UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INTERUNIDADES EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

MARÍLIA DA SILVA BERTOLINI

EMPREGO DE RESÍDUOS DE *Pinus sp* TRATADO COM PRESERVANTE CCB NA
PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS UTILIZANDO RESINA
POLIURETANA À BASE DE MAMONA

São Carlos

2011

MARÍLIA DA SILVA BERTOLINI

EMPREGO DE RESÍDUOS DE *Pinus sp* TRATADO COM PRESERVANTE CCB NA
PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS HOMOGÊNEAS UTILIZANDO RESINA
POLIURETANA À BASE DE MAMONA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Orientador: Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B546e Bertolini, Marília da Silva
Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com
preservante CCB na produção de chapas de partículas
homogêneas utilizando resina poliuretana à base de
mamona / Marília da Silva Bertolini ; orientador
Francisco Antonio Rocco Lahr -- São Carlos, 2011.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação
Interunidades : Ciência e Engenharia de Materiais e Área
de Concentração em Desenvolvimento, Caracterização e
Aplicação de Materiais) -- Instituto de Física de São
Carlos/Instituto de Química de São Carlos/Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2011.

1. Madeira - produtos derivados. 2. Resíduos.
3. Madeira tratada. 4. Painéis de partículas. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Marília da Silva Bertolini

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Engenharia
de Materiais da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Desenvolvimento,
Caracterização e Aplicação de Materiais.

Aprovado (a) em 23.02.2011

Comissão Julgadora

Prof(a). Dr. (a). Francisco Antonio Rocco Lahr

Instituição: EESC/USP

Assinatura

Prof(a). Dr. (a). Cristiane Inácio de Campos

Instituição: UNESP/Itapeva

Assinatura

Prof(a). Dr. (a). Rosane Aparecida Gomes Batistelle

Instituição: UNESP/Bauru

Assinatura

Ao meu querido Deus, fonte de toda sabedoria,
À minha família, pelo amor incondicional e apoio em minhas escolhas,
Ao meu namorado César, pelo amor recíproco e companheiro em todas as horas,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, pelos ensinamentos, competente orientação, incentivo e amizade.

Aos professores da UNESP – Itapeva, pelo incentivo para ingresso na carreira acadêmica.

À pesquisadora Maria Fátima (Fati), que com carinho repassa todos os conhecimentos adquiridos em anos de pesquisas; pela amizade e simplicidade em ajudar.

Aos colegas do LaMEM – Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira: alunos de pós-graduação (desta e de outras instituições); professores e funcionários em geral; que de alguma forma sempre contribuíram com meus estudos e momentos de descontração. Em especial ao técnico Cido, pela ajuda constante na execução do trabalho.

À empresa Montana Química S.A, pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Ao Ricardo, da indústria química Plural, pela doação da resina e interesse nas pesquisas.

À empresa Matra Madeiras Tratadas LTDA, pelo fornecimento dos resíduos.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais e aos técnicos: Márcio – IQSC e Geraldo Frigo – IFSC pela orientação em ensaios.

Ao grupo de Bioestatística da FCA – UNESP de Botucatu: Prof. Dr. Carlos Padovani, e estatísticos. Sérgio Augusto Rodrigues e Gislaine Batistela, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. José Augusto Agnelli - UFSCAR, pela contribuição nos ensaios de Envelhecimento Artificial Acelerado.

Ao CnPQ, pela bolsa concedida.

RESUMO

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona.** 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

O CCB (sais de cromo, cobre e boro) surgiu como alternativa ao CCA, apresentando menor toxicidade ao meio ambiente e em muitos casos conferindo excelentes propriedades mecânicas à madeira. Estima-se que, de 15 a 20% (aproximadamente 240 mil m³/ano) da madeira tratada no Brasil atualmente sejam resíduos, considerando-se apenas aqueles provenientes do seu beneficiamento, desconsiderando os produtos pós-consumo. Por outro lado, o Brasil possui excelentes condições para a produção dos painéis aglomerados, com produção estimada atualmente em 2,5 milhões m³/ano. Observando o crescimento do mercado de painéis à base de madeira e a constante busca por produtos sustentáveis, este trabalho teve como objetivo principal a análise da viabilidade de produção de chapas de partículas, empregando-se resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB e resina poliuretana à base de mamona. Foram variados parâmetros de produção para obtenção de melhores condições de processo, sendo estes: quantidade de partículas, com 1300g e 1400g; teor de adesivo, de 12% e 15% e; tempo de prensagem, de 10 e 12 minutos. Caracterizaram-se as partículas empregadas quanto as suas propriedades físicas e morfológicas, além da análise dos painéis quanto às características físico-mecânicas, segundo NBR 14810-3 (2006), submetendo-se também amostras com melhores desempenhos ao Envelhecimento Artificial Acelerado, conforme ASTM G155 (1999) e análise da morfologia, por meio de ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Porosimetria por Intrusão de Mercúrio. Determinou-se também a retenção dos ingredientes ativos de preservante nas partículas e chapas, para avaliação de possíveis perdas na retenção devido ao processo de prensagem. Os resultados apontaram para excelentes propriedades físicas e mecânicas das chapas de partículas, em alguns casos em média 50% superiores ao estipulado pela norma brasileira em questão e superiores aos requisitos das normas internacionais. Assim, ficou evidenciada a viabilidade de produção dos painéis com os insumos estudados bem como seu potencial de emprego para as finalidades compatíveis com produtos desta natureza.

Palavras-chave: madeira – produtos derivados, resíduos, madeira tratada, painéis de partículas.

ABSTRACT

BERTOLINI, M. S. **Use of CCB treated *Pinus sp* residues in particleboard production employing polyurethane resin based on castor oil.** 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CCB (chromium, copper and boron sales) has risen as an alternative to CCA, because of its toxicity level and, in several cases, conferring high properties to treated wood. In Brazil, some evaluations show that nearly 15 to 20% (something like 240.000m³/year) of this wood are residues generated by processing phases, without taking in account pos-used product. Besides, Brazilian particleboard industry produces 2.500.000 m³/year. Observing wood based panels demand improvement and sustainable products search, the aim of this work is to confirm feasibility of producing particleboards with CCB treated *Pinus sp* residues and polyurethane resin based on castor oil. Different production parameters were employed in order to optimize process conditions, like: particles (1300g and 1400g); adhesive percentage (12 and 15%); pressure time (10 and 12 minutes). Particles were characterized by their physical and morphological properties. Panels' performance was determined based on their physical and mechanical properties, as prescript in Brazilian Code NBR 14810-3 (2006). Special specimens were used in order to evaluate influence of accelerated aging as proposed in ASTM G155 (1999). Morphological aspects were analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Mercury Intrusion Porosimetry. Active ingredients retention was also determined to establish casual lost after producing process. Results show excellent physical and mechanical properties, some of them 50% higher than NBR14810-3 and international codes requirements. Feasibility of producing particleboards like those studied was demonstrated as well as potential of their employing in same uses of commercial boards.

Keywords: wood products, waste, treated wood, particleboards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das florestas plantadas de <i>Pinus</i> e <i>Eucalyptus</i> no território brasileiro...	20
Figura 2 - Aspecto da madeira do gênero <i>Pinus</i>	21
Figura 3 - Autoclave para preservação de madeiras.....	36
Figura 4 - Seqüência do método de Célula Cheia.	37
Figura 5 - Localização das empresas produtoras de painéis no Brasil.	45
Figura 6 - Esquema de fabricação dos painéis aglomerados.....	47
Figura 7 - Resíduos de madeira (a) e resina (b) aplicados à produção dos painéis.	57
Figura 8 - Moinho-martelo (a), Peneira – 2,8 mm (b) e Resíduos após processamento (c).	58
Figura 9 - Homogeneização da mistura madeira e adesivo (a), (b) e (c).....	61
Figura 10 - Formação do Colchão (a) e (b) e prensagem a quente (c).	62
Figura 11 - Estabilização (a) e (b), Esquadrejamento (c) e chapas com dimensões finais (d).	62
Figura 12 - Termobalança OHAUS – determinação da umidade das partículas.....	64
Figura 13 - Equipamento Solotest – Classificação das partículas.	64
Figura 14 - Esquema de retirada dos corpos-de-prova das chapas.....	66
Figura 15 - Metodologia ensaios de IE e AA (a), (b) e (c) e para densidade e TU (d) e (e).	68
Figura 16 - Corpos-de-prova antes (a) e após (b) a ruptura e ensaio de FE (c).....	69
Figura 17 - Corpos-de-prova antes (a) e após (b) a ruptura e ensaio de TP (c).....	69
Figura 18 - Ensaios de AP _S (a) e AP _T (b).	70
Figura 19 - Metalizador Coating System BAL-TEC MED 020 (a), amostras recobertas em ouro (b), equipamentos para o ensaio de MEV, introdução das amostras no detector do MEV (d).	71
Figura 20 - Corpo-de-prova (a), cápsula para intrusão do mercúrio (b), equipamento Micromeritics Poresizer 9320 (c).	72
Figura 21 - Equipamento Atlas Weather-Ometer modelo 65 XW-WR1 (a), carrossel com amostras (b), lâmpada de xenônio (c).....	73
Figura 22 - Distribuição Granulométrica das Partículas.	78

