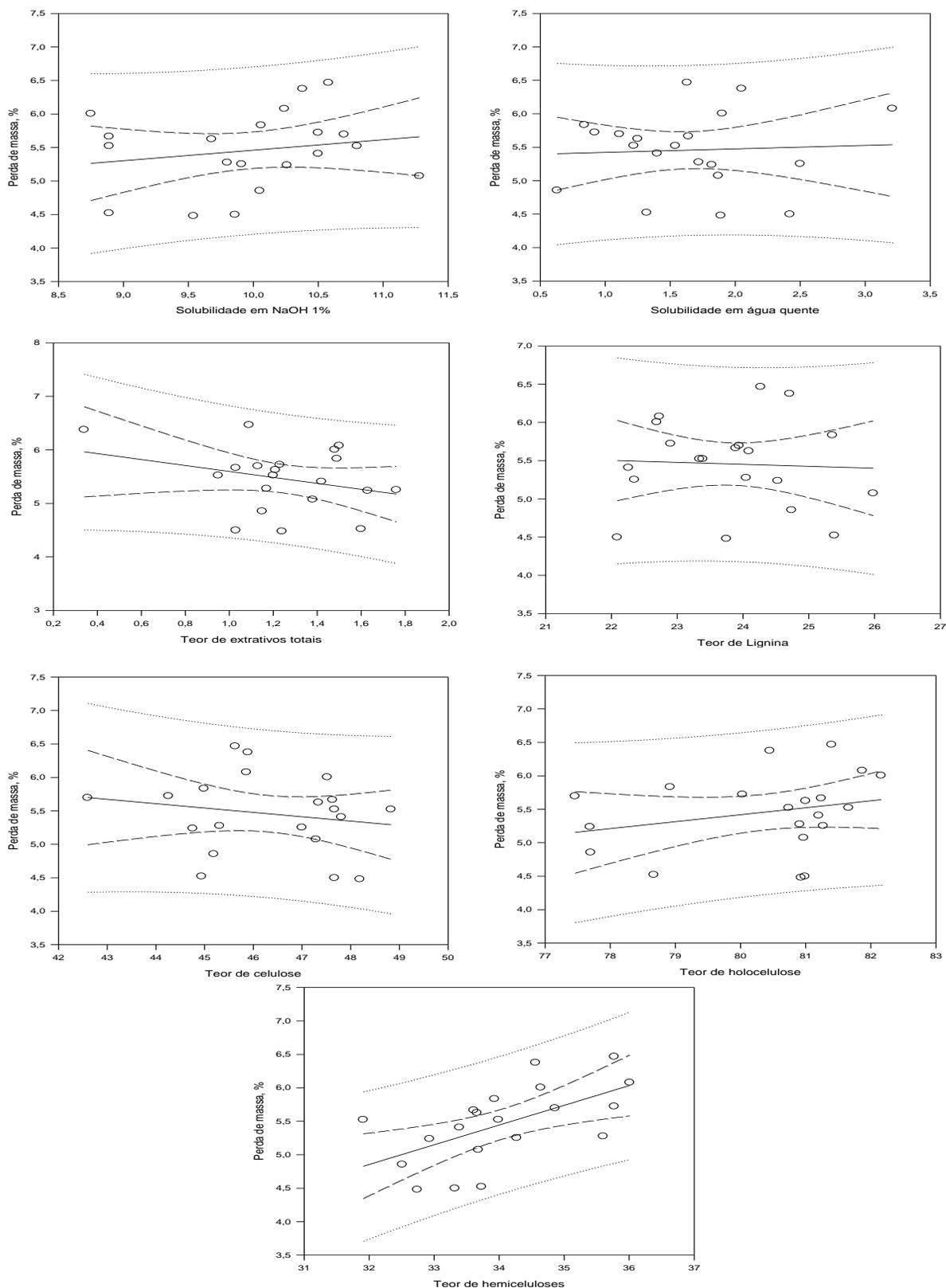


Figura 16. Gráficos de regressão linear ajustada para estimar a perda de massa provocada pelo fungo apodrecedor em função da composição química da madeira de *E. grandis*.

6. CONCLUSÕES

Na presente pesquisa, a análise da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes níveis de vaporização mostrou que o tratamento modifica significativamente poucas propriedades químicas do material e, não modifica a resistência natural da madeira aos agentes xilófagos. Assim, salienta-se que o tratamento de vaporização é positivo em não alterar as propriedades do material estudado. Portanto, madeira de *E. grandis* submetida ao tratamento de vaporização e/ou pré-vaporização pode ser utilizada com as mesmas restrições que uma madeira não tratada.

Com relação ao efeito da vaporização em toras, em madeira serrada (pré-vaporização) e a vaporização conjunta em tora e em tábuas nas propriedades químicas da madeira quando comparada à madeira controle, conclui-se que:

a) houve acréscimos não significativos de 5,07%, 3,93% e 4,14% do teor de solubilidade em NaOH 1% na madeira vaporizada, pré-vaporizada e na madeira que foi submetida às duas vaporizações, respectivamente;

- b) houve decréscimos não significativos de 21,80%, 0,50% e 20,70% no teor de solubilidade em água quente na madeira vaporizada, pré-vaporizada e na madeira que foi submetida às duas vaporizações, respectivamente;
- c) houve decréscimos não significativos no teor de extrativos totais. Para madeira vaporizada em tora e àquela vaporizada/pré-vaporizada as diminuições foram na ordem de 5,55% e 7,14%, respectivamente; enquanto a madeira serrada pré-vaporizada apresentou acréscimo de 9,52%;
- d) houve aumento não significativo de 6,77%, 5,63% e 4,39% no teor de lignina Klason na madeira vaporizada, pré-vaporizada e na madeira submetida às duas vaporizações, respectivamente;
- e) houve redução não significativa de 0,43%, 0,35% e 4,75% no teor das hemiceluloses na madeira vaporizada, pré-vaporizada e na madeira submetida às duas vaporizações, respectivamente;
- f) redução significativa de 3,10% e 1,87% no teor de holocelulose na madeira vaporizada em tora e na madeira submetida à vaporização e pré-vaporização;
- g) redução significativa de 5,06% no teor de celulose na madeira vaporizada em tora e aumento não significativo de 0,21% na madeira pré-vaporizada e naquela submetida às duas vaporizações.

Em relação aos diferentes níveis de vaporização nas propriedades de resistência natural da madeira ao fungo deteriorador *Pycnoporus sanguineus*, conclui-se que:

- a) houve efeito não significativo na susceptibilidade da madeira quando vaporizada e exposta ao fungo;
- b) madeira vaporizada em toras e aquela pré-vaporizada em tábuas obtiveram aumento na perda de massa na ordem de 13,03% e 5,66%, respectivamente, em relação à madeira controle; enquanto a madeira vaporizada/pré-vaporizada apresentou perda de massa igual à controle.

Com referência ao efeito da vaporização em toras, em madeira serrada e na vaporização sucessiva de tora e madeira serrada na propriedade de resistência natural da madeira ao cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis*, conclui-se que:

- a) não apresentou significância na resistência ou susceptibilidade ao ataque da madeira pelo agente xilófago;
- b) as notas de desgaste foram semelhantes e na ordem de: 3,5; 3,5 e 3,62 para madeira vaporizada em tora, pré-vaporizada e aquela submetida às duas vaporizações, respectivamente.

Conclui-se também que o teor de hemiceluloses interfere positivamente na perda de massa da madeira exposta ao fungo deteriorador.

7. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAL PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2010**: ano base 2009/ ABRAF. Brasília, DF, 2010. 140 p.

ABREU, L. D. et al. Degradação da madeira de *Eucalyptus* sp. por basidiomicetos de podridão branca. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 74, n. 4, p. 321-328, 2007.

ACOSTA, M. S. Experiência argentina en la producción y utilización de la madera de eucalipto, Panorama a 1999. In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV/DEF/SIF/IEF, 1999. p. 28-38.

AGUIAR, O. J. R.; JANKOWSKY, I. P. **Prevenção e controle das rachaduras de topo em tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1986. p. 39-46.

ALEXIOU, P. N.; WILKINS, A. P.; HARTLEY, J. Effect of pre-steaming on drying rate, wood anatomy and shrinkage of regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. **Wood Science Technology**, Berlin, v. 24, p. 103-110, 1990.

ALONSO, S. K.; et al. Isolamento e seleção de fungos causadores da podridão-branca da madeira em florestas de *Eucalyptus* spp. com potencial de degradação de cepas e raízes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 145-155, 2007.

ALVES, M. V. S et al. Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores em ensaios de laboratório. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 17-26, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D-1413: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. **Annual Book of ASTM Standard**, West Conshohocken, v. 410, p. 119-121, 1994a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D-2017: standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. **Annual Book of ASTM Standard**, West Conshohocken, v. 410, p. 324-328, 1994b.

ANDRADE, A. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. 2000. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ANDRADE, M. C. N. et al. Análise química da madeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 165-175, 2010.

ANGYALOSSY-ALFONSO, V. A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de Eucalyptus L'Herit. Cultivadas no Brasil**. 1987. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências/Botânica)-Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

AUSTRALIAN STANDARD. **AS 5604**: timber preservation and durability. Sydney, 2005.

AVRAMIDIS, S; OLIVEIRA, L. Influence of presteaming on kiln-drying of thick hemfir lumber. **Forest Products Journal**, Madison, v. 43, n.11/12, p. 7-12, 1993.

BÄCHLE, H. et al. Evaluation of thermally modified beech and spruce wood and their properties by FT-NIR spectroscopy. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 44, p. 421-433, 2010.

BARRICHELLO, L. E. G.; BRITO, J. O. Potencialidade de espécies tropicais de eucalipto para a produção de celulose sulfato branqueada. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 13, p. 9-38, 1976.

BARRICHELLO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Química da madeira**. Piracicaba: ESALQ, 1985. 125 p.

