

57628

049340

YUSTANE LERISSA VEIGA LOPES

**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA E CASCAS DE *Eucalyptus grandis* Hill ex
Maiden NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. Fábio Akira Mori

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA

Lopes, Yustane Lerissa Veiga

Utilização da madeira e cascas de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden
na produção de painéis cimento-madeira / Yustane Lerissa Veiga Lopes. --
Lavras : UFLA, 2004.

60 p. : il.

Orientador: Fabio Akira Mori.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Madeira. 2. Cascas. 3. *Eucalyptus*. 4. Painel madeira-cimento. 5.
Aptidão. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-
674.834

YUSTANE LERISSA VEIGA LOPES

UTILIZAÇÃO DA MADEIRA E CASCAS DE *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de "Mestre".


APROVADA em 26 de Fevereiro de 2004

Prof. João Vicente de F. Latorraca

DPF / UFRRJ

Prof. Lourival Marin Mendes

DCF / UFLA


Prof. Fábio Akira Mori
DCF / UFLA
(orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Aos parentes e amigos

OFEREÇO

*Aos meus queridos pais, Ricardo Luiz Veiga Lopes e Neuza Aparecida
Lopes, pelo exemplo, dedicação e amor;*

*Aos meus irmãos, Ricardo e Gustavo, pela compreensão e
carinho;*

com toda a minha admiração e gratidão

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida maravilhosa.

À Universidade Federal de Lavras pelo acolhimento e oportunidade de desenvolver esse trabalho.

Ao PROCAD e à CAPES pela concessão das bolsas de estudo.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação do Departamento de Ciências Florestais pelo apoio no decorrer do curso.

Ao Professor Fábio Akira Mori pela orientação, apoio, interesse demonstrado pelo estudo e amizade.

Aos Professores Lourival Marin Mendes e Paulo Fernando Trugilho pela co-orientação, paciência e amizade.

Ao Professor João Vicente de Figueiredo Latorraca pelos esclarecimentos prestados, apoio na montagem dos painéis, contribuições como membro da Banca Examinadora e carinho.

Ao Instituto de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que através do Prof. João Vicente de F. Latorraca disponibilizou a estrutura dos Laboratórios, contribuindo com o sucesso dessa Dissertação.

Ao Gilmar Correa Silva (UFRRJ), que foi meu braço direito na montagem dos painéis e ótimo colega de curso.

Às Ericas – Érica Munaro e Érika Ferreira - e a Bárbara pela confiança e hospedagem durante o processo de montagem dos painéis, colaborando com o bom desenvolvimento desta etapa da pesquisa.

Aos Professores José Tarcisio Lima e José Reinaldo Moreira da Silva por todo apoio, incentivo, contribuições e amizade durante todo o curso.

Ao Professor Natalino Calegário por disponibilizar o material fundamental para este estudo.

À todos os professores do Departamento de Ciências Florestais pelo carinho durante todo o curso.

Aos estudantes de graduação, Gabriela, pelo auxílio com as análises químicas, Maciel, Isaias, Alexandre, Paulo e Alisson pela colaboração na coleta e preparo dos materiais.

Às secretárias do Departamento Gláucia, Lílian, Terezinha e Roseane por procurarem solucionar meus problemas acadêmicos, da melhor forma.

Aos funcionários Claret, Gilson, Hernani, Zé Fazenda, Sr. Vico, Carlos, Lopes, Cláudio (Zootecnia) e Gilberto (Zootecnia) pela importante colaboração na realização deste estudo.

Ao amigo e funcionário Clair por todo apoio durante o curso.

Aos colegas e amigos: Cláudia, Murilo, Sérgio, Celso, Débora, Cíntia, Renato, Claudinéia, Rodrigo e Luiz Felipe pela boa convivência durante o curso.

À amiga Daniela pelo carinho durante todos os anos nesta cidade.

Aos grandes amigos e companheiros de jornada, Juninho, Graciane e Vanete por todos os momentos importantes e eternos que tivemos, e as contribuições para o desenvolvimento da dissertação.

À amiga e irmã Franciane pelos maravilhosos momentos, apoio e conselhos em todo o tempo de convívio.

À amiga Soraya pelo carinho, gargalhadas e pelos bons momentos vividos.

Ao amigo Adalberto - Beto - pelo carinho, paciência, pelas preocupações comigo, e contribuições durante todo o tempo de convívio.

À amiga Vivian pelo carinho, pelas baladas e boas conversas.

À amiga Luciana Neves pelo carinho e as longas conversas.

Aos meus grandes amigos Andrey, Carlos (Kadu), Jefferson, Júnior, Cristiano e Richard, que mesmo à distancia sempre estiveram presentes e torcendo pelo meu sucesso.

À minha “filhinha” e “sobrinho” de quatro patas, Mina e Ghandi, pelos momentos de distração, principalmente quando estava estressada e triste.

À minha sobrinha Júlia pelos lindos sorrisos e alegrias proporcionadas.

Sem dúvida, aos meus pais Ricardo e Neuza pelo incentivo, confiança e amor, e aos meus irmãos Ricardo e Gustavo pela paciência e carinho.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização desse trabalho.

Muito Obrigada.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|--------|
| RESUMO..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 01 |
| 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO..... | 04 |
| 2.1 Painéis cimento-madeira..... | 04 |
| 2.2 Produção de painéis cimento-madeira..... | 05 |
| 2.2.1 Composição dos painéis..... | 05 |
| 2.2.2 Processo de produção dos painéis..... | 12 |
| 2.3 Limitações na produção de painéis cimento-madeira..... | 13 |
| 2.4 O gênero <i>Eucalyptus</i> na produção de painéis cimento-madeira..... | 15 |
| 2.4.1 A madeira de <i>Eucalyptus</i> | 15 |
| 2.4.2 Pesquisas de produção de painéis cimento-madeira com o gênero <i>Eucalyptus</i> | 16 |
| 2.5 Aptidão dos materiais lignocelulósicos com o cimento..... | 18 |
| 2.5.1 Interação cimento-madeira..... | 18 |
| 2.5.2 Métodos de avaliação da aptidão..... | 19 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 22 |
| 3.1 Obtenção das partículas e cascas..... | 22 |
| 3.1.1 Tratamento químico das cascas..... | 24 |
| 3.1.2 Análise física e química da madeira e cascas..... | 25 |
| 3.1.2.1 Determinação da densidade aparente da madeira..... | 25 |
| 3.1.2.2 Determinação de extrativos totais..... | 25 |
| 3.1.2.2.1 Extrativos totais da madeira..... | 25 |
| 3.1.2.2.2 Extrativos totais das cascas..... | 26 |
| 3.1.2.3 Determinação de extrativos das cascas após o tratamento químico..... | 27 |
| 3.2 Análise de aptidão das partículas e cimento..... | 27 |
| 3.3 Preparação dos painéis cimento-madeira..... | 30 |
| 3.3.1 Montagem dos painéis..... | 30 |
| 3.3.1.1 Parâmetros dos painéis e da prensagem..... | 30 |
| 3.3.1.2 Cálculo dos componentes do painel..... | 32 |
| 3.3.1.3 Formação do colchão..... | 33 |
| 3.3.1.4 Acondicionamento..... | 35 |
| 3.4 Avaliação das propriedades dos painéis..... | 36 |
| 3.5 Análise estatística..... | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 39 |
| 4.1 Análise física e química da madeira e cascas..... | 39 |
| 4.2 Resultados da análise de aptidão das partículas de madeira e cascas..... | 40 |
| 4.3 Resultado das propriedades físicas e mecânicas dos painéis..... | 43 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 51 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 52 |
| ANEXOS..... | 57 |

RESUMO

LOPES, Yustane Lerissa Veiga Utilização da madeira e cascas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na produção de painéis cimento-madeira. 2004. 63p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

Os painéis cimento-madeira são constituídos de partículas de madeira, aglutinante mineral, água e aditivos químicos, consolidados através da prensagem a frio e muito utilizados na construção civil. As propriedades destes painéis podem ser prejudicadas, devido à incompatibilidade química entre alguns materiais lignocelulósicos e o cimento, que podem inibir a “pega” deste cimento. Porém esse efeito pode ser minimizado com tratamentos químicos dos materiais. O aproveitamento de resíduos gerados, principalmente pela indústria madeireira, como por exemplo as cascas, pode ser uma alternativa para minimizar o problema de descarte e agregar valores a estes materiais. O objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da utilização da madeira e cascas (sem e com tratamento químico) de *Eucalyptus grandis* na produção de painéis cimento-madeira. Utilizou-se sete tratamentos com diferentes percentagens de madeira e cascas na produção dos painéis: T1: 100% de madeira, T2: 75% de madeira mais 25% de cascas tratadas quimicamente, T3: 50% de madeira mais 50% de cascas tratadas quimicamente, T4: 25% de madeira mais 75% de cascas tratadas quimicamente, T5: 75% de madeira mais 25% de cascas não tratadas, T6: 50% de madeira mais 50% de cascas não tratadas e T7: 25% de madeira mais 75% de cascas não tratadas. Realizou-se também a análise de aptidão das partículas de madeira e das cascas tratadas e não tratadas com o cimento Portland. Os resultados mostraram que a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou uma aptidão moderada ao cimento, as cascas tratadas alta aptidão e as cascas não tratadas extremamente baixa aptidão. O tratamento somente com madeira de *Eucalyptus* apresentou bons resultados para todas as propriedades avaliadas: compressão paralela, ligação interna, módulo de elasticidade, módulo de ruptura, absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24 horas, sendo superiores ao normalmente encontrado na literatura. Os tratamentos com 25%, 50% e 75% de incorporação das cascas tratadas quimicamente apresentaram também bons resultados nas propriedades avaliadas, indicando o efeito do tratamento químico na qualidade do painel. Os tratamentos incluindo cascas não tratadas apresentaram resultados insatisfatórios tornando as incorporações com cascas inapropriadas para produção de painéis cimento-madeira.

¹ Comitê de Orientação: Fábio Akira Mori (Orientador) – UFLA, Lourival Marin Mendes – UFLA e Paulo Fernando Trugilho - UFLA

ABSTRACT

LOPES, Yustane Lerissa Veiga Utilization of the wood and bark of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden in the production of wood-cement panel. 2004. 63 p. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal de Lavras, Lavras².

The cement bonded particleboards, utilized in building construction, consist of wood particles, mineral agglutinant, water and chemical additives consolidated through the cold pressing. The properties of these panels can be jeopardized for chemical incompatibility between some lignocellulosic materials and cement, that can inhibit the cure of this cement. However this effect can be minimized with chemicals treatments of the materials. Utilization of residues produced mainly by timber industry, as barks for example, can be an alternative to minimize the problem of discard and to add value to these materials. The objective of the work was to evaluate technical viability of utilization of wood and barks (without and with chemical treatment) of the *Eucalyptus grandis* in the production of cement bonded particleboards. It was used seven treatments with different percentage of wood and barks for the production of the cement bonded particleboards: T1: 100% wood, T2: 75% wood plus 25% chemically treated bark, T3: 50% wood plus 50% chemically treated bark, T4: 25% wood plus 75% chemically treated bark, T5: 75% wood plus 25% chemically untreated bark, T6: 50% wood plus 50% chemically untreated bark, T7: 25% wood plus 75% chemical untreated bark. It was also carried out the analysis of wood particles and barks both treated and untreated with Portland cement. The results showed that the *Eucalyptus grandis* wood presented a moderate aptitude with cement, the treated barks presented high aptitude and the untreated bark presented extremely low aptitude. The treatment only with *Eucalyptus* wood showed good results to all properties evaluated: compression strength, internal bond, modulus of elasticity, modulus of rupture, water absorption and thickness swelling in 2 and 24 hours, being higher than those normally found in the literature. The treatments with 25%, 50% and 75% of incorporation of the chemically treated barks showed also good results in the evaluated properties indicating the effect of the chemical treatment in the quality of the particleboards. The treatment with untreated barks presented unsatisfactory results, making the addition of bark inappropriate for production of cement bonded particleboards.

² Guidance Committee: Fábio Akira Mori (Major Professor) - UFLA, Lourival Marin Mendes – UFLA and Paulo Fernando Trugilho - UFLA

1 INTRODUÇÃO

As madeiras apresentam algumas características que dificultam sua utilização na construção civil devido, principalmente, a sua anisotropia. A variação das propriedades nas madeiras também é observada entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e até mesmo entre peças de uma mesma árvore (Tsoumis, 1991). Em consequência disso, tornou-se necessário o desenvolvimento de produtos que mantivessem as suas qualidades e minimizassem as suas propriedades indesejáveis, podendo ser aplicados em situações antes restritas a outros tipos de materiais. Dentre esses produtos se destacam os painéis de madeira, tais como: compensados, vigas laminadas, LVL, chapas de partículas e fibras entre outros. (Marra, 1992). O desenvolvimento desses painéis somente foi possível com o aparecimento de adesivos apropriados, principalmente os sintéticos. Uma outra vantagem importante para o desenvolvimento de painéis de madeira é a diminuição da pressão exercida sobre os ecossistemas florestais, principalmente utilizando-se madeiras provenientes de reflorestamentos (Gouveia, 1998).