Figura 23 - Imagens das partículas por MEV: partícula de <i>Pinus sp</i> tratado com CCB, 100 X (a) e a mesma partícula, 500 X (b).	93
Figura 24 - Imagens dos painéis do tratamento B por MEV: partículas envolvidas pela resina (a) e (b), 500 X e 250 X, respectivamente; Arrancamento de fibra pela ação da ruptura por flexão (c), 200X e; vista geral da superfície rompida por flexão, 150 X (d).....	94
Figura 25 - Imagens dos painéis do tratamento G por MEV: partículas envolvidas pela resina (a) e (b), 400 X e 350 X, respectivamente; Arrancamento de fibra pela ação da ruptura por flexão (c), 200X e; vista geral da superfície rompida por flexão, 80 X (d).....	95
Figura 26 - Corpos-de-prova da esquerda à direita, respectivamente: antes do envelhecimento e impermeabilizados – B e G (a); após envelhecimento – B, impermeabilizado e ao natural e (b); após envelhecimento – G, impermeabilizado e ao natural (c).....	98
Figura 27 - Diferenças nas colorações dos corpos-de-prova envelhecidos em relação à posição no equipamento de intemperismo: amostras impermeabilizadas (a) e ao natural (b).	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução do IMA dos plantios de <i>Pinus</i> e <i>Eucalyptus</i> no Brasil e “previsões” de produtividade.	19
Gráfico 2 - Comparativo da produtividade florestal brasileira com países de economia florestal.	20
Gráfico 3 - Projeção da Produção de Painéis de Madeira (2010-2020).	44
Gráfico 4 - Produção mundial de painéis de madeira nos últimos 10 anos.	44
Gráfico 5 - Curva padrão de Intrusão Porosimétrica – Tratamento B.	96
Gráfico 6 - Curva padrão de Intrusão Porosimétrica – Tratamento G.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Durabilidade dos <i>Pinus</i> em diferentes condições..	22
Tabela 2 - Durabilidade natural e permeabilidade de espécies de reflorestamento.....	24
Tabela 3 - Composição dos tipos de CCA.....	31
Tabela 4 - Composição do preservante CCB.....	32
Tabela 5 - Valores de Cobre Lixiviado de soluções à base de cobre.	33
Tabela 6 - Panorama dos painéis a nível nacional..	45
Tabela 7 - Parâmetros adotados nas etapas dos estudos preliminares	59
Tabela 8 - Tratamentos propostos para produção dos painéis.....	60
Tabela 9 - Valores Médios das Propriedades obtidas nos Estudos Preliminares.	75
Tabela 10 - Valores médios do Teor de Umidade das partículas de <i>Pinus sp</i> tratado.....	77
Tabela 11 - Distribuição granulométrica das partículas.	77
Tabela 12 - Valores médios referentes ao Teor de Umidade (TU) das chapas.	79
Tabela 13 - Teste de Tukey para o fator Partículas – variável Teor de Umidade.	80
Tabela 14 - Teste de Tukey para o fator Adesivo – Variável Teor de Umidade.....	80
Tabela 15 - Valores Médios obtidos para Densidade das chapas e Razão de Compactação. ..	81
Tabela 16 - Valores médios para Inchamento em Espessura em 2h e 24h.....	82
Tabela 17 - Teste de Tukey para o fator Partículas - variável Inchamento em Espessura – 2h.	83
Tabela 18 - Teste de Tukey para o fator Adesivo - variável Inchamento em Espessura – 2h..	83
Tabela 19 - Valores Médios referentes à Absorção de Água em 2h e 24h.	84
Tabela 20 - Teste de Tukey para o fator Partículas - variável Absorção de Água – 2h.	84
Tabela 21 - Teste de Tukey para o fator Adesivo - variável Absorção de Água – 2h.....	85
Tabela 22 - Teste de Tukey para o fator Partículas- variável Absorção de Água – 24h.	85
Tabela 23 - Teste de Tukey para o fator Adesivo - variável Absorção de Água – 24h.....	85
Tabela 24 - Valores Médios do Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade dos painéis. ..	86

Tabela 25 - Teste de Tukey para o fator Partículas - variável Módulo de Ruptura.....	87
Tabela 26 - Teste de Tukey para o fator Partículas - variável Módulo de Elasticidade.....	88
Tabela 27 - Teste de Tukey para o fator Adesivo - variável Módulo de Elasticidade.	88
Tabela 28 - Valores Médios de Resistência à Tração Perpendicular.	89
Tabela 29 - Teste de Tukey para o fator Adesivo – variável resistência a Tração Perpendicular.	89
Tabela 30 - Valores Médios referentes ao Arrancamento de Parafusos – Superfície e Topo. .	90
Tabela 31 - Retenção dos Ingredientes Ativos (IA) de partículas e chapas de Pinus sp tratado com CCB.	91
Tabela 32 - Características porosimétricas dos tratamentos B e G.	97
Tabela 33 - Valores médios de Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade das chapas antes e após Envelhecimento Artificial Acelerado.	100
Tabela 34 - Comparação dos tratamentos e momentos por ANOVA dos valores médios seguidos de desvio padrão da variável MOR.	100
Tabela 35 - Comparação dos tratamentos e momentos por ANOVA dos valores médios seguidos de desvio padrão da variável MOE.	101
Tabela 36 - Valores médios das propriedades físicas das chapas referentes aos tratamentos estudados.	114
Tabela 37 - Valores médios das propriedades mecânicas das chapas referentes aos tratamentos estudados.	118
Tabela 38 - Valores médios dos tratamentos B e G submetidos ao ensaio de flexão estática antes e após Envelhecimento Artificial Acelerado.....	122
Tabela 39 - Análise de variância – variável Teor de Umidade (%)	123
Tabela 40 - Análise de variância – variável Densidade (g/cm ³).....	123
Tabela 41 - Análise de variância – variável Inchamento em Espessura – 2 horas (%).....	123
Tabela 42 - Análise de variância – variável Inchamento em Espessura – 24 horas (%).....	124
Tabela 43 - Análise de variância – variável Absorção de Água – 2 horas (%).....	124
Tabela 44 - Análise de variância – variável Absorção da Água – 24 horas (%).....	124
Tabela 45 - Análise de variância – variável MOR (MPa)	125
Tabela 46 - Análise de variância – variável MOE (MPa)	125

Tabela 47 - Análise de variância – variável Tração Perpendicular (MPa).....	125
Tabela 48 - Análise de variância – variável Arrancamento de Parafusos (topo)	126
Tabela 49 - Análise de variância – variável Arrancamento de Parafuso (superfície)	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPM	Associação Brasileira dos Preservadores de Madeira
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ANOVA	Análise de Variância
ANSI	American National Standard Institute
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APEBF	Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal
AWPA	American Wood Preserver's Association
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado
CS	Commercial Standard
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
IA	Ingredientes Ativos
IMA	Incremento Médio Anual
IUFRO	International Union of Forestry Research Organizations
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
NBR	Norma Brasileira Registrada
SECEX	Serviço de Comércio Exterior
UCS	Use Category System
WDMA	Window and Door Manufacturers Association

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	18
1.1.1	Objetivos Gerais	18
1.1.2	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Setor Florestal no Brasil	19
2.1.1	Aspectos gerais sobre a o gênero <i>Pinus</i>	21
2.2	Madeira Tratada	23
2.2.1	Durabilidade da Madeira	23
2.2.2	Agentes Deterioradores da Madeira	24
2.2.3	Preservação da Madeira	27
2.2.4	Tipos de preservantes	29
2.2.4.1	Arseniato de Cobre Cromatado (CCA)	31
2.2.4.2	Borato de Cobre Cromatado (CCB)	32
2.2.5	Métodos de Preservação	35
2.2.5.1	Processos envolvendo pressão	36
2.2.6	Qualidade do Tratamento Preservante	39
2.2.7	Aspectos Ambientais relacionados à Madeira Tratada	40
2.3	Painéis de Madeira Aglomerada	42
2.3.1	Fabricação e Aplicação dos Painéis Aglomerados	46
2.4	Resina Poliuretana à Base de Mamona	49
2.5	Estudos sobre o Aproveitamento de Resíduos para a Produção de Painéis	51

2.6	Estudos sobre o Aproveitamento de Resíduos de Madeira Tratada.....	53
2.7	Considerações sobre a Revisão Bibliográfica	55
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	57
3.1	Materiais	57
3.2	Metodologia para Confeção dos Painéis	58
3.2.1	Obtenção das Partículas.....	58
3.2.2	Estudos Preliminares.....	59
3.2.3	Produção dos Painéis Estudados	60
3.3	Metodologias para a Caracterização das Partículas e Chapas.....	63
3.3.1	Propriedades Físicas das Partículas.....	63
3.3.1.1	Teor de Umidade.....	63
3.3.1.2	Análise Granulométrica	64
3.3.2	Obtenção dos Corpos-de-Prova.....	65
3.3.3	Propriedades das Chapas de Partículas	66
3.3.3.1	Propriedades Físicas	66
3.3.3.2	Propriedades Mecânicas.....	68
3.3.4	Demais Análises	70
3.3.4.1	Retenção dos Ingredientes Ativos na Madeira Tratada.....	70
3.3.4.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	71
3.3.4.3	Porosimetria por Intrusão de Mercúrio	72
3.3.4.4	Envelhecimento Artificial Acelerado	73
3.4	Análises Estatísticas	74
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1	Estudos Preliminares	75
4.1.1	Considerações sobre o Estudo Preliminar	76
4.2	Propriedades das Partículas	76
4.2.1	Teor de Umidade	76

4.2.2	Análise Granulométrica	77
4.3	Propriedades das Chapas de Partículas.....	79
4.3.1	Propriedades Físicas.....	79
4.3.2	Propriedades Mecânicas	86
4.3.3	Considerações	91
4.4	Demais Análises.....	91
4.4.1	Retenção dos Ingredientes Ativos na Madeira Tratada	91
4.4.2	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	92
4.4.3	Porosimetria por Intrusão de Mercúrio	95
4.4.4	Envelhecimento Artificial Acelerado	97
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	103
	REFERÊNCIAS	106
	APÊNDICE A – VALORES OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO DAS CHAPAS	114
	APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA	123

1 INTRODUÇÃO

A Comissão Mundial Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1988) define desenvolvimento sustentável como “um processo de transformação no qual a exploração de recursos, a direção de investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades humanas”.