BEALL, F. C. Thermogravimetric analysis of wood lignin and hemicelluloses. **Wood and Fiber**, Lawrence, v. 1, n. 3, p. 215-226, 1969.

BHUÍYAN, T. R.; HIRAI, N. Effect of intermittent heat treatment on crystallinity in wood cellulose. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 47, p. 336-341, 2001.

BHUÍYAN, T. R.; HIRAI, N.; SOBUE, N. Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 46, p. 431-436, 2000.

BOONSTRA, M. J. et al. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects. **Wood Science Technology**, Berlin, v. 41, p. 41-57, 2007.

BOYD, J. D. The growth stresses part V: evidence of an origin in differentiation and lignification. **Wood Science Technology**, Berlin, v. 6, p. 251-262, 1972.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. **Forest products and wood science: an introduction**. 4th ed. Iowa: Blackwell, 2003. 459 p.

BRITO, J. O. et al. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, London, v. 99, p. 8545-8548, 2008.

CAIXETA, R. P. et al. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 43-51, 2003.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito da vaporização de toras na secagem da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 1, p. 7-13, 2004.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito da vaporização de toras na redução dos defeitos associados à tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 431-440, 2005.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Estimativa do tempo de vaporização de toras de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 457-462, 2006.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Influência da posição diametral das tábuas e da vaporização nos defeitos de secagem de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 10-18, 2007.

CALONEGO, F. W. et al. Efeito da vaporização no poder calorífico de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 12, n. 1, p. 30-35, 2005.

CALONEGO, F. W. et al. Qualidade da secagem de *Eucalyptus grandis* mediante vaporização simultânea em toros e em madeira serrada. **Silva Lusitana**, Oeiras, v. 14, n. 2, p. 169-180, 2006.

CALONEGO, F. W. et al. Use of glass transition temperature for stabilization of board's cracks of *Eucalyptus grandis*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, n. 82, p. 1-7, 2010a.

CALONEGO, F. W. et al. Decay resistance thermally-modified *Eucalyptus grandis* Wood at 140°C, 160°C, 180°C, 200°C and 220°C. **Bioresource Technology**, London, n. 101, p. 9391-9394, 2010b.

CAMPBELL, W. G.; TAYLOR, K. F. The chemical changes induced in wood by saturated steam under pressure. **Biochemical Journal**, London, v. 27, n. 1, p. 158-164, 1933.

CARVALHO, W. et al. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 8, p. 2191-2195, 2009.

CHEN, P. Y. S. The effect of steaming time and temperature on the longitudinal permeability of black walnut heartwood. **Wood and Fiber Science**, Hanover, v. 7, p. 222-225, 1975.

CHEN, P. Y. S.; WORKMAN, C. J. Effect of steaming on some physical and chemical properties of black walnut heartwood. **Wood and Fiber Science**, Hanover, v. 1, n. 4, p. 218-227, 1980.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION. **Revised CSIRO natural durability classification in ground durability ratings for mature outer heartwood**. Clayton, 1997. 1 gráfico.

DOI, S.; KURIMOTO, Y. Durability of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Donn) bark against wood decay fungi and a subterranean termite. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 56, n. 3, p. 178, 2004.

DOI, S. et al. Attraction of steamed Japanese larch (*Larix leptolepis* (Sieb. Et Zucc.) Gord) heartwood to a subterranean termite *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae). **Holzforshung**, Berlin, v. 52, p. 5-12, 1998.

DOI, S. et al. Effects of heat treatments of wood on the feeding behavior of two subterranean termites. **Holzforshung**, Berlin, v. 53, n. 3, p. 225-229, 1999.

DOI, S. et al. Changes of decay and termite durabilities of Japanese larch (*Larix leptolepis*) wood due to high-temperature kiln drying processes. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 1, p. 526-530, 2005.

ELEOTÉRIO, E. S. R.; BERTI FILHO, E. Levantamento e identificação de cupins (Insecta: Isoptera) em área urbana de Piracicaba - SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 125-139, 2000.

ESTEVEES, B.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **Bioresource Technology**, Lisboa, v. 1, n. 4, p. 370-404, 2009.

ESTEVEES, B. et al. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 41, n. 3, p. 193-207, 2007.

FENGEL, D. On the changes of the wood and its components within the temperaturerange up to 200°C: part I. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 24, p. 9-4, 1966.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure reactions water de gruyter**. Berlin: Forest Products Laboratory, 1984. 612 p.

FERNANDES, L. et al. In vitro wood decay of *Eucalyptus grandis* by the basidiomycete fungus *Phellinus flavomarginatus*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v. 55 n. 3, p. 187-193, 2005.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington: US Department of Agriculture, 1999. 463 p.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

GARCÍA, C. B. **Anatomia, composição e propriedade de cinco madeiras paraguaias**. 1995. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S. Resistência ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*) em seis espécies florestais. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 80-83, 2006.

GUILMO, S. M. P.; AUER, C. G.; BARRICHELO, L. E. G. Efeito de fungos termófilos sobre madeira de *Eucalyptus saligna*. II. *Aspergillus* sp., *Dactylomyces thermophilus* Sopp., *Penicillium bacillisporum* Swift, *Rhizomucor* sp. e *Sporotrichum* sp. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 26/27, p. 29-34, 1993.

HAKKOU, M. et al. A. Investigations of reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. **Polymer Degradation and Stability**, Amsterdam, v. 91, n. 2, p. 393-397, 2006.

HARRIS, R. A.; SHROEDER, J. G.; ADDIS, S. C. Steaming of red oak prior to kiln-drying: effects on moisture movement. **Forest Products Journal**, Madison, v. 39, n. 11/12, p. 70-72, 1989.

HILL, C. A. S. **Wood modification chemical, thermal and other processes**. West Sussex: John Wiley, 2006. 239 p.

HILLIS, W. E. The distribution and formation of polyphenols within the tree. In: _____. **Wood extractives and their significance to the pulp and paper industry**. New York: Academic Press, 1962. p. 60-131.

HOMAN, W. et al. Structural and other properties of modified wood. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 2000, Whistler. **Proceedings...** Whistler, 2000. 8 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Métodos de ensaio e análise de preservação de madeira:** ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae). São Paulo, 1980. 1 p.

ISHIGURI, F. et al. Time-course changes of chemical and physical properties in Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) logs during smoke heating. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 35, n. 4, p. 585-593, 2003.

ISHIGURI, F. et al. Changes in the physical and chemical properties of six Japanese softwoods caused by length smoke-heating treatments. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 51, n. 2, p. 161-166, 2005.

JACOBS, M. R. The growth stresses of woody stems. **Commonwealth Forestry Bureau Bulletin**, Sydney, n. 28, 1945. 67 p.

JANKOWSKY, I. P.; SANTOS, G. R. V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RIOS, 15., 2000, Concórdia. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/forestacion/biblos/pdf/2000/106%20Jankowsky%20Euca_arg.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2009.

JARA, E. R. P.; MIRANDA, M. J. A. C.; HUMPRHEYS, R. D. Influência do tratamento térmico na redução das tensões internas de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis*. In: IUFRO CONFERENCE ON SIVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Proceedings...** Colombo: EMBRAPA, 1997. p. 276-280.

JESUS, M. A. de. et al. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônica em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 54, p. 81-92, 1998.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira:** manual da disciplina de química da madeira. 3. ed. Curitiba: Universidade Estadual do Paraná, 2005. 81 p.

LEPAGE, E. S. Química da madeira. In: _____. **Manual de preservação de madeiras**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986. cap. 4, p. 69-98.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; NOGUEIRA, M. C. S. Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 111-125, 2000.

LIMA, J. T. et al. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

LI SHI, J. et al. A comparative study on brown-rot fungus decay and subterranean termite resistance of thermally-modified and ACQ-C-treated wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 65, p. 353-358, 2007.

LOFERSKI, J. R. Technologies for wood preservation in historic preservation. **Archives and Museum Informatics**, Dordrecht, v. 13, n. 3-4, p. 273-290, 2001.

MARRON, A.; NEVES, J. M. Aproveitamento de resíduos de serraria de árvores de *Eucalyptus grandis* de 15 anos. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 2000, Puerto Iguazú. **Anales...** Puerto Iguazú, 2000. 1 CD-ROM.

MATOS, J. L. M. et al. Redução do efeito das tensões de crescimento das toras de *Eucalyptus dunnii*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 128-135, 2003.

MAZELA, R. B. et al. Preliminary research on the biological resistance of thermally modified wood. In: EUROPEAN CONFERENCE ON WOOD MODIFICATION, 1., 2003, Ghent. **Proceedings...** Ghent: SHR, 2003. p. 113- 119.

MBURU, F. et al. Evaluation of thermally modified *Grevillea robusta* heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya: characterisation of physicochemical properties and improvement of bio-resistance. **Bioresource Technology**, London, v. 98, n. 18, p. 3478-3486, 2007.

MESQUITA, J. B.; LIMA, J. T.; TRUGUILHO, P. F. Micobiota associada à madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden durante a secagem ao ar livre. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 45-50, 2006.

MOMOHARA, I. et al. Effect of high-temperature treatment on wood durability against the Brown-rot fungus, *Fomitopsis palustris*, and the termite, *Coptotermes formosanus*. In: INTERNATIONAL IUFRO WOOD DRYING CONFERENCE, 2003. **Anais eletrônicos...** Disponível em:
<<http://www.unitbv.ro/il/iufro2003modific/postiufro/Poster%20session/Momohara%20-%20Ohmura%20-%20Kato%20-%20Kubojima.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2009.

NOGI, M.; YAMAMOTO, H.; OKUYAMA, T. Relaxation mechanism of residual stress inside logs by heat treatment: choosing the heating time and temperature. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 49, n. 1, p. 22-28, 2003.

OHMURA, W. et al. Components of steamed and non-steamed Japanese Larch (*Larix leptolepis* (Sieb. et Zucc.) Gord.) heartwood affecting the feeding behavior of the subterranean termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae). **Holzforschung**, Berlin, v. 53, n. 6, p. 569-574, 1999.