O desenvolvimento de novas tecnologias que promovam o aperfeiçoamento e diminuam os custos de produção dos painéis já existentes é fator decisivo para o sucesso econômico das indústrias que os fabricam, tornando-os mais competitivos, possibilitando conquistar novos mercados. A indústria de chapas de fibras se insere perfeitamente neste contexto, apresentando uma evolução constante em seus processos produtivos, assim como no lançamento de novos e melhores produtos, Exemplos são as chapas de MDF (medium density fiberboard), as de partículas orientadas, como OSB (oriented strand board), que tiveram sua produção iniciada recentemente no Brasil. Os chamados painéis minerais (mineral-bonded wood), que são produtos fabricados a partir de partículas de madeira e um aglutinante mineral, têm

pequena produção comercial no mercado nacional, mas possuem uma longa história de aplicação e aceitação no setor de construção civil, principalmente na Europa e Ásia. Exemplos são painéis de cimento-madeira produzidos em larga escala no Japão e na comunidade europeia, dentre outros, com uma produção em torno de 2,5 milhões de m³ em 1996 (Moslemi, 1998).

A grande aceitação na utilização deste tipo de painel é devida à sua boa trabalhabilidade, à grande resistência ao ataque de fungos e cupins, ao bom isolamento térmico e acústico, a ser parcialmente incombustível, apresentar menos exigências em relação à matéria-prima (madeira) quanto a sua forma, dimensões e defeitos naturais, entre outros, e a não utilizar adesivo sintético como aglutinante, sendo o cimento Portland de custo bastante reduzido em relação aos adesivos sintéticos.

Devido às suas muitas vantagens, os painéis cimento-madeira são utilizados em construções civis simples e sofisticadas, resultando em maior produtividade de construção, podendo, assim, ser viabilizada a implementação de projetos de interesse social na construção civil utilizando estes tipos de painéis.

Estes fatores contribuem para que a utilização dos painéis cimento-madeira adquira uma posição de destaque entre os produtos florestais, porém, algumas limitações, como a incompatibilidade de espécies, pode, de certa forma, restringir o emprego destes painéis. A presença de algumas substâncias químicas da madeira, que retardam a “pega” e endurecimento do cimento, pode prejudicar as propriedades finais dos painéis (Moslemi, 1998, Latorraca & Iwakiri, 2000). Portanto, pesquisas para ampliar o número de espécies que podem ser utilizadas e os tratamentos adequados para minimizar os efeitos inibidores devem ser realizadas para se conseguir uma boa formação dos painéis de cimento-madeira.

As diferentes espécies de *Eucalyptus* podem ser promissoras como matéria-prima na fabricação deste tipo de painel. O plantio de eucaliptos no

Brasil tem demonstrado ser um dos mais produtivos. Esta vantagem tem sido bem aproveitada pelas indústrias de papel e celulose e nas indústrias siderúrgicas.

O Estado de Minas Gerais apresenta grande área reflorestada com o gênero *Eucalyptus*, aproximadamente 1,52 milhões ha (SBS, 2001), com destaque à espécie *Eucalyptus grandis*. O aproveitamento do *Eucalyptus* como madeira serrada torna-se promissor e as empresas investem no seu aproveitamento tecnológico para esta finalidade. No entanto, aumenta-se também o volume de resíduos gerados, costaneiras, serragem e cascas, trazendo problemas de descarte de ordem ambiental e econômica. Milhares de toneladas de cascas são produzidas anualmente pelas indústrias que consomem madeiras de eucaliptos. Uma alternativa para uso desses resíduos seria a produção de painéis de cimento-madeira.

Sob este contexto, o trabalho apresenta os seguintes objetivos:

1. Avaliar o potencial de utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* na produção de painéis cimento-madeira, determinando as suas propriedades físicas e mecânicas;
2. Avaliar a viabilidade técnica de utilização das cascas tratadas e não tratadas quimicamente de *Eucalyptus grandis* em diferentes porcentagens em substituição da madeira na produção de painéis cimento-madeira, avaliando também as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos;
3. Avaliar, através do ensaio de termometria, a aptidão do cimento com a madeira, cascas tratadas e não tratadas quimicamente de *Eucalyptus grandis*.

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Painéis de cimento-madeira

Os painéis cimento-madeira são uma mistura de partículas de madeira, aglutinante mineral, água e aditivos químicos, consolidados através de prensagem a frio.

A utilização deste tipo de painel não é recente, ocorre há mais de 70 anos. No passado, estes painéis consistiam de partículas excelsior e magnesita e eram utilizados como materiais de baixa densidade para isolamento. Após isso, estes passaram a ser painéis de alta densidade e utilizados com fins estruturais. Atualmente, são aceitos em muitos países por causa de suas características vantajosas sobre outros painéis (Moslemi & Pfister, 1986), tais como: alta durabilidade, trabalhabilidade similar aos produtos de madeira, bom comportamento no emprego de pregos e parafusos, alta resistência ao fogo, resistência a mudanças drásticas de temperatura, alta resistência à umidade, alta resistência a fungos e insetos, não contém formaldeído, são adequados a aplicações externas e internas, têm boa aceitação de tratamentos superficiais, como verniz, lâminas e pinturas, entre outros (Eltomation, 2003). Devido a essas características, são bastante utilizados na construção civil. Esses painéis possuem uma longa história de aplicação no setor de construção civil na Europa e Ásia (Watai, 1996), onde utilizados como paredes, pisos, forros e muros (Okino et al., 2003). Podem ser utilizados em residências, pavilhões, estádios e edifícios públicos, estando presentes em banheiros, lavanderias e cozinhas (Dix, 1989 citado por Latorraca, 2001).

Todavia, grande parte dessas vantagens pode ser anulada pela ocorrência de um fenômeno - a incompatibilidade química entre alguns materiais lignocelulósicos com o aglomerante (cimento), inibindo ou até mesmo

impedindo a “pega” desse cimento. Porém, esse efeito pode ser evitado ou minimizado com o tratamento das partículas do material lignocelulósico, a utilização de um tipo mais adequado ou menos sensível de aglomerante à combinação com o material lignocelulósico ou a utilização de aditivos químicos e minerais aceleradores da “pega” do cimento (Beraldo et al., 2002).

No Brasil existe uma pequena produção industrial deste tipo de painel, mas têm-se realizado várias pesquisas com os painéis cimento-madeira. O país possui grande potencial como produtor destes painéis, principalmente por causa da disponibilidade de madeira e resíduos florestais, aliada ao menor custo do cimento em relação às resinas sintéticas e também porque o setor de construção civil é bastante expressivo no país.

2.2 Produção de painéis cimento-madeira

2.2.1 Composição dos painéis

Os painéis cimento-madeira apresentam uma composição relativamente simples, sendo compostos de partículas do tipo excelsior, strands, flakes ou fibras de materiais lignocelulósicos misturadas com cimento Portland, água e pequenas quantidades de aditivos. As partículas de madeira são agregadas e agentes reforçantes, tendo o cimento como ligante, água como reagente e os aditivos catalisadores (Okino et al., 2003).

Inicialmente, produziam-se esses painéis com cimento magnésiano ou gesso, mas o cimento Portland passou a ser o aglutinante mineral mais utilizado em virtude dos melhores resultados sobre as propriedades dos painéis produzidos (Moslemi & Pfister, 1987).

O cimento Portland pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de

água (Medeiros, 2003). Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes de acordo com as necessidades de cada obra. Por essas características, o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água (Medeiros, 2003). A primeira fábrica a produzir cimento, no Brasil, foi a Companhia Brasileira de Cimento Portland Perus, no ano de 1926. Hoje, o Brasil é um dos oito maiores produtores de cimento Portland do mundo e detém uma das mais avançadas tecnologias para a fabricação do cimento. No ano de 2000, o Brasil produziu cerca de 39,6 milhões de toneladas de Cimento Portland (ABCP, 2003).

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o principal componente, está presente em todos os tipos de cimento Portland e tem como matérias-primas o calcário e argila, possuindo a peculiaridade de desenvolver a reação química na presença de água, tornando-se pastoso e em seguida endurecendo, adquirindo elevada resistência e durabilidade (ABCP, 2002).

As adições, quando misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento Portland disponíveis no mercado, sendo elas: gesso, escórias de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos (ABCP, 2002).

O cimento Portland Comum é uma referência para comparação com as características e propriedades dos tipos básicos de cimento Portland disponíveis no mercado brasileiro (Medeiros, 2003). Os principais tipos de cimento oferecido no mercado, ou seja, os mais utilizados são (ABCP, 2002):

- cimento Portland comum (CP I);
- cimento Portland composto (CP II);
- cimento Portland de alto-forno (CP III);
- cimento Portland pozolânico (CP IV).

Existem outros tipos menos utilizados, como, por exemplo, o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), que é mais aplicado quando se requerem elevadas resistências, com maior velocidade (ABCP, 2002).

Durante as reações químicas, quando o cimento é hidratado, existe uma liberação de calor. A quantidade de calor liberado depende, dentre outros fatores, do tipo de cimento, da sua finura, da temperatura, do tempo de hidratação etc (ABCP, 2002). Os principais produtos hidratados do cimento podem ser classificados, de um modo geral, em silicatos de cálcio hidratados (C_3S e C_2S) e aluminatos tricálcicos hidratados (C_3A) (Neville, 1982). Grande parte desse calor liberado durante a hidratação é atribuída a esses componentes, C_3S e C_3A , uma vez que são componentes expressivos do cimento que apresentam maior calor de hidratação individualmente. Assim, cimento com altos teores de C_3S e C_3A potencialmente apresentarão alto calor de hidratação, como é o caso do cimento de alta resistência inicial (CP V – ARI) (Battagin & Esper, 1988 citado por Latorraca, 2000). Por apresentarem esse alto calor de hidratação, possuem uma “pega” mais rápida; por isso normalmente são os mais adequados ao uso em painéis cimento-madeira (Musokotwane, 1982 citado por Latorraca, 2000). O tempo de “pega” é definido como o tempo percorrido entre a mistura dos componentes e o tempo necessário para se obter a temperatura máxima de hidratação e a pasta deixar de ser deformável para pequenas cargas, tornando-se um bloco rígido (Biblis e Lo, 1968; Petrucci, 1987).

O processo de “pega” é acompanhado por mudanças de temperatura na pasta de cimento e é representada por dois estágios, início e fim da pega; o início corresponde a uma rápida elevação da temperatura, e o fim da pega ao pico da temperatura (Neville, 1982).

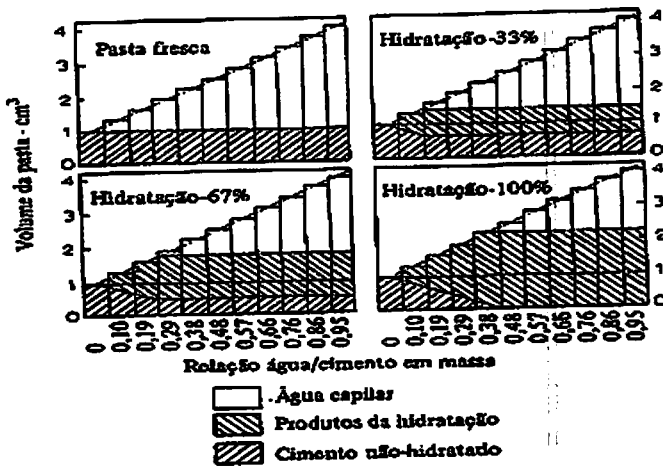
Após a “pega”, a massa continua a aumentar em coesão e resistência, ocorrendo a fase de endurecimento (Petrucci, 1987). Essa fase pode durar muitos dias e verifica-se que aos vinte oito dias de endurecimento considera-se a massa

de cimento com uma resistência relativa de 100% (Giannusso, 1992). Devido a isso, os ensaios de resistência normalmente são realizados aos vinte oito dias.

A água, outro componente na composição dos painéis, é necessária para que ocorram as reações químicas do aglutinante (cimento), para que os aditivos sejam dissolvidos, e também para permitir que o cimento e o material lignocelulósico se misturem uniformemente (Simatupang et al., 1978 citado por Latorraca, 2000).

A resistência dos painéis de madeira-cimento, segundo Simatupang et al. (1978) citado por Latorraca (2000), é muito influenciada pela presença de poros na pasta, que são causados por quantidades excessivas de água; sendo assim, a quantidade de água a ser adicionada deve ser mantida em níveis mínimos, pois como ocorre com um concreto, a propriedade de resistência dos painéis de cimento-madeira varia com a quantidade de água adicionada. Quando um concreto está plenamente adensado, a sua resistência é inversamente proporcional à relação água:cimento (A/C). Esta relação é o principal fator da resistência de um concreto plenamente adensado, pois ela determina a porosidade da pasta do cimento em qualquer estágio da hidratação; assim, tanto a relação A/C quanto o grau de adensamento têm influência sobre o volume de vazios (poros) (Neville, 1982).