A madeira tratada com preservantes é empregada desde a época de Noé e das civilizações egípcia e chinesa, sendo uma das suas principais vantagens a conservação das florestas por meio do aumento da vida útil dos produtos madeireiros em serviço (CASSENS et al., 1995; ESTEVES, 2009; LEPAGE et al., 1986; RICHARDSON, 1993).

Questões ambientais referentes à utilização do CCA (arseniato de cobre cromatado), preservativo hidrossolúvel de sais de cromo, cobre e arsênio, têm sido levantadas devido à dispersão do cobre e do arsênio para o ambiente antes da completa fixação dos ingredientes ativos havendo a possibilidade de contaminação do solo e do lençol freático, principalmente na forma de resíduos, pois a pequena espessura dos resíduos aumenta a área passível de viabilizar a perda de substâncias por lixiviação.

O CCB (sais de cromo, cobre e boro) surgiu como alternativa ao CCA, apresentando menor toxicidade ao meio ambiente e em muitos casos conferindo excelentes propriedades mecânicas à madeira (PINHEIRO, 2001; ROCCO LAHR, FERNANDES E BERTOLINI (2010). Além destas características, possui baixo custo, não é corrosivo a aços carbono e alumínio, possui reduzida lixiviação (quando comparados a outros sais que não o CCA), maior flexibilidade em processos de tratamento, entre outros (LEPAGE, 2010).

Na construção civil vem crescendo o interesse por produtos obtidos a partir desta matéria-prima, embora as técnicas de aplicação careçam de normatização. Nas usinas de preservação no Brasil, o CCA representa perto de 80% do volume de preservativo utilizado; o CCB, o lindane, o tribromofenato e o creosoto, apenas 20%, (SILVA, 2006). Partindo-se da estimativa do mesmo autor, na qual a quantidade de resíduos provenientes de madeira tratada no Brasil seja da ordem 15% a 20% da produção anual (resíduos de beneficiamento, desconsiderando os produtos pós-consumo) e admitindo-se, segundo dados da Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal - APEBF (2011), produção de 1,2 milhões de m³/ano, estima-se que o montante de resíduos desta classe seja da ordem de 240 mil m³/ano.

O emprego de *Pinus sp* tratado com CCB apresenta-se como potencial devido ao possível crescimento no seu consumo, em substituição ao CCA, às propriedades deste insumo e sua disponibilidade. Cabe avaliar todo ciclo de vida, desde o tratamento, processamento e secagem de peças tratadas até o destino final, como material pós-consumo, para melhor direcionamento dos resíduos provenientes de seu beneficiamento.

O Brasil exhibe excelentes condições para a produção dos painéis aglomerados, sendo esta estimada, segundo a ABIPA (2010), em 2,5 milhões m³/ano, com capacidade nominal instalada de 4,2 milhões de m³/ano, em função principalmente da possibilidade de cultivar, em larga escala, espécies florestais de rápido crescimento, como as oriundas de *Pinus*. Além disso, as instalações de novas unidades produtoras, busca de novas tecnologias e modernização do pátio industrial, justificam a significativa produção destes derivados da madeira (BRASIL et al., 2003). Este mercado experimenta transformações em função também da busca de alternativas à madeira maciça; da redução dos juros e aumento da renda, o que impulsiona a construção civil e o setor de móveis, ambos consumidores de painéis de madeira.

De acordo com Dias (2008), entre outros, tais painéis apresentam as vantagens de permitir a utilização plena das árvores, assim como dos resíduos oriundos de serraria ou da indústria de beneficiamento de madeiras, e a possibilidade de obter propriedades menos discrepantes em suas direções preferenciais

Observando o crescimento do mercado de painéis à base de madeira e a constante busca por produtos sustentáveis, este trabalho apresenta uma forma de destinar resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas, utilizando a resina poliuretana à base de mamona, proveniente de biomassa e menos poluente, substituindo as resinas à base de formaldeído.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O trabalho em questão teve como objetivo principal analisar a viabilidade do emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com CCB na produção de chapas de partículas aglomeradas, utilizando resina poliuretana à base de mamona.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- a) Produção das chapas com resíduos de *Pinus sp* tratados com CCB e resina poliuretana a base de mamona e caracterização das mesmas conforme documento normativo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- b) Variações nos parâmetros de processo da produção dos painéis, em relação à quantidade de partículas, teor de adesivo e tempo de prensagem, de maneira a alcançar condições que permitam a obtenção de painéis em conformidade, principalmente, com os valores estabelecidos pela ABNT e que, ao mesmo tempo, resultem em menor custo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão da literatura contida nos itens a seguir abrange informações sobre o mercado da madeira e seus painéis derivados, em especial as chapas de partículas aglomeradas, além de particularidades sobre os principais insumos utilizados no trabalho.

2.1 Setor Florestal no Brasil

O aumento na disponibilidade da madeira, principalmente de espécies já consolidadas no Brasil, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, deu-se principalmente devido à utilização de novas tecnologias silviculturais e crescentes investimentos em pesquisas e melhoramento genético. Em 2007, as florestas plantadas no Brasil atingiram em área 6,0 milhões de ha, área 4,2% superior em relação ao ano anterior, sendo o *Eucalyptus* representante de 62,7%, enquanto o *Pinus* correspondente a 30,7% deste total (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI, 2008). O gráfico 1 apresenta o Incremento Médio Anual (IMA) e a estimativa de produtividade futura das espécies citadas.

Gráfico 1 - Evolução do IMA dos plantios de *Pinus* e *Eucalyptus* no Brasil e “previsões” de produtividade.
Fonte: ABRAF, STCP (2007) *apud* ABIMCI (2008)

Ressalta-se, segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2010), a superioridade da produtividade florestal que o Brasil apresenta em relação a outros países com forte tradição em florestas plantadas e economias de base florestal (gráfico 2), tanto de folhosas quanto para coníferas. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de

Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI (2008), estas florestas concentram-se em grande parte no Sudeste e Sul, sendo os maiores detentores nestas regiões os Estados de Minas Gerais e São Paulo (figura 1).

Gráfico 2 - Comparativo da produtividade florestal brasileira com países de economia florestal.
Fonte: ABRAF (2010) adaptado por STCP

Figura 1 - Distribuição das florestas plantadas de *Pinus* e *Eucalyptus* no território brasileiro.
Fonte ABIMCI (2008)

Bacha e Barros (2004) mencionam que os principais agentes reflorestadores no Brasil são as empresas de celulose e papel, siderúrgicas e empresas de produtos sólidos de madeira, além dos governos estaduais e pequenos produtores. O setor de celulose é o que apresenta as mais altas produtividades e consumo, motivo pela expressividade do reflorestamento do gênero *Eucalyptus*. Considerando-se o consumo florestal brasileiro, estima-se que, em 2009, do total de 162,6 milhões m³ de toras de florestas plantadas, no qual 68,4% referem-se aos *Eucalyptus* e 31,6% aos *Pinus*, o segmento de celulose e papel foi o principal consumidor, absorvendo 37,3% das toras produzidas; a lenha industrial 25,7%; a indústria de madeira serrada 18,8%; o setor siderúrgico, por sua vez, consumiu 11,9% (carvão vegetal); e painéis reconstituídos 5,8% (ABRAF, 2010).

2.1.1 Aspectos gerais sobre a o gênero *Pinus*

O gênero *Pinus*, pertence à ordem Coniferae, grupo das Gymnospermae e apresenta em geral madeira de cor clara, com cerne e alburno indistintos pela cor (figura 2), caracterizando-se como madeira de baixa a média densidade (softwood). Mostra-se resistente a secas e às condições ambientes, principalmente quanto à temperatura, possibilitando grande versatilidade em termos de produção (CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS - CIFLORESTAS, 2008).

Figura 2 - Aspecto da madeira do gênero *Pinus*.

Fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT (2011)

Dentre as espécies mais plantadas no Brasil, com produção comercial desde os anos de 1950, estão: *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* (que toleram geadas), *Pinus caribaea* var.

hondurensis, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*, tolerantes de déficit hídrico, com a maior parte dos plantios localizados na região Sul do país (CIFLORESTAS, 2008).

A aplicação destas espécies engloba em geral as indústrias de celulose, aglomerados e chapas de fibras, laminação, serraria, construções, móveis e resinagem. Todavia, muitas pesquisas têm sido realizadas objetivando a produção de variedades destas espécies que possuam características apropriadas para cada um destes empregos (CARPANEZZI et al., 1988).

No caso dos painéis particulados, as espécies mais indicadas deste gênero, em função das suas características são o *Pinus taeda*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pinea*, *Pinus palustris*, *Pinus pinaster*, *Pinus patula*, *Pinus caribaea*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi* e *Pinus tecunumanii*. Apesar do grande potencial, no Brasil as pesquisas sobre as características e a qualidade da madeira de *Pinus*, em geral, orientadas para o setor de papel e celulose, nem sempre são aplicáveis na indústria de transformação mecânica da madeira (MARTO, 2009).

Segundo Barillari (2002), uma forma de agregar valor à madeira serrada do gênero *Pinus* é através do tratamento químico preservante, que irá conferir maior durabilidade em uso. A tabela 1 apresenta a durabilidade de madeira de *Pinus*, com ou sem tratamento, conforme estudos de diversos autores.

Tabela 1 - Durabilidade dos *Pinus* em diferentes condições.