OHMURA, W. et al. Antifeedant activity of flavonoids and related compounds against the subterranean termite *Coptotermes formosanus* Shiraki. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 46, p. 149-153, 2000.

OLIVEIRA, A. M. et al. Agentes destruidores da madeira, In: LEPAGE, E. S. (Org.). **Manual de preservação de madeiras**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986. cap. 5, p. 99-256.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, J. T. S et al. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p.819-826, 2005b.

OLIVEIRA, J. T.; TOMASELLO, M.; SILVA, J. C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 993-998, 2005a.

PAES, J. B. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (hook.) K.D.Hill & L.A.S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 761-767, 2002.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 160-169, abr./jun., 2007

PAES, J. B. et al. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a cupins subterrâneos, em ensaio de laboratório. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 36-47, 2003.

PALANTI, S.; SUSCO, D.; FECI, E. Natural durability of eucalypt from Italian plantations against fungi and cerambicid *Trichoferus holosericeus* Rossi Eur. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 68, n. 1, p. 59-62, 2010.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**: structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 705 p.

PÊGAS, M. R. A. **Resistência natural de nove espécies de madeiras ao ataque de *Coptotermes gestroi* (Wasmann, 1896) (Isoptera: Rhinotermitidae)**. 2007. 24 f. Monografia (Graduação em Florestal)-Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

PESSOA, A. M. C.; BERTI FILHO, E.; BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 72, p. 11-16, 2006.

PONCE, R. H. Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF/ IPT/IUFRO/LCF; USP, ESALQ, 1995. p. 55-74 .

PULS, J. et al. Biotechnical utilization of wood carbohydrates after steaming pretreatment. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 22, p. 416-423, 1985.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T. Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002. Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 10 p. 1 CD-ROM.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias.** 2000. 185 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito de modelo de corte nas dimensões de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 94-103, 2001.

ROZAS MELLADO, E. C. E. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado.** 1993. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal/Setor de Ciências Agrárias)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

ROZAS MELLADO, E. C. E.; TOMASELLI, I. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 147-159, 1993.

SALES, C. G. Growth stresses: main results obtained on the study of guyana species and consequences for and use. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 18., Ljubljana, 1986. **Proceedings...** Ljubljana: IUFRO, 1986. v. 5, p. 234-248.

SANTOS, S. R.; SANSÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1-2, p. 53-63, 2007.

SANTOS, G. R. V.; JANKWOSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 214-223, 2003.

SEVERO, E. T. D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento e s ecagem na madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid.** 1998. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 109-112, 2000.

SEVERO, E. T. D. **Pré-vaporização**: uma técnica para otimizar a secagem de madeira sólida de *Eucalyptus grandis*. 2004. 85 f. Tese (Livre Docência)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; MATOS, C. A. O. Lumber quality of *Eucalyptus grandis* as a function of diametrical position and log steaming. **Bioresource Technology**, London, v. 101, p. 2545-2548, 2010.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito da vaporização no alívio das tensões de crescimento em toras de duas procedências de *Eucalyptus dunnii*. **Scientia Agraria**, Curitiba, n. 1, n. 1-2, p. 29-32, 2000a.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito da vaporização em madeira de *Eucalyptus dunnii* sobre algumas propriedades mecânicas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 123-133, 2000b.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito da pré-vaporização em algumas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 35-42, 2001.

SEVERO, E. T.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direcções estruturais. **Silva Lusitana**, Oeiras, v.14, n. 1, p. 113-126, 2006.

SILVA, J. C.; CABALLEIRA LOPEZ, A. G.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 583-587, 2004.

SILVA, C. A. et al. Biodeterioration of brazilwood *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae - Caesalpinioideae) by rot fungi and termites. **International Biodeterioration & Biodegradation**, New York, v. 60, p. 285-292, 2007.

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.

SILVA, M. R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)-Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SIMPSON, W.T. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. **Wood Science Technology**, New York, v. 7, p. 247-255, 1975.

SIMPSON, W. T. Effect of presteaming on moisture gradient of Northern Red Oak during drying. **Wood Science**, New York, v. 8, p. 156-159, 1976.

SKOLMEN, R. G. Heating logs to relieve growth stresses. **Forest Products Journal**, Madison, v. 17, p. 41-2, 1967.

STAMM, A. J. Thermal degradation of wood and cellulose. **Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals**, New York, v. 48, n. 3, p. 413-416, 1956.

STEINHAGEN, H. P.; MEYERS, G. E.; KUBLER, H. Heating times charts for frozen and nonfrozen veneer logs. **Forest Products Journal**, Madison, v. 30, n. 4, p. 27-37, 1980.

SUNDQVIST, B.; KARLSSON, O.; WESTERMARK, U. Determination of formic-acid and acetic acid concentrations formed during hydrothermal treatment of birch wood and its relation to colour, strength and hardness. **Wood Science Technology**, Berlin, v. 40, p. 549-561, 2006.

ŠUŠTERŠIČ, Ž. et al. Prediction of the decay resistance of heat treated wood on the basis of its elemental composition. **Polymer Degradation and Stability**, Liège, v. 95, n. 1, p. 94-97, 2009.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 1 wd-75**: water solubility of wood. Norcross, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 12 wd-82**: one percent caustic analysis. Norcross, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 204 cm097**: solvent extractives of wood and pulp. Norcross, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI T 222 om-98**: acid- insoluble lignin in wood and pulp. Norcross, 1999.

TEJADA, A. et al. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: assessment of a commercial-scale operation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 47, n. 9, p. 86-93, 1997.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; CARVALHO, A. G. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Floresta**, Curitiba, v. 38 n. 1, p. 33-41, 2008.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 94, 1996.

TRUGILHO, P. F. et al. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 73, p. 55-62, 2007.

VARGA, D.; van der ZEE, M. E. Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 66, n. 1, p. 11-18, 2008.

WEILAND, J. J.; GUYONNET, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **Holz als Roh und- Werkstoff**, Berlin, v. 61, n. 2, p. 216-220, 2003.

WINDEISEN, E.; STROBEL, C.; WEGENER, G. Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. **Wood Science Technology**, Berlin, v. 41, p. 523-536, 2007.

YANG, J. L. et al. The effect of growth strain and other defects on the sawn timber quality of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill. **Australian Forestry**, Yarralumla, n. 65, p. 31-37, 2002.

YANG, J. L. et al. Measurements methods for longitudinal surface strain in trees: a review. **Australian Forestry**, Yarralumla, v. 68, n. 1 p. 34-43, 2005.

YILGOR, N.; UNSAL, O.; KARTAL, S.N. Physical, mechanical, and. chemical properties of beech wood. **Forest Product Journal**, Madison, v. 51, n. 11/12, p. 89-93, 2001.

ZOBEL, B. J.; van BUIJTENEN, J. P. **Wood variation**: its causes and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

APÊNDICE 1

Determinação do tempo de vaporização das toras

Determinação do tempo de vaporização das toras de *Eucalyptus grandis*

Dados necessários:

- Umidade média das toras : 88%;
- Raio médio das toras (R): 0,102m;
- Raio rolo resto (r): 0,00m;
- Temperatura inicial das toras (Ti): 25°C;
- Temperatura desejada das toras (Td): 82°C;
- Temperatura do meio aquecedor (Ta): 90°C;
- Massa específica básica média (ME): 0,40g/cm³

Cálculos:

1° Passo- Determinação do raio normalizado (Rn) das toras:

$$R_n = \frac{\bar{r}}{\bar{R}} = 0,00m$$

2° Passo- Determinação da temperatura média (T) nas toras:

$$T = \frac{T_i + T_d}{2} = 53,5^\circ C$$

3° Passo- Determinação da difusividade térmica média das toras (D), utilizando as Figuras 1-1 e 1-2.

$$D = d * F_a = (5,02 * 10^{-4}) * 1,04 = 5,22 * 10^{-4} m^2/h$$

Sendo:

d- difusividade térmica do material, m²/h;

Fa- Fator de ajustamento;

D- difusividade térmica média das toras, m²/h.