Em uma amostra de cimento selada, ou seja, num sistema sem a entrada ou saída de água da pasta, sua hidratação completa só será possível quando a mistura tiver uma relação A/C igual a 0.5 em massa. Contudo, se houver água disponível vinda de fora, com uma relação superior a 0.38 em massa, todo o cimento poderá se hidratar, mas também estarão presentes poros capilares (Neville, 1982). A Figura 1 mostra os volumes relativos de cimento não-hidratado, produtos de hidratação e capilares para misturas com diferentes relações água:cimento.



Fonte: Neville (1982)

FIGURA 1 - Composição da pasta de cimento em diversos estágios de hidratação

Como pode ser verificado pelo diagrama de Hidratação 100% da Figura 1, uma relação A/C acima de 0,38 proporciona hidratação completa, inexistência de cimento não-hidratado, porém sobrar um certo volume de poros capilares (Neville, 1982). Uma relação A/C de 0,4 conduz a ótimos resultados, apesar de na prática ser mais recomendável utilizar uma relação de 0,5 em massa. Relações menores dificultam a mistura dos componentes (Valenzuela, 1989 citado por Latorraca, 2000).


A água total está presente no processo de manufatura dos painéis dividida em água adicionada, referente à umidade dos materiais lignocelulósicos, e a utilizada para dissolução dos aditivos (Giammusso, 1992). A água presente no agregado – material lignocelulósico – se misturará à água adicionada quando houver a mistura dos componentes dos painéis, portanto essa água deve ser computada no cálculo da quantidade de água adicionada com relação à relação água:cimento (Neville, 1982). Porém, essa água das partículas

de madeira só estará disponível como um líquido se o teor de umidade destas estiver acima do ponto de saturação das fibras (PSF). Assim, geralmente as equações desenvolvidas para determinar a quantidade de água levam em consideração a umidade no PSF (Latorraca, 2000). Outro ponto importante é a contaminação da água por materiais incompatíveis com o cimento, como açúcares, ácidos húmicos e sulfatos, entre outros, que podem causar problemas com a cura do cimento (Giammusso, 1992). Portanto, a água a ser utilizada deve estar livre desses materiais.

Outro componente dos painéis são os aditivos, que são produtos químicos usados em pequenos teores para melhorar propriedades do concreto fresco ou do concreto endurecido (Giammusso, 1992). Os aditivos podem ser classificados de acordo com a finalidade de uso no concreto; os mais comumente utilizados em um concreto são os aceleradores da resistência inicial e o melhor acelerador de endurecimento do concreto é o cloreto de cálcio (CaCl_2) (Giammusso, 1992). A adição de CaCl_2 aos concretos aumenta a velocidade de crescimento da resistência, pois aumenta a velocidade de desprendimento de calor nas primeiras horas após a mistura; sendo assim este é, provavelmente, um catalisador das reações de hidratação do C_3S e do C_2S , componentes do cimento (Neville, 1982).

Normalmente a presença de material lignocelulósico prolonga, ou até mesmo impede, a “pega” do cimento. Com a adição de aditivos aceleradores, principalmente o CaCl_2 , a ação das substância inibidoras do cimento presentes nos materiais, pode ser contrabalanceada. Porém, a eficiência da ação desses aceleradores depende do material lignocelulósico empregado, embora em certas situações nem o emprego de aceleradores elimine as barreiras que impedem a adequada reação do cimento em presença desses materiais (Beraldo, 1997).

Latorraca (2000), estudando quatro diferentes aditivos químicos aceleradores, CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2SiO_3 e $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ na concentração de 3%,




verificou que o CaCl_2 obteve o melhor resultado e o Na_2SiO_3 , os resultados mais insatisfatórios. Então o autor estudou duas outras concentrações para o CaCl_2 , 2% e 4%, e concluiu que o CaCl_2 num percentual de 4% em massa de cimento, proporcionou os melhores resultados.

Um importante aspecto da maioria dos aditivos é que eles devem ser usados fundamentalmente com base em experiências ou em ensaios quando necessários. A quantidade de aditivo colocado numa mistura deve ser cuidadosamente controlada (Neville, 1982).

Outro componente chave na composição dos painéis cimento-madeira são os materiais lignocelulósicos, que comparados a outros tipos de painéis, como compensados e sarrafeados, apresentam menores exigências quanto a forma, dimensões e defeitos naturais, desses materiais. Assim, em geral a maioria dos materiais lignocelulósicos pode, teoricamente, ser empregado na produção destes painéis; a maior exigência se refere à composição química destes, que pode afetar a solidificação do cimento. As essências florestais são, geralmente, as mais utilizadas nas indústrias destes painéis, dentre elas as coníferas, por apresentarem menores limitações quanto à cura do cimento, mas podendo ser utilizados também resíduos vegetais, tais como casca do coco, bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz, etc. (Chittenden et al., 1975 citado por Latorraca, 2000).

O uso de cascas de essências florestais geralmente não é aconselhável nos concretos, e também nos painéis de cimento-madeira, pois estas possuem altos teores de matéria orgânica que podem interferir nas reações de hidratação do cimento (Neville, 1982). Geralmente, a presença de cascas reduz a compatibilidade do cimento. Este efeito pode ser observado no caso de *Eucalyptus loxopleba*, que teve a compatibilidade diminuída com a inclusão de cascas. Surpreendentemente, a presença de casca levemente aumentou a compatibilidade do *Eucalyptus kochii* com o cimento. A causa deste aumento na



compatibilidade pode ser considerada ainda desconhecida (Evans et al., 2000). No entanto, pesquisadores como Del Menezzi & Souza (2000), citados por Latorraca (2000), relacionam este efeito ao fato de que extrativos solúveis em água, originários da casca, apresentam um pH mais ácido do que o extrativo da madeira.

Muitos ensaios têm sido feitos para se utilizar casca como um aditivo na manufatura de chapas de fibras. Certos efeitos negativos têm sido encontrados, como, redução da resistência dos produtos e influência na coloração. Porém, Marian e Wissing (1959) citados por Browning (1975), experimentaram a preparação de chapas duras de “spruce” com adições de fibras de cascas e verificaram que quantidades de 30 a 40% de cascas poderiam ser utilizadas sem deterioração dos produtos.

2.2.2 Processo de produção dos painéis

A tecnologia de produção dos painéis cimento-madeira é muito similar ao processo de produção de aglomerados com resina sintética, podendo-se utilizar equipamentos comumente utilizados na produção de painéis de partículas (Simatupang et al., 1995).

Segundo Moslemi (1998), os painéis de cimento-madeira são produzidos em plantas relativamente pequenas quando comparadas às de aglomerado convencional, o que se deve à lenta velocidade de cura destes painéis.

O processo industrial de produção de painéis cimento-madeira pode ser resumido da seguinte maneira: as partículas de madeira são molhadas com a quantidade de água calculada, a qual pode conter os aditivos aceleradores da “pega” do cimento; o cimento Portland é, então, adicionado, e todos esses componentes são misturados até se obter uma homogeneidade da mistura. A formação dos painéis começa com a deposição da mistura, sobre uma esteira

móvel ou uma lâmina de aço para formar o colchão. Um certo número de colchões é empilhado sobre uma base de chapa de aço colocada sobre um carrinho (aparato) e outra chapa de aço alto peso é colocada no topo da pilha. O aparato é movido para uma prensa hidráulica e os colchões são prensados para produzir painéis de espessuras pré-ajustadas. Uma pressão de 1,5 – 3,0 MPa é requerida para se obterem painéis coesos (Simatupang et al., 1995). Enquanto ocorre a pressão, os painéis podem ser aquecidos a uma temperatura de 80 °C. Isto ajuda reduzir o tempo exigido para que o compósito atinja a resistência interna suficiente para compensar as forças de retorno da espessura das partículas de madeira. Entretanto, um tempo mínimo de 8 horas é requerido. Para reduzir ainda mais este tempo, algumas modificações podem ser feitas, como o uso de um cimento de endurecimento rápido; assim, o tempo de prensagem dos painéis de cimento-madeira pode ser reduzido para entre 10 e 16 minutos a 70 – 90 °C. Em seguida, os painéis são curados por 2 semanas em temperatura ambiente para completar o endurecimento (Simatupang et al., 1995).

Após a maturação, os painéis são transportados por uma estufa de secagem para garantir que ficarão com o teor de umidade entre 9 e 10%. Já condicionadas, as chapas recebem o acabamento final para que então possam ser comercializadas (Latorraca, 2001).

2.3 Limitações na produção de painéis cimento-madeira

As dificuldades na produção destes painéis são o elevado peso, a lenta velocidade de cura e principalmente a seleção de espécies adequadas para a produção. Vários estudos têm mostrado que a capacidade de solidificação do cimento na presença de materiais lignocelulósicos é determinada pela

composição química dos mesmos e que o cimento não reage igualmente bem com todas as espécies de materiais (Moslemi & Pfister, 1987).

Os grandes responsáveis pelas diferenças nas reações com o cimento, são os extrativos solúveis em água ou alcali e açúcares. Estes extrativos tendem a prolongar o tempo de pega do cimento (Hofstrand et al., 1984). Os extrativos são substâncias que podem ser removidas com solventes orgânicos ou água, tanto da madeira quanto das cascas, onde normalmente se apresentam em maiores quantidades, em torno de 20-40% e na madeira, em torno de 1 a 10% para folhosas. Essas substâncias são resinas, gorduras, gomas, hidrocarbonetos, terpenos, esteroides, alcalóides, álcoois, proteínas, pigmentos, taninos, glicosídeos e carboidratos entre outros (Browning, 1975). Esses extrativos, no caso da produção dos painéis cimento-madeira, podem retardar e, em alguns, casos impedir a “pega” do cimento, sendo necessária a utilização de algum processo para minimizar a influência destas substâncias sobre a hidratação do cimento. A remoção destas substâncias pela ação de soluções aquosas ou imobilização das substâncias através do recobrimento por uma película protetora (oleosa ou salina) pode melhorar a compatibilidade do material com o cimento (Beraldo et al., 2002).

Quando a água é adicionada ao cimento ocorrem as reações de hidratação e o calor é liberado. Durante os estágios iniciais de hidratação, silicatos di e tricálcico são convertidos em um gel ($\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) e hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), após isso ocorre um aumento de pH da mistura cimento-material lignocelulósico para aproximadamente 12,5, o que facilita a dissolução dos constituintes do material lignocelulósico, particularmente os extrativos do cerne e os carboidratos de peso molecular baixo. Esses componentes podem interferir na hidratação do cimento (Sandermann & Kohler, 1964 citados por Evans et al., 2000). As reações inibidoras podem se desenvolver na interface material lignocelulósico-cimento ou na matriz e enfraquecer as ligações

mecânicas ou químicas entre o material e o cimento. Terpenos, resinas e substâncias graxas podem migrar para a superfície do material durante a secagem. A formação de uma camada superficial hidrofóbica reduz as ligações de hidrogênio entre o material e o cimento, implicando em redução da resistência na interface (Miller & Moslemi, 1991).

Os compostos fenólicos, tais como os taninos, apresentam a capacidade de se combinar com íons metálicos do cimento, o que pode impedir as reações de hidratação. A incompatibilidade da madeira de *Acacia mangium* com o cimento deve-se à presença de substâncias fenólicas, sobretudo de taninos condensados (Tachi et al., 1988 citados por Beraldo, 1997).

Sendo assim, o maior problema tecnológico para produção desses painéis é que a resistência à adesão depende de várias características dos materiais lignocelulósicos empregados.

2.4 O gênero *Eucalyptus* na produção de painéis cimento-madeira

2.4.1 A madeira de *Eucalyptus*

No Brasil, atualmente são cultivadas diversas espécies de eucalipto com uma ampla faixa de densidade, de constituição química e anatômica e, assim, com diferenças nas propriedades físicas e químicas da madeira, tornando-se possível um amplo uso da madeira (Muniz, 2002).

Essas características têm sido bem aproveitadas pelas indústrias de celulose e papel e de carvão, mas estão começando ser aproveitadas por outras indústrias, como as moveleiras, em substituição às madeiras tropicais (Muniz, 2002). A sua utilização como madeira serrada é devida, também, a este gênero possuir características e ser bastante difundido, apresentando condições de crescimento e desenvolvimento em condições climáticas limitantes.

Porém, a madeira de eucalipto apresenta algumas características que dificultam a sua maior utilização como madeira serrada, como tensões de crescimento que provocam rachaduras nas toras diminuindo, o rendimento no desdobro e maior tendência ao colapso da madeira durante a secagem, entre outras. A utilização de materiais genéticos com menor grau de tensão e técnicas de desdobro mais adequadas pode minimizar esses efeitos (Müniz, 2002).

Embora a madeira de eucaliptos possua algumas dificuldades para o uso, o seu consumo como madeira serrada está crescendo; no ano de 2000, o consumo de toras de *Eucalyptus* e *Pinus* para esta finalidade foi de 19,5 milhões de m³ (ABRACAVE, 2001). Com isso, a geração de resíduos aumentará, criando um problema econômico por causa do desperdício de matéria-prima e também um sério problema ambiental. A maior quantidade de resíduos é gerada no processo de desdobro das toras (Jara, 1987), sendo distribuída em torno de 19,2% de costaneiras; 15,6% de aparas e 13,0% de serragem (Tomaselli, 1997). Grande parte destes resíduos, como costaneiras (incluindo as cascas) e aparas, poderia ser utilizada na geração de partículas, matéria-prima da produção de painéis cimento-madeira.