Espécie de Madeira	Tratamento	Durabilidade	Referência
<i>Pinus elliottii</i>	<i>sem tratamento</i>	<i>8 meses</i>	<i>Lopez, 1984</i>
<i>Pinus spp</i>	sem tratamento	< 1 ano	Fernandes et al., 1990
<i>Pinus silvestris</i> (cerne)	sem tratamento	3 - 5 anos	Reis, 1965
<i>Pinus spp</i>	Hidrossolúveis (c/pressão)	12 - 16 anos	Jankowsky et al., 1989
<i>Pinus silvestris</i>	CCA	+ de 15 anos	Hedley et al., 2000
<i>Pinus radiata</i>	CCA	19 - 43 anos	Hedley et al., 2000
<i>Pinus radiata</i>	CCB	20 anos	Hedley et al., 2000
<i>Pinus silvestris</i>	creosoto	+ de 15 anos	Reis, 1965
<i>Pinus silvestris</i>	pentaclorofenol	3 - 5 anos	Reis, 1965

Fonte: Barillari (2002)

Entretanto, existem alguns estudos que mencionam a relação entre o tratamento preservante e aumento da resistência, como Pinheiro (2001) e da dureza paralela e perpendicular às fibras, conforme Rocco Lahr, Fernandes e Bertolini (2010).

2.2 Madeira Tratada

2.2.1 Durabilidade da Madeira

Dentre as principais propriedades que se busca na madeira, nas diferentes aplicações, esperam-se características de suma importância como durabilidade natural e manutenção das propriedades físico-mecânicas com o decorrer do uso (PINHEIRO, 2001).

Fagundes (2003), entre outros, esclarece que, como material de origem orgânica, a madeira está sujeita à biodeterioração. Dependendo das condições ambientais às quais esteja submetida, é susceptível ao ataque de agentes biológicos como bactérias e fungos, insetos (coleópteros e termitas) e brocas marinhas (moluscos e crustáceos).

Segundo Richardson (1993), a durabilidade natural da madeira refere-se à taxa de degradação. Esta durabilidade em grande parte esta confinada ao cerne e, geralmente espécies de coloração escura e densas possuem esta propriedade, o que pode ser explicado, respectivamente, devido aos extrativos tóxicos aos fungos e resinas que reduzem a absorção de água, além da menor quantidade de poros na madeira e conseqüentemente menor acesso à água e oxigênio. Todavia, esta propriedade pode ser associada a outras além das características mencionadas, tomando-se como exemplo os pinheiros silvestres, chamados de “Scots Pine”, onde sua durabilidade está associada ao lenho tardio, além da alta densidade e coloração escura.

Cassens et al. (1995) enfatizam que, em situações reais, nem sempre madeiras com alta durabilidade natural estão disponíveis, pois existem espécies onde esta propriedade é restrita, necessitando assim de métodos de preservação para utilização destas espécies, as quais podem exibir também outras características, físicas e mecânicas, também demandadas à aplicação específica. Para isso, as espécies destinadas à preservação devem possuir permeabilidade suficiente para permitir a penetração e retenção da substância preservante. A tabela 2 apresenta as características de durabilidade natural, em relação à resistência a agentes biodeterioradores, bem como a permeabilidade de algumas espécies de reflorestamentos.

Tabela 2 - Durabilidade natural e permeabilidade de espécies de reflorestamento.

Espécies de madeira de reflorestamento	Resistência/Durabilidade natural*			
	Fungos	Termitas (cupins)	Outros insetos	Permeabilidade
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2 - 3	3	1	3
<i>Eucalyptus citriodora</i>	2	2	1	3
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	1	1	1	3
<i>Eucalyptus grandis</i>	4	3	1	3
<i>Eucalyptus maculata</i>	3	2	1	3
<i>Eucalyptus paniculata</i>	2	2	1	3
<i>Eucalyptus saligna</i>	4	3	1	3
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	2 - 3	4	1	3
<i>Eucalyptus urophylla</i>	4	3	1	3
<i>Pinus caribaea</i>	5	3	1	1
<i>Pinus elliottii</i>	5	4	1	1
<i>Pinus oocarpa</i>	5	3	1	1
<i>Pinus taeda</i>	5	4	1	1

*Resistência a fungos: 1 – muito durável; 2 – durável a muito durável; 3 – durável; 4 – medianamente durável; 5 – pouco durável; Resistência a termitas (cerne): 1 – muito resistente; 2 – resistentes; 3 – medianamente resistente; 4 – não resistente; Resistência outros insetos (cerne e sob condições favoráveis em coníferas): 0 – atacáveis; 1 – não atacáveis; Permeabilidade: 1 – impregnáveis; 2 – medianamente impregnáveis; 3 – pouco ou não impregnáveis.

Fonte: Fagundes (2003)

De acordo com Fagundes (2003), as espécies de baixa resistência à biodeterioração, quando impregnadas com líquidos preservativos apropriados, podem ter um desempenho igual ou superior às naturalmente mais resistentes.

2.2.2 Agentes Deterioradores da Madeira

Segundo Pinheiro (2001), a madeira em seu estado natural está susceptível ao ataque de agentes deterioradores de origem biológica ou efeitos diversos como, desgastes mecânicos, efeitos físicos, como o fogo e efeitos químicos, por meio do contato com substâncias que provoquem perda de suas características. Lepage et al. (1986) ressalta que, tais agentes podem causar desde simples mudança de cor até redução das características físico-mecânicas da madeira, podendo comprometer o desempenho arquitetônico e estrutural das peças.

A pesquisa bibliográfica evidenciou os agentes biológicos, devendo-se ao fato de caracterizarem-se como principais agentes degradadores da madeira e motivarem os tratamentos químicos preservantes.

Devido à sua composição básica, que inclui celulose, lignina e hemicelulose e, em menor proporção, amido e açúcares, a madeira está exposta e sujeita à ação de seres vivos que a utilizam como alimentação ou habitação, causando a chamada biodeterioração (PINHEIRO, 2001). Todavia, ocorrem graves deteriorações apenas quando o teor de umidade da madeira apresenta-se acima do ponto de saturação das fibras (em média de 30%) e em temperaturas entre 10 e 35°C (WOOD HANDBOOK, 2010).

Cassens et al. (1995) apresenta os organismos biodeterioradores da madeira conforme listado a seguir:

a. Microorganismos: Fungos e Bactérias

Os fungos são vegetais incapazes de sintetizar seu próprio alimento através da fotossíntese, necessitando assim de materiais orgânicos como a madeira. Tanto nas folhosas como nas coníferas, o ataque se dá preferencialmente no alburno, devido à maior presença de nutrientes (PINHEIRO, 2001).

Barillari (2002) cita a divisão dos fungos em dois grandes grupos: aqueles que possuem capacidade de degradar a parede celular, chamados de fungos de podridão e os fungos que utilizam apenas substâncias de reserva (açúcares e amido) presentes no lume celular, conhecidos como fungos emboloradores ou manchadores. Segundo Hanada et al. (2003), geralmente, os primeiros fungos colonizadores das árvores recém-abatidas são os emboloradores e os manchadores de madeira, devido à grande quantidade de substâncias de reserva, das quais eles se nutrem, e à elevada umidade.

Outro agente causador de degradação na madeira são as bactérias definidas por Ricardson (1993) como organismos unicelulares que podem se instalar em madeiras com elevado teor de umidade, sendo comum o ataque em madeiras mantidas submersas ou submetidas em condições de anaerobiose, como em estacas de fundações. Em uma etapa inicial, o ataque se restringe a materiais de reserva das células dos raios, dirigindo-se em seguida para as próprias células. Aparentemente, surgem como pequenas manchas distribuídas na superfície da madeira e em estágios avançados. As fibras e traqueídeos

também sofrem danos, podendo ocorrer o amolecimento da área, conseqüentemente com perda de resistência mecânica (MONTANA QUÍMICA, 2010).

b. Insetos Xilófagos

Os insetos xilófagos atuam como deterioradores desde a árvore viva até a madeira em serviço (BARILLARI, 2002). Caracterizam-se como a segunda maior categoria de organismos biológicos que causam degradação da madeira (CASSENS et al., 1995). No âmbito dos insetos que utilizam a madeira como alimento pode ser citado os Hemípteros (escaravelhos e percevejos), Lepidópteras (borboletas e mariposas), Dípteras (moscas e mosquitos), Hymenópteras (vespas, abelhas e formigas), Coleópteras (brocas e besouros) e Isópteras (cupins) (PINHEIRO, 2001).

Os cupins ou térmitas possuem importância ecológica no sentido de ciclagem de nutrientes que promovem nos ecossistemas que habitam. Todavia, estes insetos podem se alimentar de madeira seca, quando estas apresentam umidade abaixo de 30% e em madeira úmida, em madeiras com elevado teor de umidade. Estima-se cerca de 2.500 espécies de cupins, nos quais apenas 10% delas são consideradas pragas. (LELIS, 2000).

As brocas de madeira, pertencente à ordem Coleóptera, inicia seu ataque por quando a fêmea adulta deposita seus ovos, os quais eclodem dando origem as larvas, que são responsáveis pelos danos causados a madeira, pois se alimentam do amido do substrato. Quando adultos, os insetos perfuram a madeira, formando grandes galerias e voltam a se acasalar, iniciando-se novamente o ciclo de reprodução (LELIS, 2000).

Cassens et al. (1995) menciona que estes insetos são de maior incidência em climas quentes e úmidos, onde determinadas espécies têm preferência por folhosas ou coníferas e são diferenciadas pela também pela aparência de suas fezes, geralmente em forma de pó.

Os prejuízos decorrentes do ataque desses insetos devem-se principalmente ao uso inadequado da madeira e não a este material em si. Os usuários da madeira conhecem as vantagens desse material, mas desconhecem ou negligenciam aspectos importantes da sua deterioração biológica. Outra questão seria a adaptação destes insetos a diversos ambientes, considerando-se que, espécies hoje úteis ou inofensivas podem tornar-se prejudiciais em função de uma incorreta intervenção do homem na natureza (LELIS, 2000).

c. Perfuradores marinhos: Moluscos e Crustáceos.

O ambiente marinho é o mais agressivo em relação à utilização de madeiras, onde vários são os grupos de organismos que causam a biodeterioração com conseqüente destruição das estruturas construídas em madeira (MONTANA QUÍMICA, 2010).