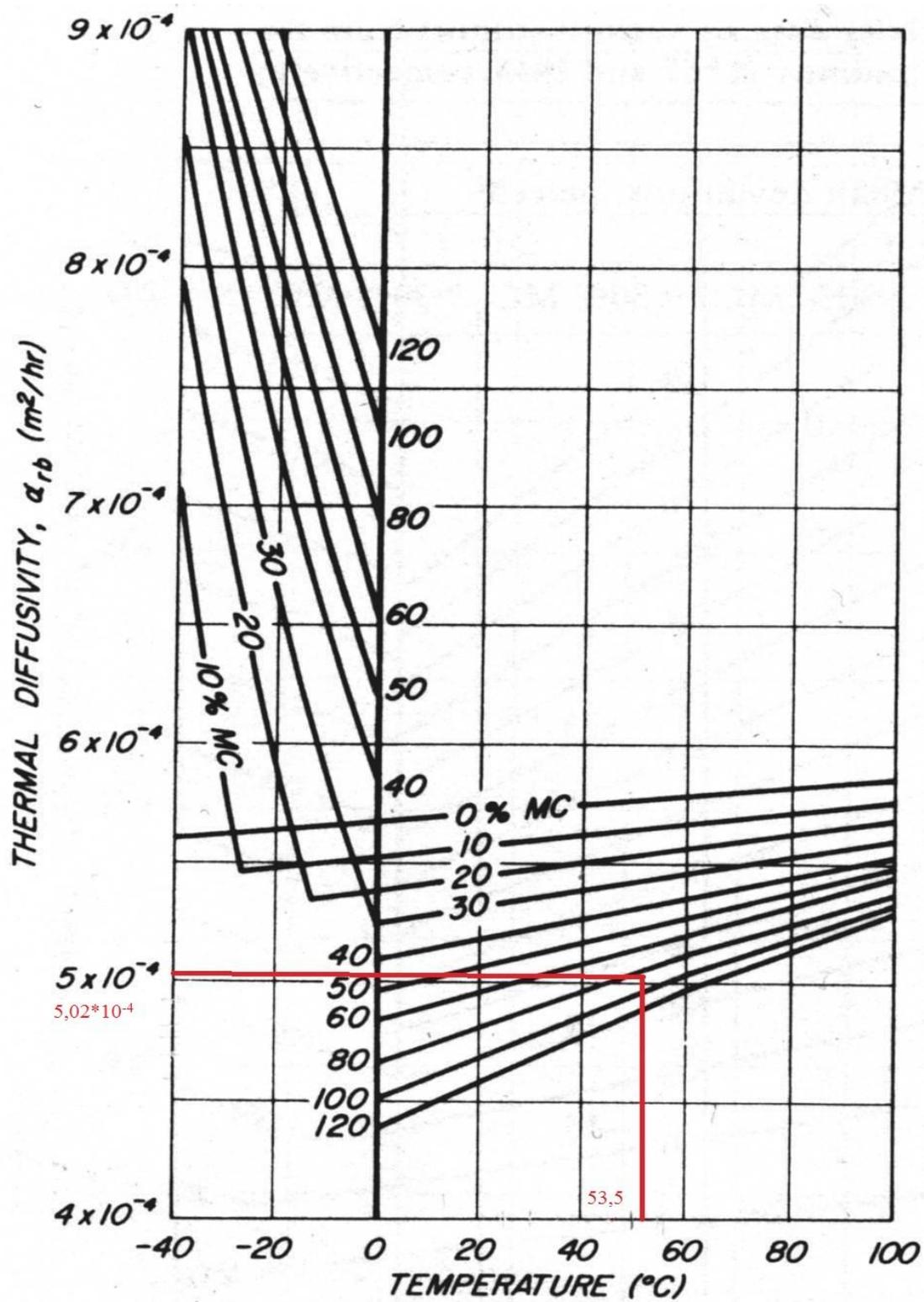


Figura 1-1. Difusividade térmica na direção radial em função da temperatura e do teor de umidade.

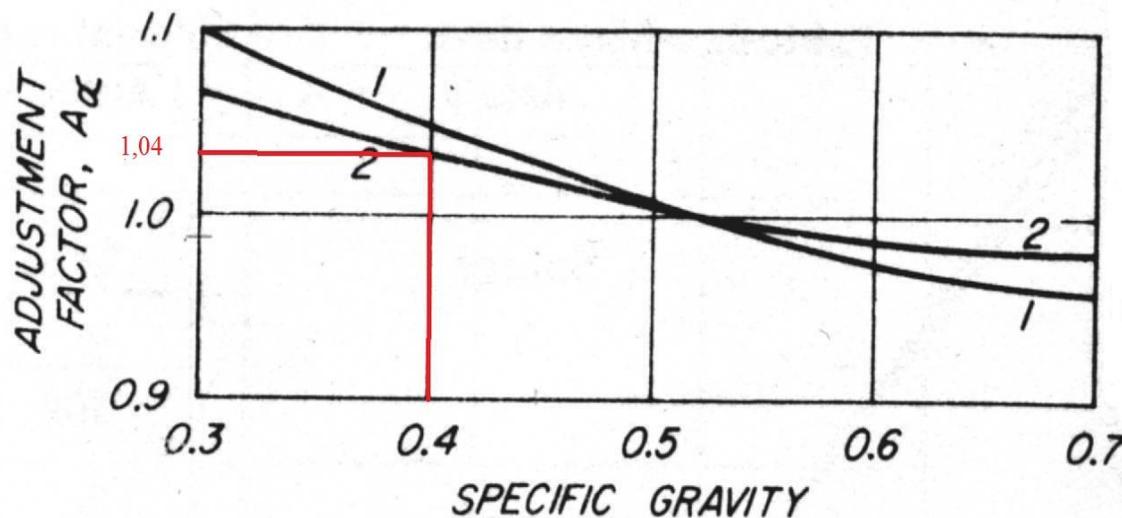


Figura 1-2. Fator de ajuste (Fa) segundo a massa específica para uso em conjunto com a difusividade da Figura 1.1. A linha 1 é válida para teores de umidade inferiores a 40%, enquanto que a linha 2 para teores de umidade superiores a 40%.

4º Passo- Determinação da temperatura normalizada (T_n) para a temperatura desejada na tora a 82°C:

$$T_n = \frac{T_d - T_a}{T_i - T_a} = 0,123^\circ\text{C}$$

Em que:

T_n - temperatura normalizada, °C;

T_d - temperatura desejada no centro das toras, °C;

T_i - temperatura inicial no centro das toras, °C.

5º Passo- Determinação do número de Fourier (F) utilizando-se da Figura 1.1 e os valores do raio normalizado, $R_n=0,00\text{m}$, e temperatura normalizada, $T_n=0,123^\circ\text{C}$:

$F=0,45$

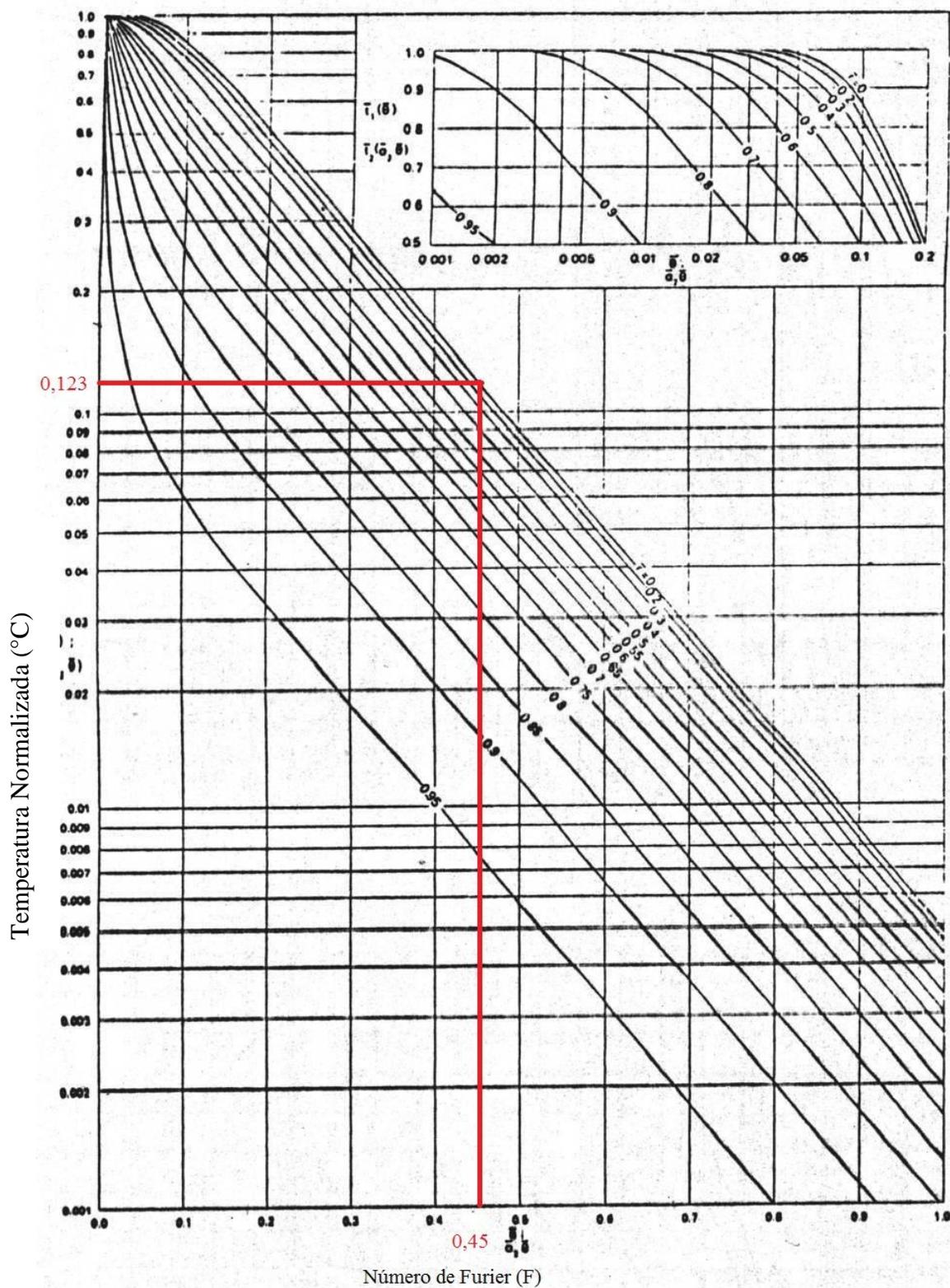


Figura 1-3. Relações do número de Fourier (F), raio normalizado (R_n) e temperatura normalizada (T_n).

6° Passo- Cálculo do tempo de vaporização (t') para a temperatura de 82°C:

$$t' = \frac{F \cdot R^2}{D} = 8,97 \text{ hrs}$$

Sendo:

t' - tempo de vaporização das toras, hrs;

F- número de Fourier;

R- raio médio das toras, m;

D- difusividade térmica média das toras, m²/h.

De acordo com Steinhagen et al. (1980):

(1) se a porcentagem dos raios lenhosos for menor que 10%, o tempo de vaporização permanece o mesmo;

(2) se a porcentagem dos raios lenhosos for maior que 10%, reduz-se o tempo de vaporização em 12%;

Angyalossy-Alfonso (1987) determinou que os raios presentes na madeira de *Eucalyptus grandis* são extremamente finos (média de 13µm), aparecendo na relação de 9 raios/mm de madeira.

Portanto, para chegar à porcentagem de raios lenhosos para a espécie tem-se:

$$\text{Raios (\%)} = \frac{[N_{\text{raios}} * L_{\text{raios}}]}{100} = 11,7\%$$

Sendo:

N_{raios} – número de raios por mm;

L_{raios} – largura média dos raios, µm;

Raios (%) - porcentagem de raios lenhosos na madeira (%).