2.4.2 Pesquisas de produção de painéis cimento-madeira com o gênero *Eucalyptus*

Apesar de o gênero *Eucalyptus* ser um dos mais promissores em termos de utilização comercial, apenas, na África do Sul existe produção de painéis cimento-madeira com o gênero. Algumas pesquisas científicas em âmbito laboratorial estão sendo realizadas para verificar o potencial do gênero na manufatura destes painéis.

Semple et al. (2000), pesquisando a aptidão de oito espécies de eucaliptos australianos na utilização em painéis cimento-madeira, concluíram

uma compatibilidade moderada para as espécies com o cimento Portland, sendo que o *Eucalyptus badgensis* e o *Eucalyptus smithii* tiveram a mais alta compatibilidade, sendo promissores ao uso.

Evans et al. (2000) concluíram a possibilidade de produção de painéis cimento-madeira com *Eucalyptus tereticornis* e *Eucalyptus grandis* com propriedades satisfatórias, desde que com o uso de um aditivo acelerador na manufatura. Rahim & Ong (1983), citados por Evans et al. (2000), concluíram que a madeira de *Eucalyptus grandis* é inapta à manufatura destes painéis.

Jain et al. (1989) concluíram que a madeira de *Eucalyptus camaldulensis* foi considerada compatível com o cimento, mas Hachmi & Sesbou (1991) encontraram procedências de *Eucalyptus camaldulensis* incompatíveis com o cimento (Evans et al., 2000).

Outras espécies, como *Eucalyptus dunnii*, segundo Latorraca (1996), foram consideradas promissoras para o uso em painéis cimento-madeira, apesar de os resultados para ligação interna não terem sido tão satisfatórios; porém, resultados melhores podem ser obtido através de outros tratamentos com as partículas.

Latorraca (2000) conclui que as espécies *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus robusta*, e especialmente o *Eucalyptus urophylla*, apresentam boas possibilidades ao uso em painéis de cimento-madeira, mas que o *Eucalyptus citriodora* não apresentou tão boas possibilidades.

Porém, das 500 espécies de *Eucalyptus* descritas por Boland et al. (1984), poucas têm sido testadas para avaliar a compatibilidade com o cimento e, menos ainda, as que são consideradas suscetíveis à manufatura de compósitos de cimento-madeira (Semple et al., 2002).

Portanto, verifica-se um amplo campo para pesquisa e um grande potencial de uso das espécies do gênero *Eucalyptus* para a produção de painéis de cimento-madeira, bem como a utilização dos resíduos gerados.

2.5 Aptidão dos materiais lignocelulósicos com o cimento

2.5.1 Interação cimento-madeira

A verdadeira origem da resistência da pasta de cimento não está completamente esclarecida, mas provavelmente deriva de dois tipos de forças de coesão. O primeiro tipo é a atração física entre superfícies sólidas dos componentes do cimento, como silicato de cálcio hidratado (C-S-H), sulfoaluminatos de cálcio, hidróxido de cálcio e grãos de clínquer não hidratado, separadas somente pelos pequenos poros da pasta. Esta atração é conhecida usualmente como “forças de Van der Waals” (Neville, 1982; Metha & Monteiro, 1994).

A origem do segundo tipo de coesão são as ligações químicas, como as partículas da pasta de cimento não podem ser dispersadas pela adição de água, parece que elas se interligam por forças químicas, as quais são muito mais fortes que as forças de Van der Waals, mas somente abrangem uma pequena fração da porção das regiões-limites das partículas da pasta (Neville, 1982). Hachmi & Campbell (1989), citados por Latorraca (2000), relatam que a adesão química ocorre quando a madeira e o cimento possuem uma alta mobilidade, que diminui com o tempo; em seguida o cimento começa a cristalizar.

Portanto, não se pode estimar a importância relativa das forças físicas e químicas, mas não há dúvida de que ambas dão sua contribuição para a resistência (Neville, 1982).

O cimento sofre interferência por açúcares de formação cristalina, afetando, desta maneira, a possível interação entre a madeira e o cimento e a interação interna do próprio cimento, resultando em painéis de qualidades inferiores (Ahn & Moslemi, 1980; Weatherwax & Tarkow, 1964 citados por Latorraca & Albuquerque, 2002).

Provavelmente, o retardamento da “pega” do cimento pelos inibidores constituintes dos materiais lignocelulósicos é provocado por uma membrana impermeável, criada por estes constituintes, que envolve as partículas de cimento. A hidratação do grão de cimento é rapidamente interrompida pelos retardadores da “pega” e isso só pode ser explicado pela formação da membrana impermeável em torno do grão (Sandermann et al., 1960 citado por Grandi, 1995).

Essa ação dos retardadores de “pega” e endurecimento do cimento também pode ser explicada pelo fato de que eles modificam o crescimento dos cristais ou sua morfologia, sendo absorvidos sobre a camada de cimento hidratado que se forma rapidamente, tornando lento o crescimento dos núcleos dos cristais de hidróxido de cálcio (Neville, 1997 citado por Latorraca & Albuquerque, 2002).

2.5.2 Métodos de avaliação da aptidão

Vários são os métodos para se avaliar a aptidão de um material com o cimento. A resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos é utilizada para determinar a compatibilidade de várias espécies com o cimento Portland (Lee et al., 1986 citado por Latorraca, 2000), o qual é utilizado também para avaliar a resistência de um concreto (Neville, 1982).

Outra forma de se avaliar a compatibilidade é a razão do índice de temperatura máxima, ou seja, a utilização da evolução da temperatura de hidratação para gerar equações, como é o caso empregado por Hachmi et al. (1990), utilizando os valores de temperatura máxima e tempo de hidratação (Latorraca, 2000).

Um dos métodos mais difundidos e utilizado é o proposto por Sandermann & Kohler (1964) o qual consiste em mensurar a elevação da

temperatura de hidratação durante o processo de endurecimento da mistura cimento-madeira-água, sugerindo que temperaturas superiores a 60°C, espécies com alta compatibilidade, e temperaturas inferiores a 50°C, espécies incompatíveis com o cimento empregado (Hofstrand et al., 1984).

Outro método é o baseado no tempo para se alcançar a temperatura máxima de hidratação, descrito por Weatherwax & Tarkow (1964) e chamado de índice de inibição, em que as espécies misturadas com o cimento que levam um período de tempo de 15 horas para atingir a temperatura máxima são consideradas apropriadas para a manufatura de painéis, já as que alcançam mais de 20 horas para atingir essa temperatura podem ser consideradas altamente inibidoras (Hofstrand et al., 1984).

Além do tempo para alcançar a temperatura máxima de hidratação do cimento, Hofstrand et al. (1984) acrescentaram a temperatura máxima atingida pela mistura cimento-madeira-água e cimento-água, além da variação máxima do tempo e temperatura, obtendo a equação, definida como índice de inibição, expressa a seguir:

$$I = 100 \left[\left(\frac{t_2 - t'_2}{t_2} \right) \left(\frac{T'_2 - T_2}{T'_2} \right) \left(\frac{S'_2 - S_2}{S_2} \right) \right],$$

em que:

I = índice de inibição;

t_2 = tempo para se alcançar a temperatura máxima de hidratação da mistura cimento-madeira-água;

t'_2 = tempo para se alcançar a temperatura máxima de hidratação da mistura cimento-água;

T_2 = Temperatura máxima atingida pela mistura cimento-madeira-água;

T'_2 = Temperatura máxima atingida pela mistura cimento-água;

S_2 =Variação máxima da temperatura por hora para mistura cimento-
madeira-água;

S_2' = Variação máxima da temperatura por hora para mistura cimento-
água.

Esta equação difere substancialmente daquelas tradicionalmente utilizadas por outros pesquisadores. Hofstrand et al. (1984) consideram valores inferiores a 10% baixo índice de inibição; entre 10 e 50%, índice moderado; e valores superiores a 50%, alto índice.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas oito árvores de *Eucalyptus grandis* provenientes do Campus da Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras-MG, com idade de nove anos. A classe diamétrica das árvores estava na faixa entre 14 e 22 cm e a altura total, entre 18 e 24,5m.

3.1 Obtenção das partículas de madeira e cascas

As árvores foram derrubadas, conduzidas para a serraria do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG e desdobradas tangencialmente, gerando tábuas de 2cm de espessura, comprimento e largura de acordo com o diâmetro das toras. Em seguida, as tábuas foram seccionadas de um em um metro e confeccionadas pequenas peças de 9 cm de largura com o auxílio de uma serra de fita no Laboratório de Usinagem do Departamento de Ciências Florestais da Ufla. A Figura 2 ilustra a confecção destas peças.

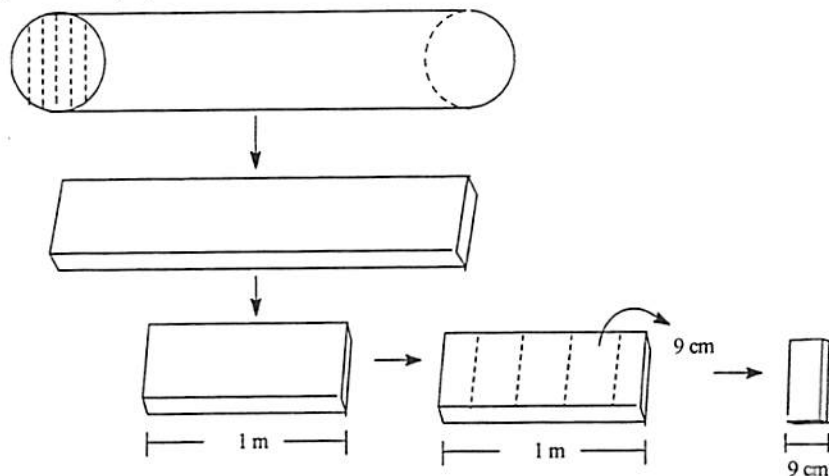


FIGURA 2 - Esquema de confecção das peças para a geração das partículas

Parte destas peças foi reservada para determinar a densidade aparente da madeira. O restante das peças foi armazenado em tanque com água para melhor amolecimento da madeira para facilitar a geração das partículas.

As partículas foram geradas em um gerador de partículas conforme a Figura 3, com as seguintes dimensões: 9 cm de comprimento, 2 cm de largura e espessura em torno de 0,04 mm. Essas partículas foram secas ao ar livre, moídas em moinho martelo e passadas em peneira de 0,5 cm de abertura no Departamento de Zootecnia da UFLA. Uma parte destas partículas foi retirada para a análise química.



FIGURA 3 - Geração das partículas de madeira

As cascas foram obtidas a partir das costaneiras e laterais das tábuas após o processamento das toras; em seguida elas foram picadas com auxílio de facão e secas ao ar livre durante duas semanas. Foram então moídas em moinho martelo e peneiradas com peneira de 1 cm de diâmetro de abertura. Retirou-se uma parte da casca moída e peneirada para a posterior análise química.

3.1.1 Tratamento químico das cascas

Aproximadamente 30 Kg das cascas moídas receberam tratamento utilizando água e hidróxido de sódio para a retirada dos componentes secundários (extrativos).

As cascas foram colocadas em recipientes de 50 L com a adição de água até a completa saturação, deixando-se um volume de água acima destas durante dois dias, agitando-se periodicamente. Após isso, a água foi retirada e as cascas, lavadas com água corrente e retornadas aos recipientes, acrescentando-se novamente água mais hidróxido de sódio 1% p/v e deixando-se por mais 48 horas. Após esse período, novamente procedeu-se a lavagem e a troca de água, verificando-se, de 72 horas em 72 horas, a coloração da água até que essa se tornasse clara, indicando a não mais remoção de compostos químicos. A Figura 4 mostra o procedimento utilizado. Após o tratamento químico das cascas, estas foram secas ao ar livre.

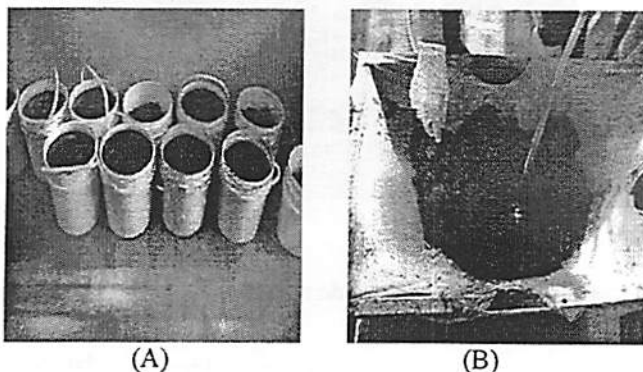


FIGURA 4- Procedimento do tratamento químico das cascas de *Eucalyptus grandis*

3.1.2 Análise física e química da madeira e de cascas

3.1.2.1 Determinação da densidade aparente da madeira

As amostras foram acondicionadas em uma sala climatizada a uma temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e $60 \pm 5\%$ de umidade relativa no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Ufla.

A massa das amostras foi obtida através de pesagem em balança analítica 0,001g na umidade de equilíbrio higroscópico. O volume foi determinado pelo método de imersão em mercúrio.