Dentre estes grupos estão os crustáceos e moluscos, principalmente das espécies *Limnoria* e *Teredo*, respectivamente, com o objetivo de utilização da madeira como fonte de nutrientes, além de proteção (CASSENS et al., 1995). Os moluscos são mais difíceis de serem detectados e mais destrutivos, pois aparentemente a superfície da madeira mostra-se com pequenas perfurações, enquanto o interior pode encontrar-se em forma de “colméias de abelha”, onde os organismos estão presos. Já os crustáceos se diferenciam dos moluscos no sentido de não se prenderem à madeira e devido à formação de orifícios ocasionada pela combinação da ação das brocas e erosão hídrica (WOOD HANDBOOK, 2010).

2.2.3 Preservação da Madeira

Brazolin et al. (2007) definem preservação de madeira como um conjunto de medidas preventivas e curativas para controle de agentes biológicos, físicos e químicos que afetam as propriedades da madeira, ou seja, sua durabilidade.

O histórico da preservação remonta aos primórdios da civilização, desde a época de Noé e das civilizações egípcia e chinesa (CASSENS et al., 1995; ESTEVES, 2009; RICHARDSON, 1993). Nos períodos de grandes navegações, por volta dos séculos XVI e XVII, começaram a surgir os problemas de conservação dos navios, registrando-se grandes perdas causadas pela podridão seca e pela ação de organismos marinhos, aconselhando-se a imersão da madeira em uma mistura de alcatrão vegetal e ácido piralenhoso (RICHARDSON, 1993).

Os primeiros registros sobre a indicação ou uso de preservativos de substâncias hidrossolúveis, como o cloreto de mercúrio e sulfato de cobre, ocorreram em 1767 (WEISS, 1916). Segundo Esteves (2009), o surgimento da era moderna da preservação iniciou-se com Moll que, em 1836, patenteou o uso do creosoto na preservação de madeiras e de Jonh Bethell que, em 1838, desenvolveu o processo de célula-cheia, consistindo na introdução de preservantes

na madeira utilizando um sistema de pressão, método ainda amplamente utilizado nos dias de hoje. Os métodos célula vazia para uso com preservantes oleosos, denominados de Rueping e Lowry, surgiram alguns anos depois.

Estima-se que, em 1587 foi datado o primeiro documento sobre preservação de madeira no Brasil, escrito por um fazendeiro português descrevendo o ataque de térmitas subterrâneos e brocas, ocorridos em construções, citando também ataques de perfuradores marinhos e a durabilidade natural de algumas espécies de madeira em diferentes ambientes. Até 1854, o suprimento de madeiras no Brasil, destinadas para a ferrovia era proveniente de madeiras duráveis, devido à grande disponibilidade. Todavia, com o crescimento do segmento, o início das atividades industriais de preservação de madeiras no Brasil teve como base o tratamento de dormentes pela indústria ferroviária e o uso de postes para redes de distribuição de energia elétrica, de forma similar ao verificado em países como a Inglaterra, a Austrália, e os Estados Unidos, dentre outros (REMADE, 2002).

A indústria de preservação nos EUA alcançou em 1999, a produção de 15 milhões de m³, no qual 70% eram destinados a construção civil, o que determinava o novo destino do mercado, antes ocupado especialmente por dormentes, estacas e postes (PRESTON, 2000). Já em 2006, o mercado europeu de madeira tratada, um dos maiores mundialmente junto aos EUA, teve um movimento da ordem de 6,5 milhões de metros cúbicos, dos quais 44% foi destinado à construção, outros 21% para móveis de jardim e 15% para cercas (PORTAL REFERÊNCIA, 2009).

A APEBF (2011) menciona que, segundo estimativas da Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM), existem atualmente cerca de 250 usinas de preservação no Brasil produzindo 1,2 milhões de m³ de madeira tratada por ano. Aponta que 10% se destinam à construção civil, 15% para os setores elétricos e ferroviários, os outros 60% ao setor rural (mourões, esticadores, postes).

O uso da madeira tratada é viável em termos econômicos e ambientais, aumentando-se a vida útil em serviço e reduzindo à demanda pela matéria-prima da indústria madeireira (RICHARDSON, 1993).

Magalhães e Pereira (2003) ressaltam que embora o tratamento preservativo implique aumento do custo inicial da madeira, ao longo do tempo de uso o custo é diluído, de modo a ser mais vantajoso que utilizar a madeira não tratada.

Segundo Pinheiro (2001), grande parte dos segmentos consumidores possui áreas reflorestadas, principalmente de espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, em condições de fornecer madeira para as aplicações específicas. Como são susceptíveis a ataques de organismos xilófagos, necessitam de cuidados que previnam a demanda biológica. Destaca a preservação química como o método mais eficaz contra a deterioração da madeira.

2.2.4 Tipos de preservantes

Neste tópico serão apresentados os tipos de preservantes empregados no tratamento da madeira, porém enfatizando-se os hidrossolúveis, em específico, aqueles de maior utilização no Brasil.

Bigelow et al. (2007) destaca que o objetivo dos preservantes é essencialmente a proteção da madeira ao ataque de organismos deterioradores. Segundo Calil Jr. (2002) é primordial que possuam boa toxidez, alta permanência de forma a não se decompor e não alterar suas características sob intempéries, não possuir ação corrosiva (devido à utilização de dispositivos de ligações), não modificar as propriedades físicas e mecânicas da madeira e ser inofensivo aos homens e meio-ambiente, que não o espectro de organismos deterioradores. Devido à toxicidade, alguns preservantes são classificados de acordo com a Environmental Protection Agency (EPA) como pesticidas de uso restrito.

De acordo com o Wood Handbook (2010), as reações dos compostos ativos de cada tipo de preservante ocorrem de maneira diferente, ou seja, em algumas substâncias as reações ocorrem rapidamente, enquanto outras podem levar dias ou mesmo semanas, dependendo do armazenamento e processamento após o tratamento preservante. Caso a madeira tratada seja colocada em serviço anteriormente as reações de fixação serem concluídas, o lançamento inicial (lixiviação) do preservante no ambiente pode ser de maior intensidade.

Ibach (1999) *apud* Bigelow et al. (2007) citam que os preservativos podem ser categorizados por meio da exposição à qual serão expostos. Em peças tratadas que serão submetidas à condições marinhas, devem possuir boa resistência à lixiviação, ou seja, não ocorrer o desprendimento dos componentes da substâncias no meio, alta resistência à deterioração dos organismos marinhos e podem requerer tratamentos pesados. No caso de peças em contato com o solo, devem possuir resistência suficiente a lixiviação e eficácia de amplo espectro para proteger a madeira que está exposta diretamente ao meio com alta

umidade. Produtos que estarão acima do solo, devem possuir toxicidade e resistência à lixiviação intermediária, que lhes permita proteger a madeira que está totalmente exposta ao tempo, mas não em contato com o solo.

Os preservantes podem ser classificados em oleosos e hidrossolúveis, diferenciando-se em relação ao veículo usado para impregnanção, ou seja, o solvente empregado para sua diluição. Nas substâncias oleosas, este veículo é um subproduto da hulha e algumas frações de petróleo. Os hidrossolúveis caracterizam-se como sais preservativos e o veículo usado para impregnanção é a água (CALIL JR., 2002).

De acordo com Lebow (2006), entre os preservativos mais comuns da classe dos oleosos e oleossolúveis encontram-se, respectivamente, o creosoto e o pentaclorofenol, preservantes confinados principalmente aos usos que não envolvem contato humano freqüente e o naftaleno de cobre, de menor toxicidade a animais. O Pentaclorofenol e naftenato de cobre podem ser dissolvidos em solventes diversos, porém possuem maior eficácia quando diluídos em óleos pesados. Entretanto, o creosoto não é dissolvido em óleo, embora possuía propriedades que o torna aparentemente oleoso.

Oleosos ao toque e com odor perceptível, a característica oleosa nestes preservantes torna a madeira menos suscetível a fissuras, auxilia como barreira de umidade da peça preservada, permite melhor penetração em coníferas e evita a saída de parte do preservativo do interior da peça. Os preservantes oleosos têm aplicação preferencial em elementos estruturais (WACKER e CRAWFORD, 2010).

Outra classe das substâncias preservantes, os hidrossolúveis, são constituídos principalmente de sais metálicos e fluor, incluindo compostos de arsênio, cromo, cobre zinco e fluor. Estes preservantes apresentam toxicidade e resistência a lixiviação suficiente para proteger a madeira em contato com o solo, na água-doce, em alta umidade ou outras aplicações de alto risco (LEBOW, 2006). Conforme Bigelow et al. (2007), os tratamentos preservantes realizados com hidrossolúveis promovem efeitos sobre as propriedades mecânicas da madeira tratada, porém dependentemente da espécie, características da substância preservante, retenção da mesma, pós-tratamento, temperatura de secagem da madeira e condições que serão expostas a peça em serviço.

As substâncias da classe dos hidrossolúveis de maior importância são o CCA (arseniato de cobre cromatado), CCB (borato de cobre cromatado), ACC (cromato de cobre ácido), ACA (arseniato de cobre amoniacal), ACZA (arseniato de cobre e zinco amoniacal),

compostos de boro, além das aminas terciárias, sais de amônio quaternários e FCAP (à base de flúor, cromo, arsênio e fenóis) (BIGELOW et al., 2007) . Dos citados, o CCA e CCB são os preservantes hidrossolúveis de maior aplicação no Brasil.