Como a porcentagem de raios lenhosos é maior que 10%, houve redução do tempo em 12%, tendo-se então o tempo de 7,9 horas.

Calonego e Severo (2006), no entanto, determinaram fatores de correção para o modelo proposto por Steinhagen et al. (1980) quando toras com diâmetros de 20 a < 25 cm de *E. grandis* são vaporizadas:

$$T = e^{0,201847 - 1,13568 \cdot Lnt'}$$

Sendo:

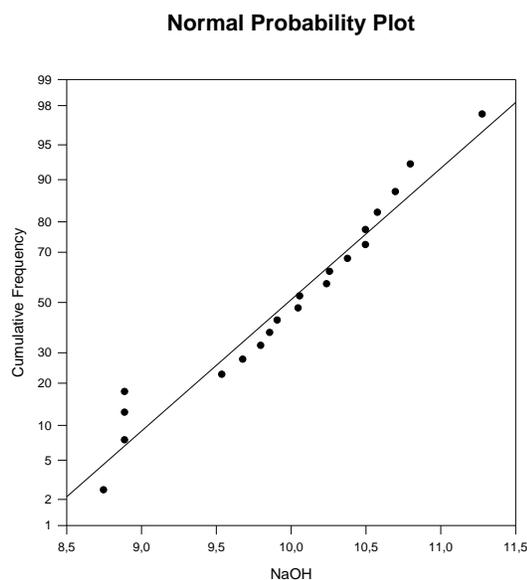
T - tempo de vaporização de toras pelo modelo proposto, hrs;

t' - tempo de vaporização de toras proposto por Steinhagen et al. (1980), hrs.

Assim, o tempo ideal determinado para a vaporização de toras neste estudo foi de 13 horas.

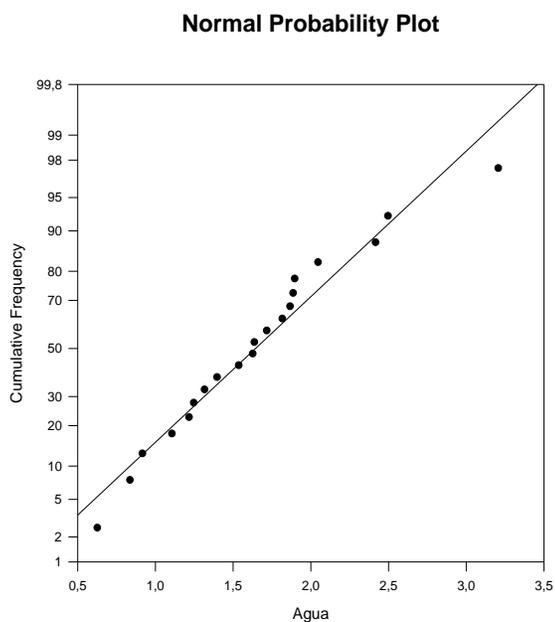
APÊNDICE 2

Análises Estatísticas



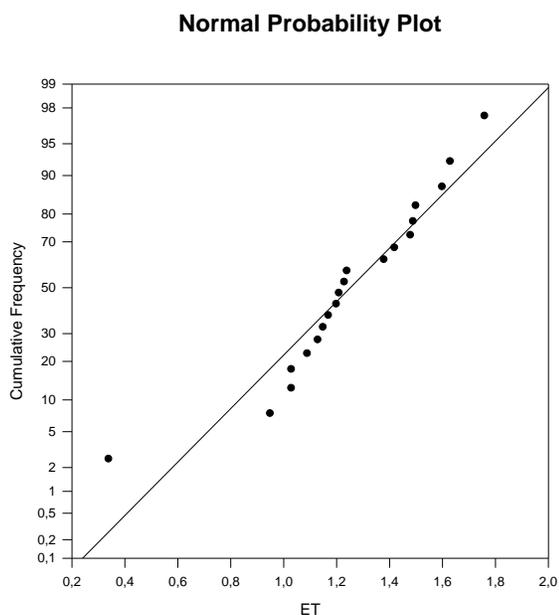
Teste K.S.=0,138 p-valor>0,200

Figura 2-1. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov dos dados referentes ao teor de solubilidade em NaOH 1% da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a vaporização. Sendo que, p-valor>0,05 indica que não se rejeita a normalidade dos dados.



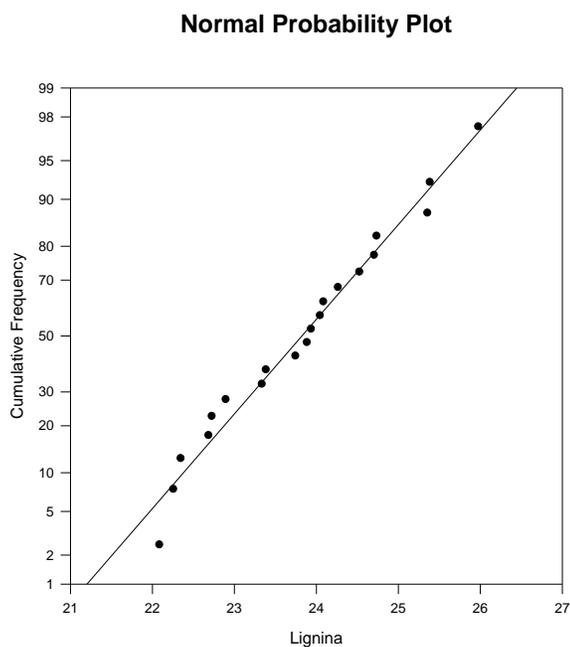
Teste K.S.=0,138 p-valor>0,200

Figura 2-2. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov dos dados referentes ao teor de solubilidade em água quente da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a vaporização. Sendo que, p-valor>0,05 indica que não se rejeita a normalidade dos dados.



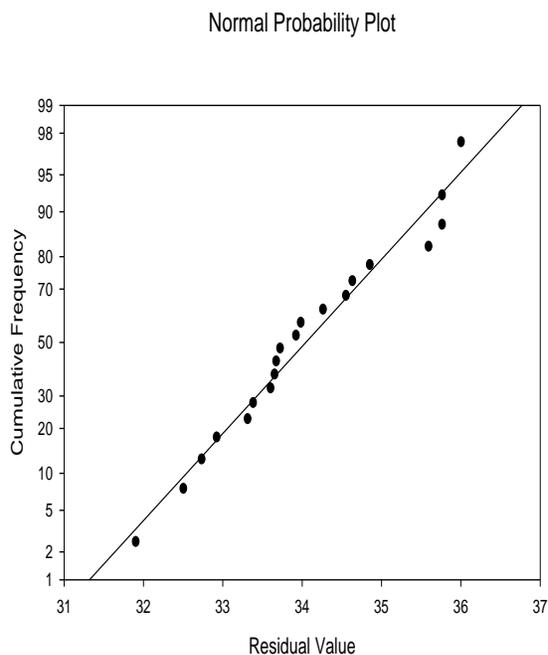
Teste K.S.=0,137 p-valor>0,200

Figura 2-3. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov dos dados referentes ao teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a vaporização. Sendo que, p-valor>0,05 indica que não se rejeita a normalidade dos dados.



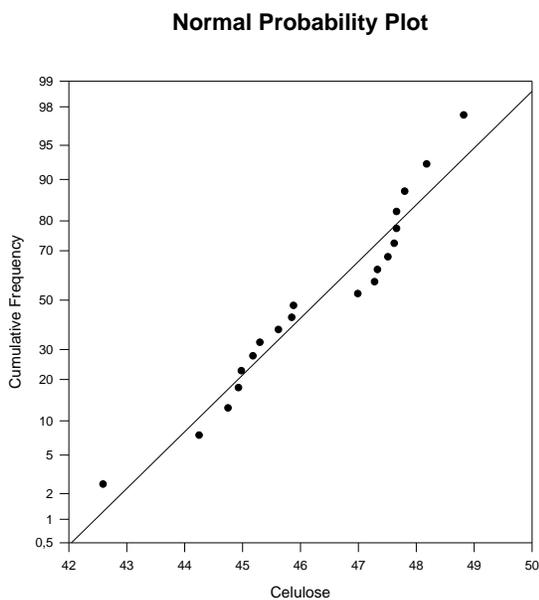
Teste K.S.=0,098 p-valor>0,200

Figura 2-4. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov dos dados referentes ao teor de lignina Klason da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a vaporização. Sendo que, p-valor>0,05 indica que não se rejeita a normalidade dos dados.



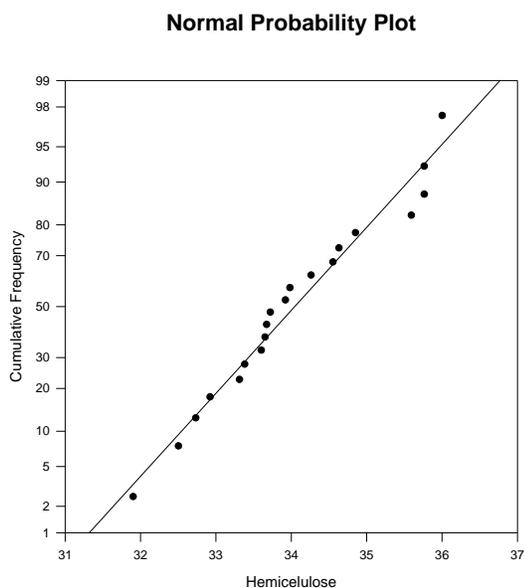
Teste K.S.=0,198 p-valor>0,200

Figura 2-5. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov dos dados referentes ao teor de holocelulose da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a vaporização. Sendo que, p-valor>0,05 indica que não se rejeita a normalidade dos dados.