3.1.2.2 Determinação dos extrativos totais

Para realização da análise química, a madeira e as cascas foram moídas e classificadas por um sistema de peneiras metálicas com malhas conhecidas. Utilizou-se o material que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retido na de 60 mesh. Esse material foi acondicionado em ambiente climatizado com $20 \pm 1^\circ\text{C}$ de temperatura e $60 \pm 5\%$ de umidade relativa.

As metodologias utilizadas nas análises químicas de extrativos totais para a madeira e as cascas são descritas a seguir:

3.1.2.2.1 Extrativos totais da madeira

Pesou-se 1 g de amostra seca da serragem em cadinho de vidro sinterizado de porosidade dois, previamente seco e tarado em balança analítica 0,0001g. O cadinho foi colocado em um extrator soxhlet e a extração foi realizada primeiramente com álcool/tolueno (1: 2 v/v) por um período de tempo de 6 horas após o primeiro refluxo; na sequência, realizou-se a extração com

álcool etílico também durante 6 horas após o primeiro refluxo, deixando as amostras secarem ao ar após cada extração.

Com a ajuda de uma bomba de vácuo, filtrou-se o material de cada cadinho com água quente até se verificar a transparência da água, indicando a não remoção de outros componentes.

Os cadinhos foram conduzidos à secagem em estufa a 50 °C para eliminar o excesso de água e depois transferidos para uma estufa a 103 °C ± 2°C até peso constante, em torno de 24 horas.

Retiraram-se os cadinhos da estufa, armazenando-os em um dessecador, e estes foram esfriados e pesados. Utilizaram-se três repetições para esta análise.

Calculou-se a porcentagem de extrativos totais através da expressão:

$$\text{Extrativos totais (\%)} = (1 - \text{Peso seco da serragem após extrações}) * 100$$

3.1.2.2.2 Extrativos totais da casca

Pesou-se 1g absolutamente seco de cascas em cadinho de vidro sinterizado de porosidade dois, previamente seco e tarado em balança analítica 0,0001 g.

O cadinho foi colocado em extrator soxhlet, e primeiramente realizou-se a extração com tolueno por um período de tempo de 6 horas, após o primeiro refluxo. Em seguida, realizou-se a extração com álcool etílico também por um período de 6 horas, posteriormente em álcool/tolueno (1: 2 v/v) também por 6 horas, em seguida em diclorometano por 6 horas, deixando o cadinho com a amostra secar ao ar após cada uma das extrações.

Posteriormente, com a ajuda da bomba de vácuo, o cadinho com a amostra foi filtrado com água quente, durante 3 horas, até notar-se a transparência da água. Utilizaram-se três repetições para esta análise.

Seguindo o mesmo procedimento realizado para análise de extrativos totais da madeira, foi calculada a porcentagem dos extrativos totais da casca.

3.1.2.3 Determinação de extrativos das cascas após o tratamento químico

Repetiram-se exatamente os passos realizados no tratamento químico das cascas, com uma menor quantidade destas, em torno de 100g, utilizando-se quatro repetições.

3.2 Análise de aptidão das partículas e cimento

O método utilizado para avaliar a aptidão das partículas com o cimento foi o utilizado por Hofstrand et al. (1984), com algumas modificações.

Este teste foi realizado no Laboratório de Anatomia do Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ, Seropédica-RJ.

Para esta avaliação utilizaram-se as partículas de madeira que passaram pela peneira de 0,61 mm. Determinou-se o teor de umidade das partículas para proceder o cálculo da quantidade de madeira e água.

Este ensaio consistiu em mensurar, de forma sistemática, a evolução da temperatura da mistura cimento-madeira durante certo período de tempo. O monitoramento dessa temperatura de reação é utilizada como parâmetro para se determinarem índices de inibição da “pega” ou endurecimento.

Dentro de um saco plástico foram colocados 200 g de cimento Portland CP V – ARI/ Plus, 15 g de partículas secas e adicionado 90 ml de água. Rapidamente, sem exceder 5 minutos, esses materiais foram bem misturados e neles foi colocados um cabo de termopar tipo “J” conectado a um modular condicionador de sinais analógicos, acoplado a uma placa de conversão

analógica-digital instalada em um microcomputador, em que os dados gerados foram armazenados em intervalos de um minuto, durante um período de tempo de 24 horas.

Cada saco plástico com a mistura e o cabo para medição da temperatura (termopar) foi amarrado com barbante, envolvido em papel alumínio e colocado num frasco Dewar forrado com lã de vidro, hermeticamente fechado, dentro de uma caixa térmica também bem fechada, a fim de evitar a perda de calor para o ambiente, uma vez que as reações que ocorrem com a mistura de cimento-madeira e água são exotérmicas. Em seguida, iniciou-se a aquisição dos sinais.

A caixa térmica continha 4 frascos, conforme a Figura 5, cada um deles com um cabo termopar conectado à placa de conversão analógica-digital. Portanto, todo ensaio de termometria apresentava quatro repetições.

A caixa térmica e o sistema de aquisição dos dados encontrava-se dentro de uma sala climatizada com temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$.

A quantidade de cimento e partículas secas para o teste obedeceram à relação madeira: cimento de 1: 13,33. A quantidade de água foi calculada pela equação sugerida por Souza (1994), citado por Latorraca (2000), conforme apresentada a seguir:

$$\text{ÁGUA(g)} = \text{taxa água: cimento} \times \text{cimento(g)} + \left[\text{madeira} \times \left(0,3 - \frac{\text{UM}(\%)}{100} \right) \right],$$

em que: UM = umidade da madeira.

Repetiu-se o teste de aptidão para as cascas tratadas e as não tratadas quimicamente.

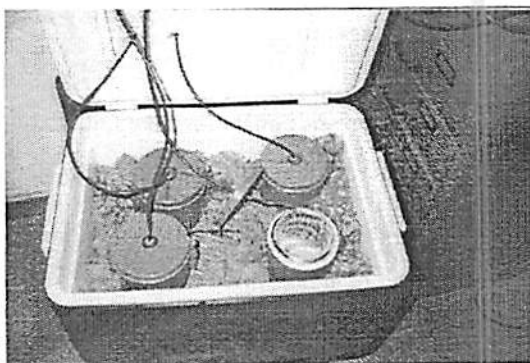


FIGURA 5 - Sistema utilizado para armazenar as amostras para o ensaio de termometria

Os índices de inibição foram calculados de acordo com a equação de Hostrand et al. (1984) apresentada na página 20.

Para a classificação da compatibilidade da madeira e cascas com o cimento foi utilizado a classificação de Okino et al. (2003), conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1- Índice de inibição utilizado para classificar a compatibilidade da madeira e cascas com o cimento

| Índice de inibição (%) | Classificação |
|------------------------|-------------------|
| $I < 10$ | Inibição baixa |
| $I = 10 - 50$ | Inibição Moderada |
| $I = 50 - 100$ | Inibição Alta |
| $I > 100$ | Inibição Extrema |

Fonte: Okino et al. (2003)

3.3 Preparação dos painéis cimento-madeira

Para a fabricação dos painéis cimento-madeira utilizaram-se as seguintes porcentagens de madeira na forma de partículas e cascas tratadas quimicamente e não tratadas, conforme a Tabela 2 a seguir.

TABELA 2 - Tratamentos com as diferentes porcentagens das partículas de madeira, cascas tratadas e não tratadas quimicamente

| Tratamentos | Relação Madeira:Cascas (tratada e não tratada) | | |
|-------------|--|-------------------|-----------------------|
| | % Madeira | % Cascas tratadas | % Cascas não tratadas |
| T1 | 100 | 0 | 0 |
| T2 | 75 | 25 | 0 |
| T3 | 50 | 50 | 0 |
| T4 | 25 | 75 | 0 |
| T5 | 75 | 0 | 25 |
| T6 | 50 | 0 | 50 |
| T7 | 25 | 0 | 75 |

Para cada tratamento produziram-se 3 painéis, perfazendo um total de 21 painéis.

3.3.1 Montagem dos painéis

As etapas da montagem dos painéis foram realizadas no Laboratório de Painéis do Instituto de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Seropédica, RJ.

3.3.1.1 Parâmetros dos painéis e da prensagem

Os parâmetros utilizados na confecção dos painéis são listados abaixo.

- a) densidade do painel:
- 1,25 g/cm³.
- b) dimensões do painel:
- 40,0 cm de largura.
 - 40,0 cm de comprimento.
 - 1,6 cm de espessura.
- c) Relação madeira:cimento:
- 1: 2,75.
- d) Relação água:cimento:
- 1: 2,5.
- e) Taxa água de hidratação:cimento:
- 0,25.
- f) Quantidade de aditivo:
- CaCl₂ = 4% em relação à massa de cimento.
- g) Porcentagem de Perdas:
- 6%.
- h) parâmetros de prensagem:
- prensagem a frio.
 - pressão = 40 kgf/cm².
 - tempo total de prensagem e grampeamento = 24 horas.

i) tempo de acondicionamento:

- 27 dias.

3.3.1.2 Cálculo dos componentes do painel

Para os cálculos dos compostos de cada painel, a metodologia utilizada foi conforme a utilizada por Souza (1994), citado por Latorraca (1996).

Os seguintes cálculos foram realizados:

- Determinação do peso da chapa (PC):

PC = comprimento x largura x espessura x peso específico (seco) x perdas.

- Determinação da quantidade de cimento e madeira para chapa seca:

$$\text{cimento (g)} = \frac{\text{PC}}{\left(1 + \text{taxa madeira : cimento} + \text{taxa água hidratação : cimento}\right)};$$

$$\text{madeira (g)} = \frac{(\text{PC} \times \text{taxa madeira : cimento})}{\left(1 + \text{taxa madeira : cimento} + \text{taxa água hidratação : cimento}\right)};$$

$$\text{CIMENTO (g)} = \text{cimento (g)} \times \left(1 - \frac{\text{aditivo (\%)}}{100}\right);$$

$$\text{MADEIRA (g)} = \text{madeira (g)} \times \left(1 + \frac{\text{umidade da madeira (\%)}}{100}\right);$$

$$\text{ADITIVO (g)} = \text{cimento (g)} \times \left(\frac{\text{aditivo (\%)}}{100}\right);$$

$$\text{ÁGUA(g)} = \text{taxa água : cimento} \times \text{cimento(g)} + \left[\text{madeira} \times \left(0,3 - \frac{\text{UM}(\%)}{100} \right) \right],$$

em que: UM = umidade da madeira

$$\text{PESO TOTAL (g)} = \text{Cimento} + \text{Madeira} + \text{Aditivo} + \text{Água.}$$

- Cálculo da quantidade de material que irá para prensa (MP):

$$\text{MP} = \text{PESO TOTAL} \times \left(\frac{1 - \text{perda}}{100} \right).$$

3.3.1.3 Formação do Colchão

Primeiramente, classificaram-se as partículas através de um sistema de peneiras e as utilizadas foram as que passaram pela peneira de 2.08 mm e retidas na de 0,61 mm.

De acordo com os cálculos, fez-se a pesagem das partículas, da água, do cimento Portland CP V – ARI/Plus e do aditivo químico cloreto de cálcio (CaCl_2) para uma quantidade equivalente aos 3 painéis de cada tratamento.

Em seguida, os materiais foram misturados em uma betoneira seguindo a metodologia aplicada por Moslemi & Pfister (1987) descrita a seguir.

As partículas foram colocadas dentro da betoneira e, com o auxílio de uma pistola com sistema de ar comprimido, aplicada sobre as partículas a água com o aditivo químico diluído, conforme ilustra a Figura 6. Após a aplicação de toda a água, acrescentou-se aos poucos o cimento, homogeneizando-se bem.



FIGURA 6 - Pulverização da água mais aditivo nas partículas dentro da betoneira

Retirada a mistura da betoneira, a massa total de cada painel foi pesada e distribuída aleatoriamente sobre uma chapa de alumínio revestida com plástico aderente para evitar que o painel aderisse à chapa de alumínio. Sobre esta chapa de alumínio foi colocada uma caixa de madeira como molde para a formação dos painéis nas dimensões 40 x 40cm.

Antes da retirada da caixa formadora, foi aplicada uma pré-prensagem para diminuir a espessura do colchão e facilitar o manuseio da chapa. Retirada a caixa, duas barras de ferro de 1,6 cm foram colocadas ao lado do colchão, para o controle da espessura (separadores), e então sobrepôs-se outra chapa de alumínio também envolvida com o plástico aderente. O colchão foi conduzido à prensa e sobre ele, aplicada pressão por um tempo aproximado de 10 minutos, tempo suficiente para a montagem do próximo painel.

A prensa fria, já carregada com os 3 painéis (primeiro tratamento e assim sucessivamente), como mostrado na Figura 7, foi então fechada a uma pressão de 40 kgf/cm². Aplicava-se e mantinha-se a pressão até que os colchões atingissem a espessura dos separadores, para então se efetuar o grampeamento e

a prensa ser liberada. Os painéis permaneceram grampeados por 24 horas, garantindo a espessura final desejada. Nesse período ocorreu a fase de restrição, em que as reações estavam ocorrendo.