2.2.4.1 Arseniato de Cobre Cromatado (CCA)

O CCA, do inglês *Chromated Copper Arsenate*, foi aprovado para uso na década de 1940, dominando o mercado de 1970 até 2004. Neste período caracterizou-se como o preservante mais utilizado devido a sua eficácia, já tendo representado mais de 90% das vendas no mercado dos EUA. Desde então, o EPA não aprova o uso deste produto em construções residenciais e tem limitado a sua utilização para determinados usos industriais e comerciais, que inclui componentes da ponte de madeira. Isto se deve ao fato do arsênio inorgânico presente em sua composição, classificado como de uso restrito (LEBOW, 2006; BIGELOW et al., 2007). Entretanto, no Brasil, os produtos existentes e as normas técnicas que regulamentam a utilização do CCA ainda o consideram como produto seguro e que fornece grande durabilidade (Fagundes, 2003).

De acordo com Moreschi (2011), o CCA é empregado em 3 tipos diferentes de formulações (A, B e C), contendo 19% de óxido de cobre (CuO), diferindo-se em relação aos teores de cromo e arsênio (tabela 3). Porém, apenas o CCA tipo C ainda é utilizado, pela melhor resistência à lixiviação e eficácia no campo (BIGELOW et al., 2007).

Tabela 3 - Composição dos tipos de CCA.

COMPONENTE	COMPOSIÇÃO (%)		
	TIPO A	TIPO B	TIPO C
Cromo como CrO_3	65,5	35,3	47,5
Cobre como CuO	18,1	19,6	18,5
Arsênio como As_2O_5	16,4	45,1	34,0

Fonte: Moreschi (2011)

Ramos (2003) descreve o mecanismo de fixação do CCA na madeira por meio da penetração dos elementos químicos do preservante e fixação destes nas paredes das células. O

Cromo promove uma reação de fixação do Cobre (fungicida) e do Arsênio (inseticida) com os elementos celulósicos da madeira. Esta substância possui boa penetração, é inodora e permite acabamento da superfície. Para se assegurar a fixação total do arsênio, a relação de CrO_3 para As_2O_5 deve exceder 1,5 (MORESCHI, 2011). Após tratamento com CCA, a madeira adquire coloração esverdeada, não exala odores nem vapores tóxicos ao homem e não aumenta a combustibilidade, além de conferir proteção contra fungos, insetos e brocas marinhas (LEPAGE et al., 1986).

2.2.4.2 Borato de Cobre Cromatado (CCB)

O surgimento do CCB, ocorrido na Alemanha por volta dos anos 1960, deu-se como resposta às preocupações em relação à toxicidade do composto arsênio no CCA, diferenciando-se pela substituição do arsênio pelo boro ou ácido bórico (MORESCHI, 2011). O boro é caracterizado é elemento com boa capacidade de proteção contra fungos apodrecedores e insetos xilófagos, além de possuir uma boa relação custo-benefício (VALCÁRCEL et al., 2004). A composição do CCB é exposta na tabela 4.

Tabela 4 - Composição do preservante CCB.

COMPOSTOS	COMPOSIÇÃO (%)
CuO	26
B	10,5
CrO ₃	63,5

Fonte: ABNT (1986)

Além de menor toxicidade, o ácido bórico migra mais profundamente na madeira após o tratamento. Por ser lixiviável, torna a madeira mais vulnerável ao ataque de fungos tolerantes ao cobre. O cromo no CCB oferece o benefício de redução da corrosão de possíveis ligações por elementos na madeira (LEBOW, 2006).

Porém, esta particularidade na resistência à lixiviação do cobre do CCB frente ao CCA é relativa: depende das condições do meio de exposição, da espécie tratada e da retenção do

preservante. Há relatos de equivalente eficiência do CCB em relação ao CCA em condições de clima temperado, com longos períodos de seca (KAKARAS et al., 2002).

Humar e Pohleven (2006) estudaram a propriedade de resistência à lixiviação de preservantes à base de cobre. A partir de corpos-de-prova de abeto impregnados com soluções aquosas de cobre-etanolamina (CA-B) e outros tratados com soluções de quaternários de amônio (ACQ), mostraram que a lixiviação de cobre, mesmo com a adição de hidrorrepelente (ácido octanóico) foi significativamente maior, quando comparada aos tratados com CCB, enfatizando-se a resistência do CCB à lixiviação (tabela 5).

Tabela 5 - Valores de Cobre Lixiviado de soluções à base de cobre.

Preservativo*	Tipo de Água	Cobre lixiviado (%)
CCB	Água corrente	0.2
	Água destilada	0.1
	Água de rio	0.1
	Água salgada	0.2
	Solução Ácido Húmico	1.2
CuE	Água corrente	7.2
	Água destilada	7.1
	Água de rio	4.7
	Água salgada	7.4
	Solução Ácido Húmico	11.7
CuEO	Água corrente	5.9
	Água destilada	3.8
	Água de rio	4.8
	Água salgada	5.1
	Solução Ácido Húmico	7.6
CUEOQ	Água corrente	9.7
	Água destilada	9.6
	Água de rio	10.5
	Água salgada	7.6
	Solução Ácido Húmico	13.6

*Observação: As siglas CuE, CuEO e CuEOQ correspondem, respectivamente, à cobre-etanolamina (ingrediente ativo do CA -B), cobre-etanolamina + ácido octanóico e cobre-etanolamina + ácido octanóico + quaternário de amônio (ACQ).

Fonte: Humar e Pohleven (2006)

Segundo Lepage (2010), novas maneiras de se formular o CCB, com a existência do oxigênio como ânion comum aos três componentes (o elemento boro entra na composição do produto como B_2O_3), promove um efeito de menor lixiviação em água, até que as reações de fixação nos constituintes de madeira sejam completadas. Desta maneira, o CCB nesta formulação apresenta como principais características:

- Ambientalmente amigável e baixo custo em relação aos produtos mais recentes lançados no mercado;
- Não aumenta a condutibilidade elétrica da madeira;
- Não é corrosivo a metais e em particular ao aço carbono e alumínio;
- Não é fitotóxico;
- Reduzida lixiviação de cobre e de cromo;
- Permite mais flexibilidade aos processos de tratamento;
- Alta difusibilidade do boro permite o tratamento de espécies mais refratárias ou mesmo de alguma porção superficial de cerne, porventura existente em uma peça de madeira;
- Como não possui nitrogênio em sua composição, não há desenvolvimento de bolores na superfície da madeira tratada;
- Eficiência comprovada em condições reais de serviço e em campo de apodrecimento, após longo período de exposição (Barillari, 2002).

Apesar de ocorrerem raros estudos até então sobre a influência do tratamento preservante nas propriedades mecânicas da madeira tratada com CCB, os existentes reforçam as vantagens em relação ao uso desta substância.

Pinheiro (2001) avaliou o incremento em algumas propriedades de resistência e de rigidez da madeira tratada, em condições de laboratório, com sais de cromo, cobre e arsênico (CCA) e cromo, cobre e boro (CCB). O autor ressalta em seus estudos o desempenho de peças de *Pinus elliottii* tratadas em relação à resistência à compressão paralela, nas quais as amostras tratadas com CCB, com retenção de 40 kg/m³, obtiveram incrementos de 55% nesta propriedade, enquanto peças tratadas com CCA, de retenção 10 kg/m³, acrescentaram apenas 17%.

Em estudos recentes, abordando a influência da preservação com CCB na madeira de *Pinus sp*, Rocco Lahr, Fernandes e Bertolini (2010), constataram que o tratamento preservante

aumentou a massa específica desta espécie em cerca de 27% (de 0,55 g/cm³ para 0,70 g/cm³) e conseqüentemente sua dureza.

2.2.5 Métodos de Preservação

Barillari (2002) classifica os processos de preservação em: preservação natural, de forma a evitar o contato da madeira com o solo e com fontes de umidade e calor; preservação indireta, por meio do tratamento do meio em que a madeira é inserida; preservação biológica, empregando-se organismos vivos na prevenção ao ataque de agentes xilófagos e; a preservação química, impregnando-se produtos tóxicos aos organismos deterioradores, sendo esta a mais antiga, aplicada e efetiva forma de preservação.

Segundo Pinheiro (2001), também podem ser adotadas medidas preventivas logo após o corte da madeira, como a imersão em água, o jateamento superficial de produtos inseticidas e fungicidas diluídos em água, além da vedação de suas extremidades. Para peças processadas podem ser empregados métodos de secagem.

A preservação química por sua vez, pode caracterizar-se como a curto ou a longo prazo, respectivamente, por meio de imersão, pincelagem ou spray, com duração de apenas alguns meses ou necessitando de uma penetração superior na madeira, o qual consegue-se por imersão da madeira ou com aplicação de pressão (ESTEVES, 2009).

A penetração e a retenção determinam a qualidade do tratamento preservante. Os níveis de penetração variam demasiadamente mesmo em processos de alta pressão, pois na maioria das espécies o cerne é de mais difícil penetração que o alburno. Em casos de espécies pouco permeáveis, pequenas incisões são realizadas para facilitar a penetração do preservante. A penetração do preservante pode variar de 1,6 a 6 milímetros, dependendo da espécie tratada. Em geral, deseja-se a penetração de todo o alburno da madeira, sendo possível com tratamento de peças com bitolas do produto final, como vigas, estacas, etc; o que se torna mais difícil de ocorrer quando são tratadas peças roliças, como postes (GROENIER e LEBOW, 2006).

Os métodos de preservação química são aplicados dependentemente dos tipos de preservantes empregados, podendo-se utilizar ou não pressão, sendo os processos envolvendo pressão aqueles empregados a nível industrial (CASSENS et al., 1995).

2.2.5.1 Processos envolvendo pressão

Richardson (1993) menciona o início deste método de preservação no século XIX, em 1831, com a patente do processo realizado em autoclaves por Breant. Tal método consistia de um vácuo inicial, cujo objetivo era retirar o ar contido no lúmen, e da aplicação do preservativo sob pressão.