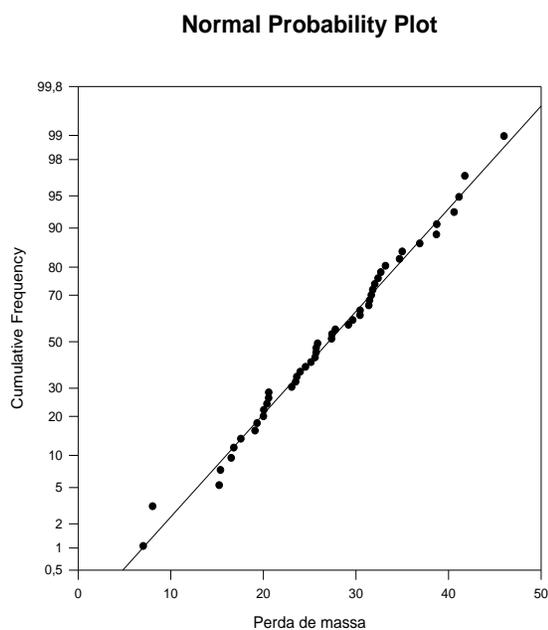
Teste K.S.=0,178 p-valor=0,096

Figura 2-6. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov dos dados referentes ao teor de celulose da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a vaporização. Sendo que, p-valor>0,05 indica que não se rejeita a normalidade dos dados.



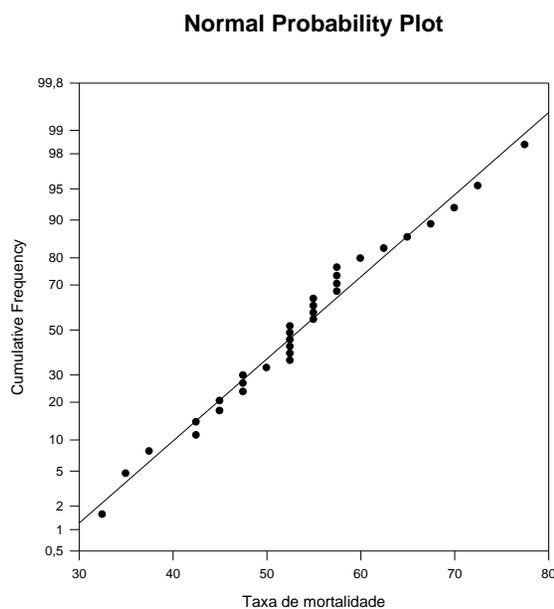
Teste K.S.=0,119 p-valor>0,200

Figura 2-7. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov dos dados referentes ao teor de hemiceluloses da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a vaporização. Sendo que, p-valor>0,05 indica que não se rejeita a normalidade dos dados.



Teste K.S.=0,065 p-valor>0,200

Figura 2-8. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov para variável perda de massa no ensaio de resistência ao fungo *Pycnooportunus sanguineus* na madeira de *Eucalyptus grandis*. Sendo que, p-valor>0,05 indica que não se rejeita a normalidade dos dados.



Teste K.S.=0,131 p-valor=0,174

Figura2-9. Gráfico que representa a normalidade através do teste Kolmogorov-Smirnov para variável taxa de mortalidade de cupins no ensaio de resistência da madeira de *Eucalyptus grandis*. Sendo que, $p\text{-valor} > 0,05$ indica que não se rejeita a normalidade dos dados.

Análises de Variância

Tabela 2-1. Análise de variância para o teor de extrativos solúveis em NaOH 1%, classificados segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	0,318	0,318	0,576	0,459
Tábua	1	0,107	0,107	0,193	0,666
Interação	1	0,265	0,265	0,48	0,499
Resíduo	16	8,823	0,551		
Total	19	9,511	0,501		

Tabela 2-2. Análise de variância para o teor de extrativos solúveis em água quente, classificados segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	0,722	0,722	1,795	0,199
Tábua	1	0,00018	0,00018	0,000447	0,983
Interação	1	0,00098	0,00098	0,00244	0,961
Resíduo	16	6,437	0,402		
Total	19	7,16	0,377		

Tabela 2-3. Análise de variância para o teor de extrativos para o teor de extrativos totais, classificados segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	0,105	0,105	1,001	0,332
Tábua	1	0,014	0,014	0,134	0,719
Interação	1	0,0224	0,0224	0,214	0,650
Resíduo	16	1,68	0,105		
Total	19	1,822	0,0959		

Tabela 2-4. Análise de variância para o teor de lignina Klason, classificados segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	1,275	1,275	0,989	0,335
Tábua	1	0,0378	0,0378	0,0294	0,866
Interação	1	1,378	1,378	1,069	0,316
Resíduo	16	20,62	1,289		
Total	19	23,311	1,227		

Tabela 2-5. Análise de variância para o teor de holocelulose, classificados segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	20,2	20,2	18,437	<0,001
Tábua	1	1,2	1,2	1,096	0,311
Interação	1	1,28	1,28	1,168	0,296
Resíduo	16	17,53	1,096		
Total	19	40,211	2,116		

Tabela 2-6. Análise de variância para o teor de celulose, classificados segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	6,891	6,891	4,196	0,057
Tábua	1	8,346	8,346	5,082	0,039
Interação	1	7,104	7,104	4,326	0,054
Resíduo	16	26,278	1,642		
Total	19	48,62	2,559		

Tabela 2-7. Análise de variância para o teor de hemiceluloses, classificados segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	3,494	3,494	3,516	0,079
Tábua	1	3,216	3,216	3,236	0,091
Interação	1	2,353	2,353	2,367	0,143
Resíduo	16	15,903	0,994		
Total	19	24,966	1,314		

Tabela 2-8. Análise de variância para a variável perda de massa para o fungo *Pycnoporus sanguineus*, classificadas segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	6,461	6,461	0,0843	0,773
Tábua	1	7,061	7,061	0,0921	0,763
Interação	1	61,359	61,359	0,8000	0,376
Resíduo	44	3373,237	76,664		
Total	47	3448,118	73,364		

Tabela 2-9. Análise de variância para a variável mortalidade de cupins, classificadas segundo os tratamentos de vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis*.

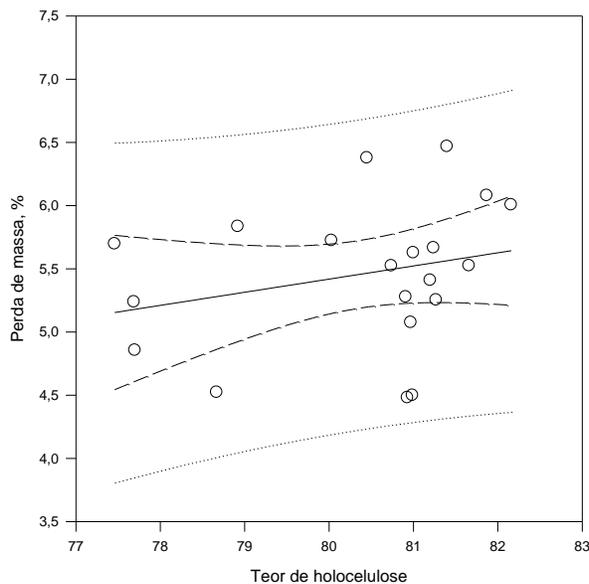
Fator de variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F	p-valor
Tora	1	187,695	187,695	1,996	0,169
Tábua	1	103,320	103,320	1,098	0,304
Interação	1	361,133	361,133	3,840	0,060
Resíduo	28	2633,594	94,057		
Total	31	3285,742	105,992		

Tabela 2-10. Teste de Kruskal-Wallis para notas do desgaste provocados por cupim de madeira seca em madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a vaporização.

Fonte de Variação	Valor
Kruskal-Wallis qui-quadrado	1,4219
GL	4
p-valor	0,8404

APÊNDICE 3

**Regressões Lineares Simples-Perda de
massa provocada pelo fungo em função
da composição química da madeira**



Perda de massa, % = $-2,902 + (0,104 * \text{Teor de holocelulose})$

N = 20

R = 0,263 R² = 0,0692 R² ajustado = 0,0175

Erro padrão da estimativa = 0,570

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	-2,902	7,226	-0,402	0,693
Teor de holocelulose	0,104	0,0899	1,157	0,262

Análise da Variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	0,435	0,435	1,338	0,262
Resíduos	18	5,850	0,325		
Total	19	6,285	0,331		

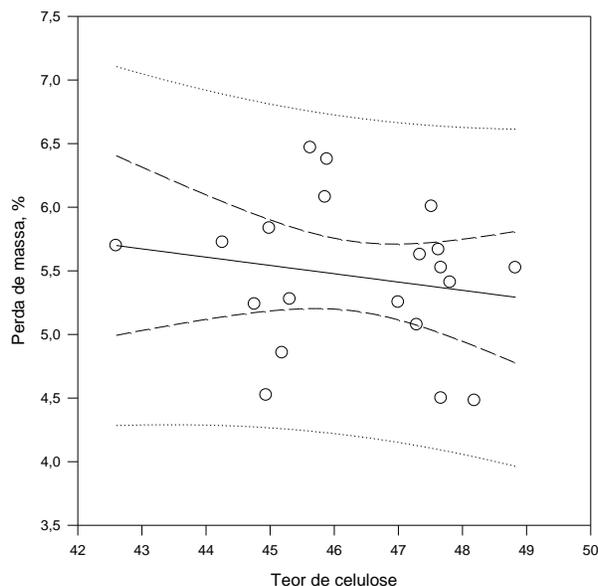
Teste de Normalidade: Passou (P = 0,852)

Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,691)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,198

O poder do teste realizado (0,198) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.