FIGURA 7 - Prensa carregada com 3 painéis (1 Tratamento)

3.3.1.4 Acondicionamento

Decorridas as 24 horas, os grampos foram liberados e os painéis, retirados, identificados e conduzidos a uma sala climatizada a uma temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e $60 \pm 5\%$ de umidade relativa. Foram empilhados cuidadosamente, separados por tabiques, para garantir secagem uniforme até a cura final (maturação) durante 27 dias.

3.4 Avaliação das propriedades dos painéis

Os painéis foram levados ao Laboratório de Usinagem da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da UFLA e retirados os corpos-de-prova. Em seguida foram climatizados a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e $60 \pm 5\%$ de umidade relativa, até completar os 28 dias de cura, quando foram ensaiados.

O processo de obtenção dos corpos-de-prova foi realizado através de uso de serra circular comum. Primeiramente, as chapas foram esquadrejadas, retirando-se em torno de 2 cm em cada extremidade, objetivando-se a retirada das bordas. Em seguida retiraram-se os corpos-de-prova conforme distribuição apresentada na Figura 8.

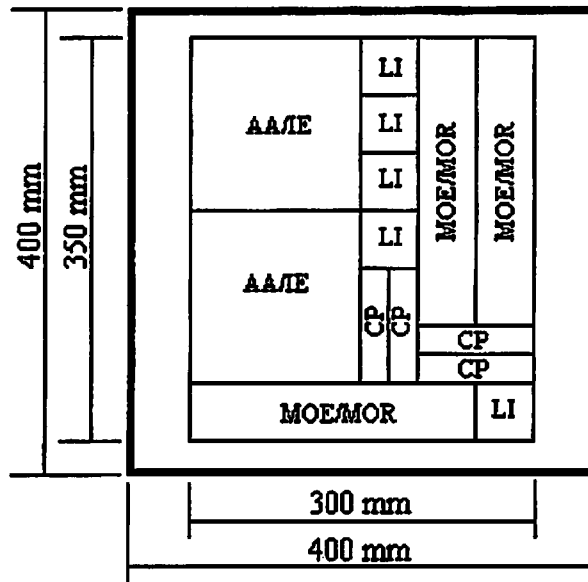


FIGURA 8 - Esquema de distribuição dos corpos-de-prova nos painéis para avaliação das propriedades (em mm)

Para avaliar a densidade dos painéis utilizou-se o método estereométrico para obtenção do volume e para obtenção da massa, pesagem em balança analítica em cada corpo-de-prova utilizado na avaliação das propriedades físicas e mecânicas. Para a avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis adotaram-se os procedimentos recomendados pelas normas alemã DIN (1982) e americana ASTM 1037 (1997).

As propriedades avaliadas são mostradas na tabela 3.

TABELA 3 - Propriedades avaliadas dos painéis de cimento-madeira.

| Propriedades | | Número de corpos-de-prova por chapas | Dimensões corpos-de-prova (mm) | Procedimentos recomendados pela norma |
|---|----------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Flexão estática (MOE e MOR) | Mecânica | 3 | 250 x 50 | DIN 52362 |
| Compressão Paralela à Superfície (CP) | | 4 | 100 x 25 | ASTM:D1037 |
| Ligação interna (LI) | | 5 | 50 x 50 | ASTM:D1037 |
| Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de água(AA) | Física | 2 | 150 x 150 | ASTM:D1037 |

3.5 Análise Estatística

Para todas as variáveis estudadas utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. Foi efetuada análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey ao nível de 5% para a propriedade de densidade dos painéis, cujo modelo estatístico utilizado foi:

$$Y_i = \mu + t_i + e_i ,$$

em que:

Y_i = é o efeito do i-ésimo valor observado do tratamento i;

μ = constante inerente a todas as observações (média geral);

t_i = efeito do i-ésimo tratamento, efeito fixo;

e_i = erro experimental associado à observação Y_i .

Para as demais variáveis efetuou-se análise de covariância para ajustar os valores das propriedades a uma densidade média.

O modelo estatístico utilizado foi:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta (x_{ij} - \bar{x}) + e_{ij} ,$$

em que:

Y_{ij} = observação relativa ao i-ésimo tratamento na j-ésima repetição;

μ = média geral quando $n_i = n$ para todo i e $\sum_i t_i = 0$;

t_i = efeito do i-ésimo tratamento;

β = coeficiente de regressão linear;

x_{ij} = covariável medida no i-ésimo tratamento na j-ésima repetição;

e_{ij} = erro experimental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise física e química da madeira e cascas

A madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou densidade aparente a 15% de umidade de $0,5 \text{ g/cm}^3$. Silva (2002) encontrou uma densidade básica de $0,44 \text{ g/cm}^3$ para esta espécie. Em estudos realizados por Pereira et al. (2000) com a mesma espécie foram encontrados valores de densidade média na faixa de $0,364 \text{ g/cm}^3$ a $0,479 \text{ g/cm}^3$. Verifica-se que o valor encontrado no eucalipto em estudo é similar ao normalmente encontrado na literatura, podendo-se considerar que esta madeira apresenta uma densidade média e apresenta uma facilidade para o processamento na geração de partículas para a produção de painéis cimento-madeira.

A análise química da madeira apresentou uma quantidade de extrativos totais de 4%. Silva (2002) encontrou, para a madeira de *Eucalyptus grandis*, um valor médio de 4,6% de extrativos totais e citou Oliveira & Della Lúcia (1994), que encontraram valor de 3,6% de extrativos totais para madeira de *Eucalyptus grandis*. Verifica-se que o resultado encontrado é similar ao encontrado por estes autores.

A análise química da casca apresentou uma quantidade de extrativos totais de 19,60%. Em geral, a quantidade de extrativos encontrado nas cascas de folhosas varia de 20 a 40% (Browning, 1975); o valor considerado está bastante próximo do normalmente encontrado na literatura. Verifica-se que a quantidade de extrativos nas cascas é bem superior à encontrada na madeira, podendo causar problemas de incompatibilidade com o cimento na produção dos painéis.

A quantidade de extrativos removida com o tratamento químico foi de 33,74%, valor superior aos extrativos totais das cascas; provavelmente houve remoção também de outros compostos químicos, tais como algumas

hemiceluloses, devido à utilização de hidróxido de sódio (NaOH). Possivelmente o ideal seria diminuir o tempo de exposição à solução de hidróxido de sódio ou a proporção da solução, tentando, assim, evitar a degradação do material.

4.2 Resultados da análise de aptidão das partículas de madeira e cascas

Com base nos resultados da análise de aptidão, pôde-se verificar o grau de inibição do material lignocelulósico com o cimento utilizado, podendo-se, assim, prever a qualidade do painel produzido com esse material.

A Figura 9 apresenta os índices de inibição da madeira, cascas não tratadas e tratadas quimicamente.

Observa-se, pela Figura 9, que o índice de inibição da madeira de *Eucalyptus grandis* foi de 11,75%, das cascas não tratadas, de 168,26%; e das cascas após tratamento químico, de 8,30%.

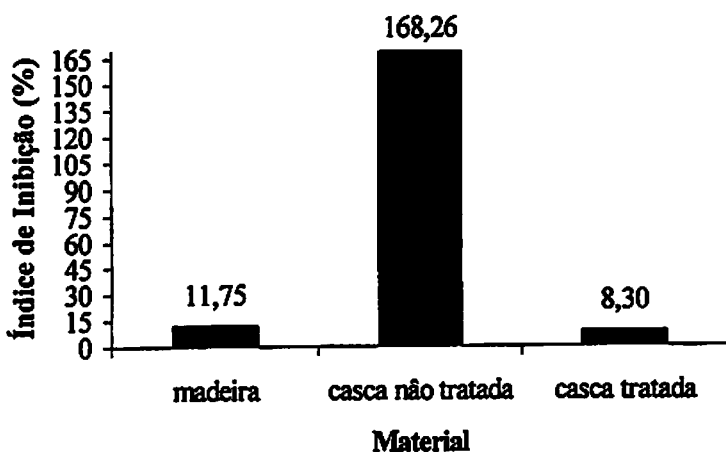


FIGURA 9 - Efeito do tipo de material sobre o índice de inibição.

Conforme Tabela 1 apresentada anteriormente, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou um índice de inibição moderado (11,75%). Madeiras de *Eucalyptus* podem conter polissacarídeos e extrativos fenólicos que podem causar uma certa inibição na hidratação do cimento Portland (Yang et al., 1992 citados por Semple et al., 2000), podendo ser esta a causa da inibição moderada. Através da Figura 10 verifica-se que a temperatura máxima atingida pela mistura madeira e cimento foi em torno de 60°C, próxima da temperatura máxima da pasta de cimento e água, que foi em torno de 70°C. Nota-se, então, que o efeito da madeira sobre a reação de hidratação do cimento incidiu sobre o tempo para se atingir a temperatura máxima, que foi em torno de 8 horas para a pasta de cimento e 15 horas para a mistura cimento/madeira, confirmando a inibição moderada. Esse efeito pode ser minimizado na produção dos painéis com a adição de um aditivo acelerador da pega.

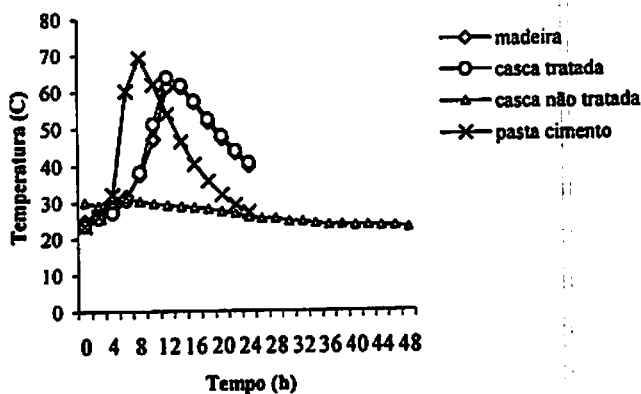


FIGURA 10 - Curvas de evolução da temperatura das reações de hidratação do cimento na presença dos materiais lignocelulósicos e apenas cimento-água

Hawkes & Robinson (1978), citados por Evans et al. (2000), estudaram a susceptibilidade do *Eucalyptus grandis* à manufatura de painéis cimento-madeira e encontraram que esses painéis exibiram de pequena a severa inibição com o cimento. Concluíram, então, que esta espécie era inadequada para a manufatura desses painéis, mas alertaram que esta inibição da hidratação do cimento poderia ser devida a um óleo preservativo usado para prevenir contaminação por fungos nas toras de *Eucalyptus grandis*.

O índice de inibição da casca de *Eucalyptus grandis* não tratada foi de 168,26%, sendo considerado de inibição extrema. As cascas, como verificado na análise química, apresentaram grandes quantidades de extrativos, o que normalmente inibe a “pega” do cimento. Pela Figura 10 pode-se observar que a temperatura máxima e o tempo de hidratação foram, respectivamente, baixa e elevado em relação à temperatura máxima e o tempo da pasta de cimento-água, confirmando a incompatibilidade com o cimento. Percebe-se que a mistura com casca não tratada inibiu totalmente a “pega”, confirmando o alto índice de inibição. Evans et al. (2000) encontraram que a utilização de resíduos *Eucalyptus loxopleba* com inclusão de cascas reduziu a compatibilidade da espécie com o cimento.

Nota-se, pela Figura 10, que o tratamento químico das cascas proporcionou um comportamento bem diferente, tornando-as compatíveis com o cimento. As cascas tratadas apresentaram índice de inibição de 8,30% (Figura 9), considerado como de baixa inibição, indicando a eficiência do tratamento químico nas cascas do eucalipto estudado. Conforme a Figura 10, observa-se que as curvas da mistura com cascas tratadas e com madeira tiveram comportamento bem semelhante, com temperatura máxima de hidratação e período de tempo para alcançá-la, respectivamente, elevada e baixo, confirmando o baixo índice de inibição das cascas tratadas. Quando amostras de madeira são “lavadas” com água em temperatura ambiente, provavelmente por a

água remover muitas substâncias que inibem a hidratação do cimento, esta taxa de hidratação aumenta, tornando o material menos inibidor (Semple et al., 2000).

4.3 Resultado das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios de densidade dos painéis produzidos.

Observa-se, pela Tabela 4 que a inclusão de cascas não tratadas nos painéis diferiu estatisticamente dos valores dos tratamentos com apenas madeira e das cascas tratadas que tiveram maiores densidades.

Verifica-se que os tratamentos com 100% de madeira e os incluindo cascas tratadas tiveram valores superiores ao proposto para o trabalho, $1,25 \text{ g/cm}^3$, já os tratamentos incluindo cascas não tratadas obtiveram valores inferiores. Essas diferenças de densidades observadas nos painéis com a proposta para a produção dos painéis é verificada em outros trabalhos, como

TABELA 4 - Densidade média dos painéis para cada tratamento

| Tratamentos | Densidades (g/cm^3) |
|--|--------------------------------|
| T1 - 100% madeira | 1,311 A |
| T2 - 75% madeira + 25% casca tratada | 1,304 A |
| T3 - 50% madeira + 50% casca tratada | 1,319 A |
| T4 - 25% madeira + 75% casca tratada | 1,302 A |
| T5 - 75% madeira + 25% casca não tratada | 1,135 C |
| T6 - 50% madeira + 50% casca não tratada | 1,168 C |
| T7 - 25% madeira + 75% casca não tratada | 1,216 B |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade.