De acordo com Groenier e Lebow (2006), neste tipo de processo, a madeira é impregnada pela substância preservante, com pressões acima da atmosférica, sendo possível o controle de penetração e retenção do preservante. A pressão varia em torno de 345 a 1723 kPa, dependendo da espécie e em alguns casos, emprega-se preservante aquecido, de modo a facilitar a penetração do mesmo, com temperatura específica para cada tipo de substância, de acordo com especificações da American Wood-Preservers Association (AWPA). Todos os processos empregando-se pressão são realizados em um equipamento denominado autoclave, com controle de pressão e vácuo (figura 3).

Figura 3 - Autoclave para preservação de madeiras.
Fonte: EUCAPRES (2009)

Comumente, são três processos nos quais utiliza-se pressão, todavia, comercialmente, utilizam-se variações ou combinações destes processos, conforme descritos a seguir:

- *Célula Cheia*

Também conhecido como Processo de Bethell, este método foi desenvolvido em 1838 e é empregado quando objetiva-se maior retenção possível de preservante. Neste processo, a introdução do preservativo na madeira ocorre de maneira forçada, através da aplicação de pressão na superfície do elemento, podendo atingir todo o lenho, no caso das coníferas ou todo o alburno, nas dicotiledôneas (CASSENS et al., 1995).

Conforme Groenier e Lebow (2006), o processo consiste na introdução da madeira em autoclave, onde inicialmente aplica-se vácuo para retirada do ar do interior do equipamento. Em seguida, o preservativo à temperatura ambiente ou superior, dependendo do sistema, é bombeado para dentro do cilindro, sem a retirada do vácuo. Após preenchimento do interior do cilindro da autoclave, a pressão é aplicada até a absorção da substância pela madeira ou período determinado pelo preservante em questão. A solução preservante é retirada do cilindro e então um vácuo de curta duração é empregado para remover possíveis excessos na superfície da madeira. Como resultado, o lúmen e a parede celular recebem o preservativo, por isso, denomina-se processo de *Célula Cheia*. O procedimento pode ser visualizado conforme a figura 4.

Figura 4 - Seqüência do método de Célula Cheia.
Fonte: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2002).

Geralmente, utiliza-se este método quando empregado o creosoto para perfuradores marinhos, onde são requeridos altos níveis de retenção, e também quando utilizadas substâncias hidrossolúveis. A retenção também pode ser controlada por meio do controle da concentração da solução de tratamento (GROENIER e LEBOW, 2006).

- Modificado de Célula Cheia

Cassens et al., 1995 ressalta que, em alguns tratamentos com oleosos ou creosoto, o processo de célula cheia força um excesso de substância preservante na madeira, podendo esta solução retornar a superfície da madeira após seu tratamento, utilizando-se este processo somente quando necessária retenção adicional.

Por este motivo, adotaram-se mudanças no processo, como níveis mais baixos de vácuo inicial e muitas vezes um vácuo final prolongado. A quantidade de vácuo inicial é determinada pela espécie de madeira, tamanho, material e retenção desejado. Uma quantidade residual de ar na madeira se expande durante o vácuo final para expulsar parte da solução injetada conservante. Este tem sido o método mais comumente usado para utilização dos hidrossolúveis (GROENIER e LEBOW, 2006).

- Célula Vazia

A elevada retenção do processo de Célula Cheia em alguns casos, tornava-se um limitante para sua aplicação. Com isso, em 1902, ocorreu o surgimento do processo tido como *Célula Vazia*, inventado por Wasserman, porém colocado em prática por Rüeping e modificado por Lowry, por isso é denominado atualmente por *Processos de Rüeping e Lowry* (LEPAGE et al., 1986).

A principal diferença entre os processos de Rüeping e de Lowry é que o primeiro aplica uma injeção de ar comprimido antes da solução preservativa, porém ambos usam a força expansiva do ar comprimido para expulsar parte do preservativo absorvido durante o período de pressão e resultam em apenas as paredes celulares impregnadas. (GROENIER e LEBOW, 2006; LEPAGE et al., 1986).

Segundo Groenier e Lebow (2006), o método de *Célula Vazia* é projetado para obter-se uma penetração profunda com retenção relativamente baixa de preservante. O processo de Rüeping, amplamente utilizado por muitos anos na Europa e EUA, consiste, inicialmente na

aplicação de ar sob pressão no interior do cilindro da autoclave, cuja pressão é dependente da permeabilidade da madeira, variando entre 172 a 689 kPa em função da retenção desejada e resistência da madeira. Em seguida, o preservante é forçado para o interior do cilindro até seu preenchimento e uma pressão superior a inicial é aplicada, até que a madeira absorva a substância até o seu limite. Finalmente, o preservativo é drenado e o excesso de preservante é retirado da madeira por meio de vácuo, chegando à níveis de 20 a 60% da solução total aplicada na impregnação.

2.2.6 Qualidade do Tratamento Preservante

A longevidade de vida ou de serviço da madeira tratada com preservativo depende de uma série de fatores, incluindo tipo e qualidade de tratamento preservativo, práticas de construção, tipo de exposição, e do clima (BIGELOW et al., 2007).

Alguns ensaios são empregados para determinar essa durabilidade, como aqueles onde amostras são semi-enterradas e periodicamente inspecionadas para determinação da extensão da deterioração e ataque de insetos (BARILLARI, 2002).

O Laboratório de Produtos do USDA Forest Service realiza vários ensaios similares aos citados desde a década de 1930. Recentes observações para viabilizar análises de desempenho em longo prazo confrontaram-se os preservantes creosoto, pentaclorofenol, ACZA/ACA e CCA-C, em níveis de retenções críticas de cada substância. Observou melhor desempenho do CCA-C, seguido do ACZA/ACA, creosoto e pentaclorofenol (BIGELOW et al., 2007).

Barillari (2002), em estudos do mesmo grau, analisou espécies do gênero *Pinus*, tratadas com CCA, tipos A, B e C, CCB e pentaclorofenol, em cinco níveis de retenção. A autora adotou método similar ao citado anteriormente, consistindo no enterramento das estacas de peças tratadas livres de defeitos, seguindo-se um método padrão sugerido pela International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO), descrito por Lepage em 1970. Os índices de comportamento mais altos (maior expectativa de durabilidade) corresponderam aos tratamentos com CCA tipos A, B e C em retenções acima de 7,5 kg/m³. Mesmo para os tratamentos que apresentaram os menores índices de comportamento (CCA tipo C com retenções de 5,0 kg/m³ e CCB com 5,9 kg/m³), foi prevista durabilidade de 30 anos em serviço das peças tratadas.

Além dos ensaios anteriormente citados, a maioria dos países possui normas padrões orientando a seleção dos tipos de preservantes e as cargas adequadas a uma utilização final específica, além de sistemas de conservação de maior eficácia. Nos EUA, a AWPAA é o órgão de definição de padrões primários, porém também há a sobreposição com as normas desenvolvidas pela American Society for Testing and Materials (ASTM) e pelos fabricantes de portas e janelas Window and Door Manufacturers Association - (WDMA), além de outras organizações, dependendo do produto preservado (CASSENS et al., 1995).

De acordo com Lebow (2006), as normas Use Category System (UCS) desenvolvidas pela AWPAA, categorizam aplicações de madeira tratada com a gravidade do perigo de deterioração. Além disso, simplificam o processo de escolha do preservante mais adequado, e as retenções específicas para cada tipo de substância.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio de documentos normativos, aponta os requisitos recomendáveis de preservação de acordo com a espécie ou produto de madeira empregada. Entre estes documentos citam-se: NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira; NBR 8456 e NBR 8457: Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica; NBR 9480: Mourões de madeira preservada para cercas; NBR 7511: Dormente de madeira - Requisitos e métodos de ensaios; NBR 6236: Madeira para carretéis para fios, cordoalhas e cabos e a NBR 6232: Poste de madeira - Penetração e retenção de preservativo (ABPM, 2010).

Segundo Geraldo (2002), o Brasil ainda possui um número insuficiente de normas e especificações para outros produtos de madeira tratada ou de marca de conformidade, acarretando em maior destinação da madeira tratada ao segmento rural, seguido pelo elétrico, ferroviário e de madeira serrada, enquanto que o volume de madeira serrada preservada resume-se de 3 a 5% do volume total produzido.

2.2.7 Aspectos Ambientais relacionados à Madeira Tratada

Um das principais vantagens no tratamento de madeiras é destacada por alguns autores como Cassens et al. (1995); Lepage et al. (1986) e Richardson (1993) como a conservação das florestas por meio do aumento da vida útil dos produtos madeireiros em serviço. A madeira tratada com substâncias como o CCA, contendo o arsênio, potencialmente tóxico se libertado no

ambiente em quantidades suficientes, torna-se motivo de alerta, devido à acumulação de resíduos de processamento ou peças no final do ciclo de vida.

Na construção civil vem crescendo o interesse por produtos obtidos a partir desta matéria-prima, embora as técnicas de aplicação careçam de normatização. Nas usinas de preservação no Brasil, o CCA representa perto de 80% do volume de preservativo utilizado; o CCB, o lindane, o tribromofenato e o creosoto, apenas 20%, (SILVA, 2006). Partindo-se da estimativa de Silva (2006), na qual a quantidade de resíduos proveniente de madeira tratada no Brasil seja da ordem 15% a 20% da produção anual, avaliando-se apenas resíduos de processo, e considerando os dados recentes da APEBF (2011) mencionando que recentemente esta produção seja de 1,2 milhões de m³, estima-se que o montante de resíduos seja da ordem de 240 mil m³/ano.

O setor de preservação de madeiras, no Brasil, é regulamentado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) que classificam o CCA como extremamente tóxico. O expressivo volume desta substância ainda empregada no país frente ao CCB pode ser explicado devido à falta de restrições para sua utilização, ao contrário do que já ocorre em países como Japão, Indonésia, Suécia, Dinamarca, Alemanha e EUA, nos quais regulamentações e manifestações têm restringido o uso de CCA.