Perda de massa, % = 8,477 - (0,0652 * Teor de celulose)

N = 20

R = 0,181 R² = 0,0329 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 0,581

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	8,477	3,862	2,195	0,042
Teor de celulose	-0,0652	0,0833	-0,783	0,444

Análise da Variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	0,207	0,207	0,612	0,444
Resíduos	18	6,079	0,338		
Total	19	6,285	0,331		

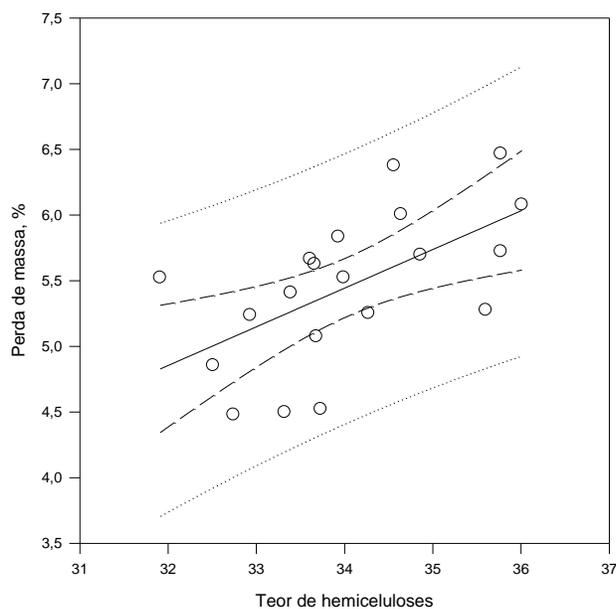
Teste de Normalidade: Passou (P = 0,714)

Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,937)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,114

O poder do teste realizado (0,114) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.



$$\text{Perda de massa, \%} = -4,570 + (0,295 * \text{Teor de hemiceluloses})$$

N = 20

R = 0,587 R² = 0,345 R² ajustado = 0,308

Erro padrão da estimativa = 0,478

	Coefficiente	Erro padrão	t	P
Constante	-4,570	3,261	-1,401	0,178
Teor de hemiceluloses	0,295	0,0957	3,076	0,007

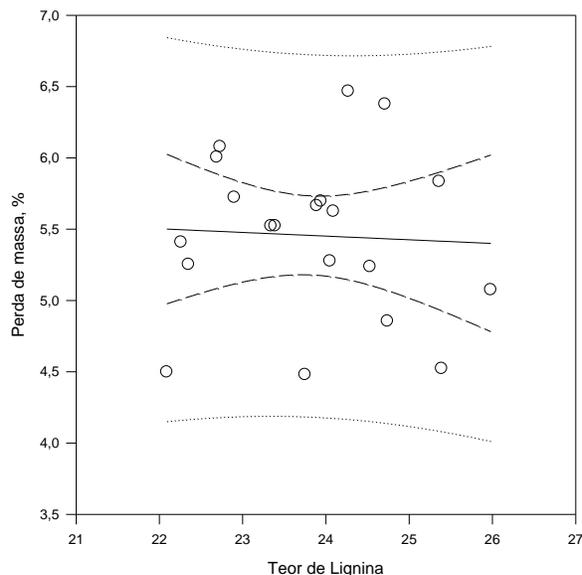
Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	2,165	2,165	9,461	0,007
Resíduos	18	4,120	0,229		
Total	19	6,285	0,331		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,767)

Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,476)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,792



Perda de massa, % = 6,069 - (0,0257 * Teor de Lignina)

N = 20

R = 0,0496 R² = 0,00246 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 0,590

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	6,069	2,915	2,082	0,052
Teor de Lignina	-0,0257	0,122	-0,210	0,836

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	0,0154	0,0154	0,0443	0,836
Resíduos	18	6,270	0,348		
Total	19	6,285	0,331		

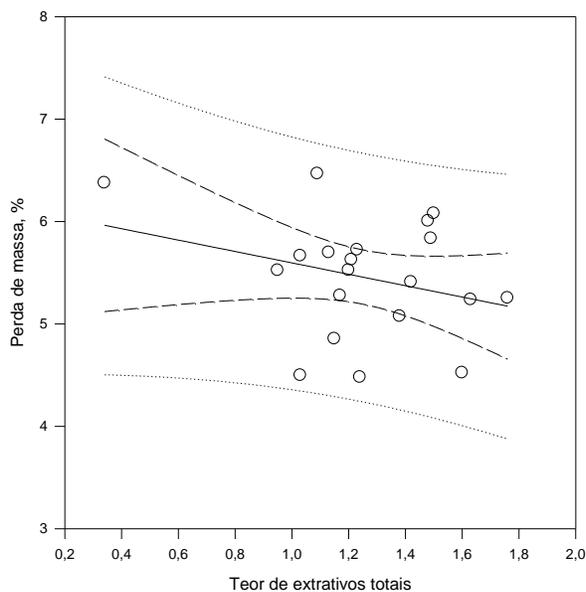
Teste de Normalidade: Passou (P = 0,825)

Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,429)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,040

O poder do teste realizado (0,040) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.



Perda de massa, % = 6,152 - (0,556 * Teor de extrativos totais)

N = 20

R = 0,299 R² = 0,0897 R² ajustado = 0,0391

Erro padrão da estimativa = 0,564

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	6,152	0,538	11,440	<0,001
Teor de extrativos totais	-0,556	0,418	-1,332	0,200

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	0,564	0,564	1,773	0,200
Resíduos	18	5,722	0,318		
Total	19	6,285	0,331		

Normality Test: Passed (P = 0,323)

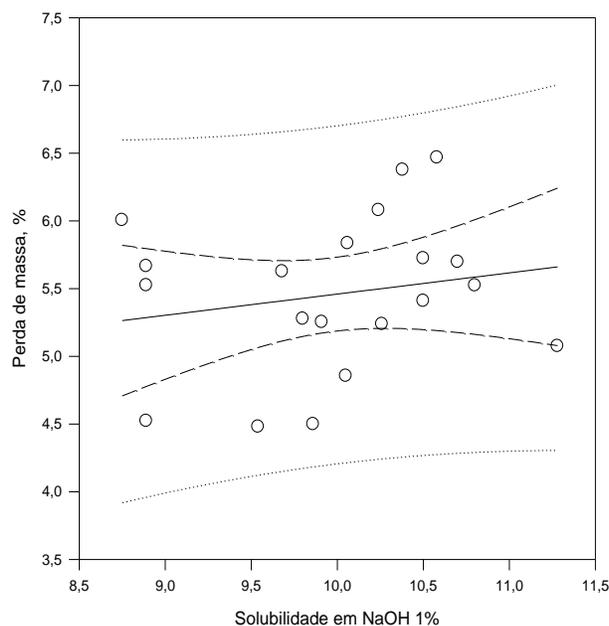
Teste de Normalidade: Passou (P = 0,323)

Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,672)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,246

O poder do teste realizado (0,246) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.



$$\text{Perda de massa, \%} = 3,892 + (0,157 * \text{Solubilidade em NaOH 1\%})$$

N = 20

R = 0,193 R² = 0,0372 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 0,580

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	3,892	1,880	2,070	0,053
Solubilidade em NaOH 1%	0,157	0,188	0,834	0,415

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	0,234	0,234	0,695	0,415
Resíduos	18	6,052	0,336		
Total	19	6,285	0,331		

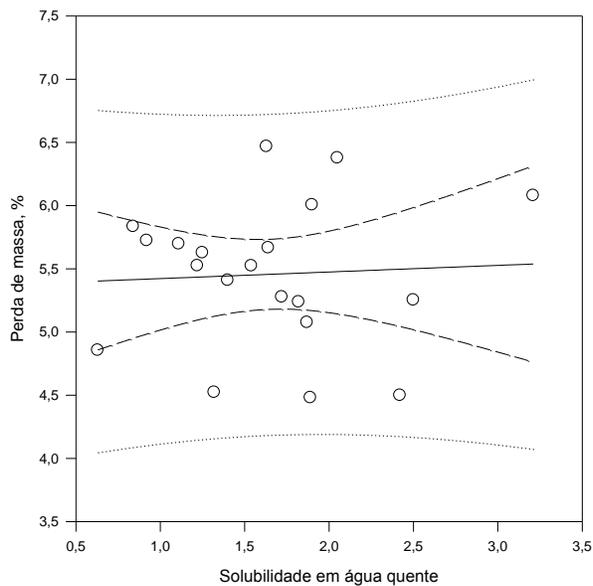
Teste de Normalidade: Passou (P = 0,811)

Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,196)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,124

O poder do teste realizado (0,124) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.



$$\text{Perda de massa, \%} = 5,370 + (0,0522 * \text{Solubilidade em água quente})$$

N = 20

R = 0,0557 R² = 0,00310 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 0,590

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constant	5,370	0,386	13,922	<0,001
Solubilidade em água quente	0,0522	0,220	0,237	0,816

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	0,0195	0,0195	0,0560	0,816
Resíduos	18	6,266	0,348		
Total	19	6,285	0,331		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,779)

Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,263)

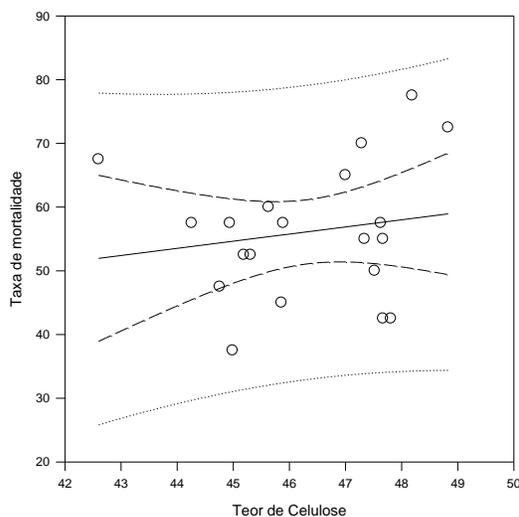
Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,042

O poder do teste realizado (0,042) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.