C.V. = 5,16% (coeficiente de variação)

observado por Okino et al. (2003), os quais propuseram uma densidade de 1,4 g/cm³ e observaram densidades na faixa de 1,197 a 1,240 g/cm³. Devido a essa dificuldade no controle da densidade dos painéis, utilizou-se a análise de covariância para ajustar os valores das propriedades a uma densidade média

A Tabela 5 apresenta os valores médios de resistência à compressão paralela à superfície (CP) e ligação interna (LI) dos painéis produzidos.

A Tabela 5 mostra que utilizando somente a madeira de *Eucalyptus grandis* na produção do painel, o valor da compressão paralela à superfície (CP) foi de 159,36 kgf/cm² (MPa). Este valor está bastante superior ao encontrado por Latorraca (2000) para painéis produzidos com madeira de *Eucalyptus urophylla*, 66,86 kgf/cm² (6,56 MPa), e ao encontrado por Beraldo & Carvalho (2001) para painéis produzidos com madeira da base das toras de *Eucalyptus*

TABELA 5 - Efeito dos tratamentos sobre as propriedades mecânicas de compressão paralela à superfície e ligação interna dos painéis

| Tratamentos | Compressão Paralela (CP) | | Ligação Interna (LI) | | |
|--|--------------------------|-------|----------------------|------|--|
| | Kgf/cm ² | Mpa | Kgf/cm ² | MPa | |
| T1 – 100% madeira | 159,36 B | 15,63 | 7,10 AB | 0,69 | |
| T2 – 75% madeira + 25% casca tratada | 199,43 A | 19,56 | 7,84 A | 0,77 | |
| T3 – 50% madeira + 50% casca tratada | 159,09 B | 15,60 | 6,59 AB | 0,65 | |
| T4 – 25% madeira + 75% casca tratada | 86,40 C | 8,47 | 5,62 B | 0,55 | |
| T5 – 75% madeira + 25% casca não tratada | 84,88 C | 8,33 | 2,15 C | 0,21 | |
| T6 – 50% madeira + 50% casca não tratada | 54,87 C | 5,38 | 1,50 C | 0,15 | |
| T7 – 25% madeira + 75% casca não tratada | 50,22 C | 4,93 | 1,31 C | 0,13 | |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. (CP) = 11,77% (coeficiente de variação)

C. V. (LI) = 16,84% (coeficiente de variação)

grandis com 5 anos, 73,93 kgf/cm² (7,25 MPa).

Verifica-se, pela Tabela 5, que a incorporação de cascas não tratadas nas diferentes porcentagens com a madeira apresentou painéis estatisticamente inferiores em CP em relação ao painel produzido somente com madeira e com as diferentes porcentagens de incorporações de cascas tratadas quimicamente. Este fato evidencia a real necessidade da remoção de componentes secundários, ou seja, extrativos das cascas que inibem as reações de hidratação do cimento na interação cimento-casca-madeira.

Pela Tabela 5 nota-se que o tratamento 2 em relação à CP foi estatisticamente diferente dos demais tratamentos; a incorporação de 25% de cascas tratadas ocasionou o melhor resultado para CP, sendo estatisticamente superior ao painel feito somente com madeira. O tratamento 3 não diferiu estatisticamente do tratamento com somente madeira, mostrando que o tratamento químico aplicado nas cascas ocasionou efeito positivo nos painéis produzidos, podendo incorporar até 50% de cascas, desde que haja o tratamento.

Observa-se, ainda pela Tabela 5, que para ligação interna (LI) os tratamentos somente com madeira e o com 50% de incorporação de cascas tratadas quimicamente não diferiram estatisticamente, e a incorporação de 25% de cascas tratadas (tratamento 2) se destacou, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os tratamentos com incorporação de cascas não tratadas obtiveram valores bastante inferiores, não sendo recomendados.

Latorraca (2000) encontrou o valor de 6,76 kgf/cm² (0,66 Mpa) para ligação interna para *Eucalyptus urophylla*. Esse resultado foi considerado excelente, considerando a exigência mínima requerida pelo processo industrial BISON (1978), que é de 4,0 kgf/cm² (0,39 MPA). Portanto, os valores obtidos para os tratamentos 1; 2; 3 e 4 podem ser considerados excelentes. Porém, os tratamentos 5; 6 e 7 apresentaram valores muito baixos, considerando esses tratamentos inapropriados. Nota-se que o tratamento químico realizado nas

partículas de cascas produziu efeito bastante positivo sobre LI, mostrando a necessidade de um tratamento para utilização das cascas de *Eucalyptus grandis* na produção dos painéis.

Verifica-se que o tratamento 1 teve um valor menor que o tratamento 2 para ligação interna, o que pode ter ocorrido pelo fato de muitos corpos-de-prova terem partido na linha de cola (entre o painel e a madeira), subestimando, assim, os valores de resistência de ligação interna do T1.

A Tabela 6 apresenta os resultados de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) para a propriedade de flexão para os diferentes painéis produzidos.

TABELA 6: Efeito dos tratamentos sobre as propriedades mecânicas de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática dos painéis

| Tratamentos | Flexão Estática | | | | |
|--|---------------------|-----|---------------------|--------|---|
| | MOE | | MOR | | |
| | Kgf/cm ² | MPa | Kgf/cm ² | Mpa | |
| T1 – 100% madeira | 37703,6 | A | 3698,7 | 165,72 | A |
| T2 – 75% madeira + 25% casca tratada | 33512,1 | AB | 3287,5 | 133,68 | B |
| T3 – 50% madeira + 50% casca tratada | 33106,1 | AB | 3247,7 | 114,35 | C |
| T4 – 25% madeira + 75% casca tratada | 29814,2 | B | 2924,7 | 98,69 | C |
| T5 – 75% madeira + 25% casca não tratada | 18003,5 | C | 1766,1 | 57,14 | D |
| T6 – 50% madeira + 50% casca não tratada | 13677,5 | CD | 1341,7 | 40,57 | E |
| T7 – 25% madeira + 75% casca não tratada | 11900,8 | D | 1167,5 | 37,94 | E |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. (MOE) = 8,39%(coeficiente de variação)

C.V. (MOR) = 6,02% (coeficiente de variação)

Verifica-se, pela Tabela 6, que os valores para MOE e MOR praticamente seguiram a mesma tendência das propriedades de compressão paralela e ligação interna, indicando o alto grau de incompatibilidade das cascas não tratadas, influenciando negativamente nestas propriedades mecânicas estudadas.

Os painéis produzidos com partículas de madeira de *Pinus radiata*, que é a madeira geralmente utilizada comercialmente na produção de painéis cimento-madeira, teve o resultado de MOE igual a 29061,9 kgf/cm² (2850 MPa) (Semple et al., 2002). O valor mínimo exigido no processo industrial BISON (1978) é em torno de 30590 kgf/cm² (3000 MPa) (Okino et al., 2003). O tratamento 1, somente madeira, diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, com um valor bastante superior aos encontrados na literatura, seguido dos tratamentos 2 e 3 com resultados bastante satisfatórios, indicando que o tratamento químico teve efeito positivo nesta propriedade e também que a madeira de *Eucalyptus grandis* é apropriada para a produção de painéis nesta propriedade.

Em relação ao MOR, verifica-se que o tratamento 1 se destacou, apresentando o melhor resultado. Okino et al. (2003), trabalhando com uma mistura de *Eucalyptus grandis* e 2 clones de *Hevea brasiliensis* para produção de painéis de cimento-madeira com densidade 1,4 g/cm³, obtiveram um valor de 65,26 kgf/cm² (6,4 MPa) para módulo de ruptura (MOR), inferior ao encontrado neste estudo para madeira de *Eucalyptus grandis*.

Semple et al. (2002) produziram painéis com partículas de madeira de *Pinus radiata* e obtiveram o valor de MOR 58,32 kgf/cm² (5,72 MPa). O processo industrial BISON (1978) exige o valor mínimo de 9,0 MPa (91kgf/cm²) para MOR (Okino et al., 2003), os tratamentos 1; 2; 3 e 4 apresentaram valores superiores a estes, indicando ótima resistência à propriedade em questão e que o tratamento químico teve efeito positivo nesta propriedade e a madeira de

Eucalyptus grandis também, apresentou resultados favoráveis na produção do painel.

A Tabela 7 mostra os resultados de absorção de água a 2 horas e 24 horas de imersão.

Nota-se que para absorção de água em 2 horas, os tratamentos com incorporações de cascas não tratadas apresentaram resultados inferiores aos tratamentos com cascas tratadas, com exceção do tratamento 6. Para a incorporação de cascas tratadas, o tratamento 2, com 25% de cascas tratadas, apresentou o melhor resultado, sendo estatisticamente igual ao tratamento com somente madeira. Para 24 horas de imersão, os tratamentos com cascas não tratadas seguiram a mesma tendência apresentada para 2 horas; já para os tratamentos 2, 3 e 4 não houve diferença estatística, mas estes diferiram do

TABELA 7 - Efeito dos tratamentos sobre a propriedade física de absorção de água com 2 horas e 24 horas de imersão dos painéis

| Tratamentos | Absorção de água (%) | |
|--|----------------------|----------|
| | 2 horas | 24 horas |
| T1 - 100% madeira | 8,32 AB | 12,93 AB |
| T2 - 75% madeira + 25% casca tratada | 8,46 ABC | 13,27 B |
| T3 - 50% madeira + 50% casca tratada | 12,19 C | 15,75 B |
| T4 - 25% madeira + 75% casca tratada | 11,18 BC | 14,91 B |
| T5 - 75% madeira + 25% casca não tratada | 24,94 D | 29,28 C |
| T6 - 50% madeira + 50% casca não tratada | 7,13 A | 9,52 A |
| T7 - 25% madeira + 75% casca não tratada | 25,96 D | 28,00 C |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. (2 h) = 9,44% (coeficiente de variação)

C.V. (24 h) = 7,50% (coeficiente de variação)

tratamento 1, com somente madeira. Latorraca (2000) encontrou valores para *Eucalyptus citriodora* de 14,13% e 15,69%; para *Eucalyptus urophylla*, de 12,90% e 16,21%, para *Eucalyptus pellita*, de 15,86% e 20,27% e para *Eucalyptus robusta*, de 18,74% e 22,22% para 2 horas e 24 horas de imersão em água, respectivamente. Verifica-se que os valores encontrados para os tratamentos somente com madeira e os tratamentos incluindo cascas tratadas quimicamente foram inferiores aos encontrado na literatura, tanto para 2 horas quanto para 24 horas. Os tratamentos com cascas não tratadas, com exceção do tratamento 6, apresentaram valores de absorção em 2 horas e 24 horas bastante superiores aos encontrados nos outros tratamentos.

Semple et al. (2002) produziram painéis com resíduos de eucaliptos sem e com a presença de casca, encontrando 26% para painéis sem casca e 31% para painéis com casca, após 24 horas de imersão em água.

Este efeito de maior absorção de água quando há presença de casca é comum devido à maior capacidade da casca em absorver água comparada com a madeira (Semple et al., 2002).

A Tabela 8 apresenta os valores de inchamento em espessura, com 2 horas e 24 horas, dos painéis para os diferentes tratamentos.

Verifica-se que para o inchamento em espessura a 2 horas o tratamento 4 se destacou com o menor valor, diferindo estatisticamente dos demais, seguido pelos tratamentos 1 e 2. Quanto a 24 horas, os tratamentos 1; 2; 3 e 4 não apresentaram diferenças estatísticas entre si e obtiveram os melhores valores comparados com os tratamentos 5; 6 e 7.

Segundo Semple et al. (2002), as porcentagens de inchamento em espessura para painéis produzidos com resíduos de eucaliptos sem e com presença de cascas foram de 4,4% e 6,5%, respectivamente, em imersão por 24 horas em água.

TABELA 8 - Efeito dos tratamentos sobre a propriedade física inchamento em espessura com 2 horas e 24 horas de imersão dos painéis

| Tratamento | Inchamento em espessura (%) | | | |
|--|-----------------------------|----|----------|----|
| | 2 horas | | 24 horas | |
| T1 - 100% madeira | 1,14 | AB | 1,71 | A |
| T2 - 75% madeira + 25% casca tratada | 1,23 | AB | 1,68 | A |
| T3 - 50% madeira + 50% casca tratada | 2,01 | B | 1,91 | A |
| T4 - 25% madeira + 75% casca tratada | 0,92 | A | 1,62 | A |
| T5 - 75% madeira + 25% casca não tratada | 6,36 | D | 6,69 | C |
| T6 - 50% madeira + 50% casca não tratada | 5,48 | CD | 5,63 | BC |
| T7 - 25% madeira + 75% casca não tratada | 4,80 | C | 5,11 | B |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. (2 h) = 10,85% (coeficiente de variação)

C.V. (24 h) = 13,32% (coeficiente de variação)

Em painéis produzidos com uma mistura de *Eucalyptus grandis* e 2 clones de *Hevea brasiliensis*, as médias obtidas foram de 1,8%, tanto para 2 quanto para 24 horas de imersão em água. Pelo processo industrial BISON tipo HZ, o valor ideal para os painéis de cimento-madeira deve estar na faixa de 1,2 a 1,8% para 24 horas de imersão em água (Okino et al., 2003). Sendo assim, os tratamentos com 100% de madeira e os incluindo cascas tratadas obtiveram valores dentro da faixa de aceitação de um processo industrial, mostrando que o tratamento das partículas de cascas é benéfico para a sua utilização na produção destes painéis nesta propriedade.