APÊNDICE 4
Regressões Lineares Simples-Taxa de
mortalidade de cupins em função da
composição química da madeira

Regression, Conf. & Pred.



$$\text{Taxa de mortalidade} = 4,255 + (1,120 * \text{Teor de Celulose})$$

$$N = 20$$

$$R = 0,169 \quad R^2 = 0,0286 \quad R^2 \text{ ajustado} = 0,000$$

$$\text{Erro padrão da estimativa} = 10,724$$

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	4,255	71,276	0,0597	0,953
Teor de Celulose	1,120	1,538	0,728	0,476

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	60,973	60,973	0,530	0,476
Resíduos	18	2069,965	114,998		
Total	19	2130,938	112,155		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,745)

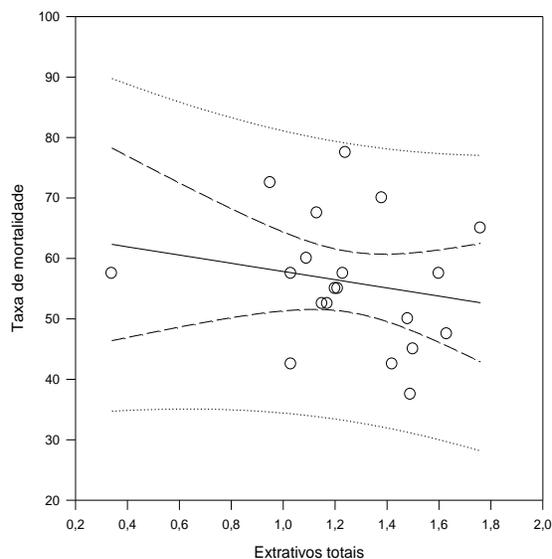
Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,492)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,105

O poder do teste realizado (0,105) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.

Regression, Conf. & Pred.



$$\text{Taxa de mortalidade} = 64,633 - (6,798 * \text{Extrativos totais})$$

N = 20

R = 0,199 R² = 0,0395 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 10,663

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	64,633	10,171	6,355	<0,001
Extrativos totais	-6,798	7,901	-0,860	0,401

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	84,186	84,186	0,740	0,401
Resíduos	18	2046,752	113,708		
Total	19	2130,938	112,155		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,652)

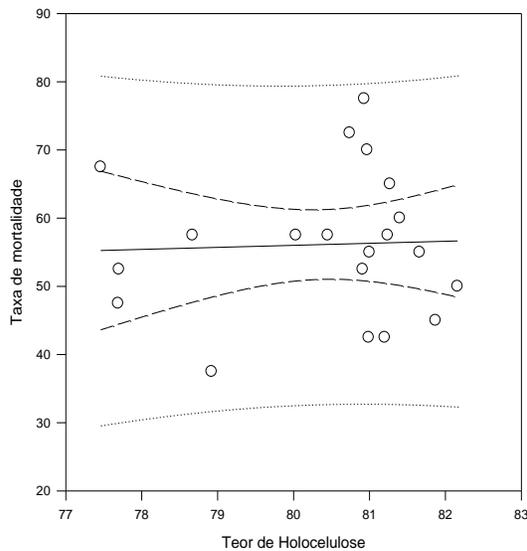
Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,452)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,129

O poder do teste realizado (0,129) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.

Regression, Conf. & Pred.



$$\text{Taxa de mortalidade} = 32,128 + (0,299 * \text{Teor de Holocelulose})$$

N = 20

R = 0,0410 R² = 0,00168 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 10,871

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	32,128	137,795	0,233	0,818
Teor de Holocelulose	0,299	1,714	0,174	0,864

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	3,586	3,586	0,0303	0,864
Resíduos	18	2127,352	118,186		
Total	19	2130,938	112,155		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,453)

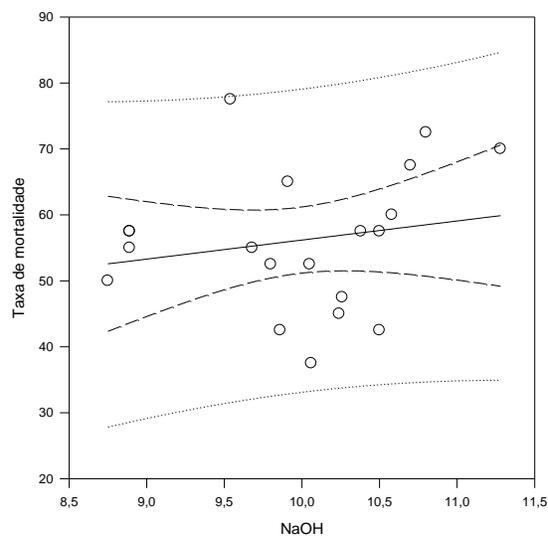
Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,710)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,037

O poder do teste realizado (0,037) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.

Regression, Conf. & Pred.



$$\text{Taxa de mortalidade} = 27,307 + (2,888 * \text{Solubilidade em NaOH1\%})$$

N = 20

R = 0,193 R² = 0,0372 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 10,676

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	27,307	34,623	0,789	0,441
NaOH	2,888	3,462	0,834	0,415

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	79,337	79,337	0,696	0,415
Resíduos	18	2051,600	113,978		
Total	19	2130,938	112,155		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,681)

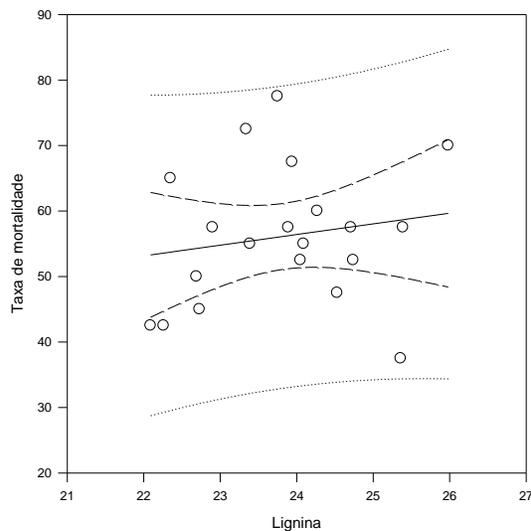
Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,403)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,124

O poder do teste realizado (0,124) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.

Regression, Conf. & Pred.



$$\text{Taxa de mortalidade} = 17,323 + (1,629 * \text{Lignina})$$

$$N = 20$$

$$R = 0,170 \quad R^2 = 0,0290 \quad R^2 \text{ ajustado} = 0,000$$

$$\text{Erro padrão da estimativa} = 10,721$$

	Coeficientes	Erro padrão	t	P
Constante	17,323	52,955	0,327	0,747
Lignina	1,629	2,221	0,733	0,473

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	61,843	61,843	0,538	0,473
Resíduos	18	2069,095	114,950		
Total	19	2130,938	112,155		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,419)

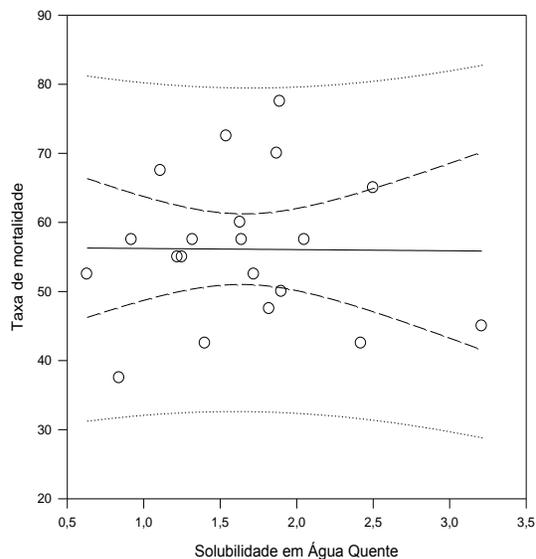
Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,298)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,106

O poder do teste realizado (0,106) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.

Regression, Conf. & Pred.



$$\text{Taxa de mortalidade} = 56,398 - (0,166 * \text{Solubilidade em Água Quente})$$

N = 20

R = 0,00963 R² = 0,0000928 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 10,880

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	56,398	7,113	7,929	<0,001
Solubilidade em Água Quente	-0,166	4,066	-0,0409	0,968

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	0,198	0,198	0,00167	0,968
Resíduos	18	2130,740	118,374		
Total	19	2130,938	112,155		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,295)

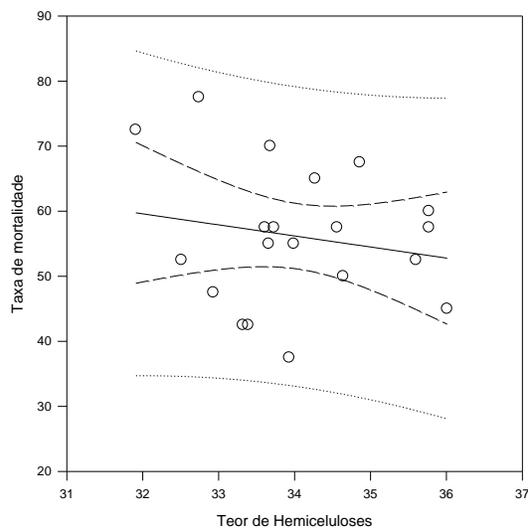
Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,272)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,027

O poder do teste realizado (0,027) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.

Regression, Conf. & Pred.



$$\text{Taxa de mortalidade} = 113,997 - (1,700 * \text{Teor de Hemiceluloses})$$

N = 20

R = 0,184 R² = 0,0339 R² ajustado = 0,000

Erro padrão da estimativa = 10,695

	Coefficientes	Erro padrão	t	P
Constante	113,997	72,907	1,564	0,135
Teor de Hemiceluloses	-1,700	2,140	-0,794	0,437

Análise de variância:

	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	72,144	72,144	0,631	0,437
Resíduos	18	2058,793	114,377		
Total	19	2130,938	112,155		

Teste de Normalidade: Passou (P = 0,854)

Teste de Variância Constante: Passou (P = 0,159)

Poder do teste realizado com alfa = 0,050: 0,117

O poder do teste realizado (0,117) é abaixo da potência desejada de 0,800.

Inferior à potência desejada indica que é menos provável para detectar uma diferença quando ela realmente existe. Os resultados negativos devem ser interpretados com cautela.