5 CONCLUSÕES

- ✓ Os resultados utilizando somente madeira de *Eucalyptus grandis* na produção do painel cimento-madeira para todas as propriedades estudadas foram satisfatórios indicando, a possibilidade da utilização desta espécie na produção de painéis cimento-madeira;
- ✓ Os resultados apresentados pelos tratamentos com incorporação de cascas tratadas quimicamente na produção dos painéis, para a maioria das propriedades avaliadas, foram bons, indicando que a remoção de extrativos presentes nas cascas ocasiona efeito positivo na qualidade final dos painéis produzidos;
- ✓ Para compressão paralela e ligação interna, o nível de 25% de incorporação das cascas tratadas foi o melhor resultado obtido entre os tratamentos. Para módulo de elasticidade e módulo de ruptura entre os tratamentos com incorporação de cascas tratadas, o nível de 25% foi o que obteve melhor resultado;
- ✓ Entre os tratamentos com cascas tratadas para absorção de água em 2 horas, o tratamento com 25% de incorporação apresentou melhor resultado; para 24 horas, os tratamentos não apresentaram diferença. Para inchamento em espessura a incorporação de 75% de cascas tratadas apresentou melhor resultado em 2 horas de imersão; em 24 horas, não houve diferença entre os tratamentos;
- ✓ A incorporação de cascas sem tratamento químico à madeira de *Eucalyptus grandis* não é viável tecnicamente para a produção de painéis cimento-madeira;
- ✓ O índice de inibição da madeira foi considerado moderado; o das cascas tratadas quimicamente, baixo; e o das cascas sem tratamento, incompatível com o cimento Portland CP V ARI/Plus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL - ASTM. Standard methods of evaluating the properties of wood-basefiber and particle panel materials. In: _____. *Annual Book of ASTM Standard, ASTM D 1037 – 96 a*. Philadelphia, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. *Guia básico de utilização do cimento portland*. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p. (Boletim Técnico, 106). Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 15 dez. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. *História do cimento*. Disponível em <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 15 dez. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS RENOVÁVEIS – ABRACAVE. *Consumo de toras originárias de florestas plantadas para produtos sólidos da madeira*. 2001. Disponível em: <<http://www.abracave.com.br/anuário.htm>>. Acesso em: 10 out. 2003.
- BERALDO, A. L. *Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande, PB. *Materiais não convencionais para construções rurais*. Campina Grande, PB: UFPB/Editora Gráfica Marcone, 1997. p. 3-48.
- BERALDO, A. L.; ARRUDA, A. C. de; STANCATO, A. C.; SAMPAIO, C. A. P.; FERNANDES FILHO, O. P.; LEONEL, V. M. *Compósito à base de resíduos vegetais e cimento Portland*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia, MG. *Anais... Uberlândia: FECIV-UFU, 2002*. 1 CD-ROM
- BERALDO, A. L.; CARVALHO, J. V. de. *Eucalyptus grandis wood-Portland cement particleboard*. *Agribuilding, Campinas, SP*, p. 3-6 Spet. 2001.
- BIBLIS, E. J.; LO, C. F. *Sugar and other wood extratives: effect on the setting of Southern pine-cement mixture*. *Forest Products Journal, Madison*, v. 18, n. 8, p. 28-34, Aug. 1968.

BROWNING, B. L. *The chemistry of wood*. New York: Robert E. Krieger publishing Company, 1975. 689 p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG –DIN. Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. **DIN 52362**, 1982. p. 39- 40

ELTOMATION. Apresenta informações sobre os produtos a base de cimento e madeira da indústria. Disponível em: < <http://www.eltomation.nl>>. Acesso em: 19 out. 2003.

EVANS, P.; SEMPLE, K.; EUSEBIO, D.; CABANGON, R.; WARDEN, P.; COUTTS, R. The suitability of *Eucalyptus* for wood-cement composites. In: INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANISATIONS - IUFRO, 2000, Launceston, Australia. *The Future of Eucalyptus for Wood Products*. Launceston, Australia, 2000. p. 90-97.

GIAMMUSSO, S. E. *Manual do Concreto*. São Paulo: Pini, 1992. 161 p.

GOUVEIA, F.N. Painéis de Madeira: Situação Atual. *Revista da Madeira*, Curitiba, v. 8, n. 49, p. 20-21, out. 1998.

GRANDI, L. A. C. Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra. 1995, 127 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

HOFSTRAND, A. D.; MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F. Curing characteristics of particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement. *Forest Products Journal*, Madison, v. 34, n. 2, p. 57-61, Fev. 1984.

JARA, E.R.P. A geração de resíduos pelas serrarias. São Paulo: ABPM/IPT, 1987. 5 p. (Boletim ABPM, 59)

LATORRACA, J. V. de F. Estudo da viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis de cimento-madeira. 1996. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LATORRACA, J. V. de F. *Eucalyptus spp.* na produção de painéis de cimento-madeira. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LATORRACA, J. V. de F. Painéis de cimento-madeira: Processo de Produção, Características e Aplicações. In: SEMINÁRIO DE INDUSTRIALIZAÇÃO E USOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 2., 2001, Caxias do Sul, RS. Anais.... Caxias do Sul: UCS Gráfica, 2001. p. 99-106.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Produção de Painéis Cimento-Madeira de Eucalipto. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1., 2002, Lavras. Anais... Lavras: Gráfica/UFLA, 2002. p. 166-174.

LATORRACA, J. V. de F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira-cimento. Cerne, Lavras, v. 6, n. 1, p. 68-76, 2000.

MARRA, A. A. **Technology of Wood Bonding: principles in practice.** New York: Van-Nostrand Reinhold, 1992. 454 p.

MEDEIROS, H. A. de. A versatilidade do cimento brasileiro. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 15 dez. 2003.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini. 1994. 309 p.

MILLER, D. P.; MOSLEMI, A. A. Wood-cement composites: effect of model compounds on hydratation characteristics and tensile strength. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 23, n. 4, p. 472-482, Oct. 1991.

MOSLEMI, A. A. Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 1998. p. 144-156.

MOSLEMI, A. A.; PFISTER, S. C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 19, n. 2, p. 165-175, Apr. 1987.

MUÑIZ, G. I. B. Fatores que limitam a utilização da madeira de *Eucalyptus*. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 1., 2002, Lavras. Anais... Lavras: Gráfica/UFLA, 2002. p. 30-63.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1982. 738 p.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R. de; SANTANA, M. A. E.; ALVES, M. V. da S.; SOUSA, M. E. de SOUSA; TEIXEIRA, D. E. Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. **Cement & Concrete Composites**, jan. 2003. p.1-6. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 20 nov. 2003.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PETRUCCI, E.G. R. **Concreto armado Portland**. 11. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 307 p.

SEMPLE, K. E.; CUNNINGHAM, R. B.; EVANS, P. D. Compatibility of Eight Temperate Australian *Eucalyptus* Species with Portland Cement. In: **Wood-Cement Composites in the Asia Pacific Region**. Camberra, Australia, 2000. p. 40 – 47. Disponível em: <<http://www.aciar.gov.au/web.nsf/doc/JFRN-5J47H/>>. Acesso em: 10 out. 2003.

SEMPLE, K. E.; CUNNINGHAM, R. B.; EVANS, P. D. The suitability of five Western Australian mallee eucalypt species for wood-cement composites. **Industrial Crops and Products**, n.16, 2002. Disponível em <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 10 out. 2003.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SIMATUPANG, M. H.; HABIGHORST, C.; LANGE, H.; NEUBAUER, A. Investigations on the Influence of the Addition of Carbon Dioxide on the Production and Properties of Rapidly Set Wood-Cement Composites. **Cement & Concrete Composites**, n. 17, p. 187-197, Fev. 1995. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 07 jan. 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS. Estatísticas: área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil. 2001. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas>> Acesso em: 10 out. 2003.

TOMASELLI, I. Resíduos da indústria de processamento primário: uma oportunidade In: **WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORDEM FLORESTAL E URBANA**, 1997, Curitiba. **Workshop...** Curitiba: EMBRAPA/SEPIA, 1997. 10 p.

TOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

WATAI, L.T. Painéis estruturais. Tendências e desenvolvimento no Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 5, n. 28, p. 32-34, out. 1995.

ANEXO

| ANEXO A | | Página |
|-------------------|---|---------------|
| TABELA 1.A | Análise de variância da densidade dos painéis cimento - madeira..... | 58 |
| TABELA 2.A | Análise de variância da propriedade compressão paralela à superfície dos painéis..... | 58 |
| TABELA 3.A | Análise de variância da propriedade ligação interna dos painéis..... | 58 |
| TABELA 4.A | Análise de variância da propriedade flexão estática módulo de elasticidade (MOE) dos painéis..... | 59 |
| TABELA 5.A | Análise de variância da propriedade flexão estática módulo de ruptura (MOR) dos painéis..... | 59 |
| TABELA 6.A | Análise de variância da propriedade absorção de água em 2 horas de imersão dos painéis..... | 59 |
| TABELA 7.A | Análise de variância da propriedade absorção de água em 24 horas de imersão dos painéis..... | 60 |
| TABELA 8.A | Análise de variância da propriedade inchamento em espessura em 2 horas de imersão dos painéis..... | 60 |
| TABELA 9.A | Análise de variância da propriedade inchamento em espessura em 24 horas de imersão..... | 60 |

TABELA 1.A- Análise de variância da densidade dos painéis cimento-madeira entre tratamentos

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|------------------|-----------|-----------|
| Tratamento | 6 | 0,239236 | 57,750* |
| Erro | 272 | 0,004143 | |
| Total corrigido | 278 | | |
| CV (%) = | 5,16 | | |
| Média geral: | 1,2481434 | | |

TABELA 2.A- Análise de variância da propriedade compressão paralela à superfície dos painéis

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Co-variavel Densidade | 1 | 4451,09 | 24,97* |
| Tratamento | 6 | 6335,75 | 35,55* |
| Residuo | 13 | 178,237 | |
| Total corrigido | 20 | | |
| Média geral: | 113,468 | | |

TABELA 3.A- Análise de variância da propriedade ligação interna dos painéis

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|---------------|-----------|-----------|
| Co-variavel Densidade | 1 | 2,45433 | 4,10* |
| Tratamento | 6 | 9,39582 | 15,71* |
| Residuo | 13 | 0,598069 | |
| Total corrigido | 20 | | |
| Média geral | 4,5919 | | |

TABELA 4.A- Análise de variância da propriedade flexão estática módulo de elasticidade (MOE) dos painéis

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Co-variável Densidade | 1 | 8,02339 | 17,68* |
| Tratamento | 6 | 1,44582 | 31,86* |
| Resíduo | 13 | 4,53732 | |
| Total corrigido | 20 | | |
| Média geral | 25388,3 | | |

TABELA 5.A- Análise de variância da propriedade flexão estática módulo de ruptura (MOR) dos painéis

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Co-variável Densidade | 1 | 777,488 | 24,99* |
| Tratamento | 6 | 3484,48 | 111,98 |
| Resíduo | 13 | 31,1163 | |
| Total corrigido | 20 | | |
| Média geral | 92,5873 | | |

TABELA 6.A- Análise de variância da propriedade absorção de água em 2 horas de imersão dos painéis

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Co-variável Densidade | 1 | 24,6186 | 14,01* |
| Tratamento | 6 | 131,776 | 75,02* |
| Resíduo | 13 | 1,75665 | |
| Total corrigido | 20 | | |
| Média geral | 14,0327 | | |

TABELA 7.A- Análise de variância da propriedade absorção de água em 24 horas de imersão dos painéis

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Co-variável Densidade | 1 | 22,0838 | 12,56* |
| Tratamento | 6 | 129,029 | 73,41* |
| Residuo | 13 | 1,75759 | |
| Total corrigido | 20 | | |
| Média geral | 17,6784 | | |

TABELA 8.A- Análise de variância da propriedade inchamento em espessura em 2 horas de imersão dos painéis

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|----------------|------------|-----------|
| Co-variável Densidade | 1 | 3,2622 E-7 | 0,00* |
| Tratamento | 6 | 4,19924 | 36,21* |
| Residuo | 13 | 0,115963 | |
| Total corrigido | 20 | | |
| Média geral | 3,13883 | | |

TABELA 9.A- Análise de variância da propriedade inchamento em espessura em 24 horas de imersão

| FV | GL | QM | Fc |
|------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Co-variável Densidade | 1 | 0,153446 | 0,71* |
| Tratamento | 6 | 3,50588 | 16,27 |
| Residuo | 13 | 0,215444 | |
| Total corrigido | 20 | | |
| Média geral | 3,48388 | | |