Solo-Gabriele, Townsend, e Cai (2004) citam que estudos na Flórida, EUA, enfocando os impactos ambientais ocasionados pelo CCA foram efetuados a partir dos níveis elevados de arsênio e cromo encontrados nas cinzas de usinas de co-geração de energia no interior do Estado. Durante 1996, constatou-se que essa contaminação foi gerada pela queima da madeira tratada para obtenção de energia. Desde então, equipes da Universidade de Miami e da Universidade da Flórida têm avaliado soluções para eliminação deste problema.

Apesar de o CCB constituir-se com alternativa em relação ao CCA, devido a menores impactos ambientais (substituição do arsênio pelo boro), a eliminação inadequada pode também caracterizá-lo como potencial poluidor. Lepage (2010) cita que a reutilização/reciclagem de madeira tratada reflete três aspectos importantes: conservação de florestas, diminuição do uso de aterros industriais e criação de mais oportunidades para o mercado da reciclagem.

Diversos autores propõem métodos de Bioremediação e remediação, exemplificando-se: os procedimentos empregando-se *Bacillus licheniformis* CC01 e extração com ácido oxálico, objetivando-se remover quantidades significativas de metais a partir da madeira tratada com CCA, atingindo cerca de 70, 80 e 100% na extração dos compostos cobre, cromo e arsênio, respectivamente (CLAUSEN, KARTAL E MUEHL, 2000); Extração do cobre da madeira

tratada com CCA e CCB por meio da exposição da madeira à fungos tolerantes à essa substância (*Antrodia vaillantii*, *Leucogyrophana pinastri*, *Poria monticola* e *Gloeophyllum trabeum*) por Humar, Pohleven e Sam (2004) e extração com ácidos orgânicos (ácidos cítrico, acético, fórmico, oxálico, fumárico, tartárico, glucônico emaléico) e ácidos minerais, (ácido sulfúrico, clorídrico, nítrico e fosfórico) conforme citados por Kartal (2003). Apesar de efetivos, a biorremediação e remediação encontram-se ainda em níveis de pesquisas.

Considerando-se os processos industriais de tratamento da madeira, a destinação aconselhada deve ser o descarte adequado em aterros controlados, para incineração da madeira tratada e captação dos gases eliminados. Conforme Montana Química (2010), o procedimento adequado para a destinação final dos resíduos de madeira tratada é a disposição em aterros devidamente registrados pelo Órgão Ambiental local, de acordo com a legislação ambiental municipal e estadual vigente. Além disto, não se devem reutilizar sobras/resíduos da madeira tratada na fabricação de produtos destinados à queima (carvão, briquetes) ou combustíveis, nem descartá-los a céu aberto.

Na Europa, grande parte dos resíduos de madeira tratada é incinerada. Na América do Norte, os resíduos em grande parte são enviados para aterros sanitários. No Brasil, há poucos aterros controlados para a destinação destes resíduos (FERRARINI, 2010).

Considerando-se resíduos de processamento da madeira tratada, ou seja, costaneiras, destopos, serragem proveniente das ações de dessengrossadeiras e desempenadeiras, algumas alternativas podem constituir-se em maneiras de agregar valor aos resíduos e de aproveitar suas propriedades, conforme aquelas citadas para o CCB no tópico 2.2.4.2.

Lepage (2010) cita como formas de reciclagem, a produção de chapas de fibras, chapas de partículas, madeira laminada, compósitos de madeira-cimento e de compósitos plástico-madeira. Além disso, o autor enfatiza que o CCB possui elementos metálicos de menor toxidez, permitindo o processo de pirólise (queima sem oxigênio), despontando assim como um dos preservantes mais promissores na categoria de tratamentos térmicos.

2.3 Painéis de Madeira Aglomerada

O progresso tecnológico do setor madeireiro, aliado a disponibilidade de florestas plantadas possibilitou uma série de alternativas para uso do recurso florestal madeira, dentre

elas a produção de painéis. A partir da madeira, é possível gerar novos produtos pela sua reconstituição utilizando métodos e processos adequados. A madeira torna-se importante como insumo, pois se caracteriza como matéria-prima renovável e com baixo consumo de energia de processamento (MENDES, 2001).

As chapas de madeira aglomerada, denominadas comercialmente como “aglomerados”, são conceituadas segundo autores como Iwakiri (2005), Maloney (1977) e Moslemi (1974) como painéis produzidos com partículas de madeira, incorporando-se resinas sintéticas ou outros adesivos, consolidados por meio de um processo de prensagem aplicando-se temperatura e pressão.

Segundo Moslemi (1974), estudos para o desenvolvimento destas chapas de partículas tiveram início na década de 1920, nos Estados Unidos, porém somente na década de 1940, na Alemanha, ocorreu a primeira produção industrial, com chapas confeccionadas com resinas fenólicas. O advento dos painéis de partículas surgiu diante da dificuldade de obtenção de madeiras adequadas para laminação e produção dos compensados, o que viabilizou o aproveitamento de resíduos madeireiros (IWAKIRI, 2005).

Conforme mencionado por Trianoski (2010), recentemente busca-se a consolidação da terminologia *Medium Density Particleboard* (MDP) ou Painéis de Partículas de Média Densidade no setor florestal, por meio de algumas discussões relacionadas às especificações e normatização deste produto. Segundo a mesma, estuda-se o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como melhorias em todo processo produtivo, de forma a se proporcionar qualidade ao produto final.

Dentre os produtos à base de madeira, os painéis aglomerados vêm apresentando uma das maiores taxas de crescimento, tanto mundialmente, quanto nacionalmente, em função da quantidade de produtos disponíveis e facilidades na aplicação para mais variados fins. Os gráficos 3 e 4 apresentam números do setor de painéis, destacando-se os aglomerados.

Gráfico 3 - Projeção da Produção de Painéis de Madeira (2010-2020).
 Fonte: FAO (2004) adaptado por STCP (2007) *apud* ABIMCI (2007)

Gráfico 4 - Produção mundial de painéis de madeira nos últimos 10 anos.
 Fonte: FAO (2010)

O Brasil exibe excelentes condições para a produção dos painéis aglomerados, conforme mostra a tabela 6, em função principalmente da possibilidade de cultivar, em larga escala, espécies florestais de rápido crescimento, como as oriundas de *Pinus* e *Eucalyptus*. Além disso, as instalações de novas unidades produtoras, busca de novas tecnologias e modernização do pátio industrial, justificam a significativa produção destes derivados da madeira (BRASIL et al., 2003).

Tabela 6 - Panorama dos painéis a nível nacional.

Produto	Volumes (m ³) em 2010				Capacidade Nominal Instalada m ³
	Produção	Importação	Exportação	Consumo Interno	
MDP	2.488.915	36.271	25.761	2.499.425	4.210.000
MDF	2.394.677	121.542	32.838	2.483.381	3.860.000
HDF	399.862	1.957	120.481	281.338	450.000
CONSOLIDADO	5.283.454	159.770	179.080	5.264.144	8.520.000

Fonte: ABIPA (2010)

Iwakiri et al. (2001) menciona que no Brasil, os primeiros painéis foram fabricados em 1966, com a instalação de uma planta industrial na cidade de Curitiba – Paraná. Atualmente, as produtoras de painéis aglomerados localizam-se nas regiões sul e sudeste do Brasil (Figura 5), na qual cerca de 80% da produção de painéis atendem a indústria moveleira e o restante tem sido empregado na construção civil e na indústria de embalagens.

Figura 5 - Localização das empresas produtoras de painéis no Brasil.

Fonte: ABIPA (2009)

O aumento na demanda dos painéis aglomerados deve-se a diversos fatores, considerando-se suas vantagens em relação a outros produtos compostos de madeira, e também

à madeira serrada. Dentre suas vantagens, de acordo com Bodig e Jayne (1982), Dias (2008), Iwakiri (2005), Nascimento (2003) e Tomaselli (2000), podem ser citadas:

- Eliminação de efeitos da anisotropia;
- Resistência da chapa no sentido da largura e do comprimento é similar;
- Eliminação de fatores redutores da resistência como nós, inclinação da grã, lenhos juvenil e adulto, entre outros;
- Controle das propriedades físico-mecânicas por meio das variáveis de processo, como resina, geometria de partículas, grau de densificação etc;
- Menor exigência em termos de qualidade da matéria-prima;
- Menos custo de produção e mão de obra.

2.3.1 Fabricação e Aplicação dos Painéis Aglomerados

A fabricação dos painéis aglomerados depende diretamente dos tipos de partículas que definem a estrutura do painel, tipo de resina e aditivos, equipamentos e metodologia empregados na manufatura dos painéis.

Os processos envolvidos na manufatura dos painéis incluem: descascamento das toras; redução das toras em partículas (proveniente de toras inteiras ou de resíduos de processamento primário); secagem das partículas; classificação; armazenamento; mistura das partículas e adesivo; formação do colchão; prensagem; acondicionamento e finalmente; operações de acabamento (KOLLMANN, KUENZI e STAMM, 1975). O esquema das operações citadas é apresentado na figura 6.

Figura 6 - Esquema de fabricação dos painéis aglomerados.
 Fonte: Placas do Paraná (2001) *apud* Chipanski (2006)

As etapas do processo são descritas a seguir, de acordo com Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975).

- Descascamento das partículas

Nesta etapa é retirada a casca, responsável por aproximadamente de 10% a 17% do volume da madeira, no caso do pinus. Os equipamentos empregados nesta operação podem ser móveis ou estacionários, com capacidades e volume específicos e com métodos de operações diferentes como: tambor rotativo de fricção; jateadores de água a alta pressão; correias; anel e; cabeça atritante.

- Produção das partículas

A madeira pode passar por uma redução primária, para transformação das toras em cavacos, utilizando picadores e redução secundária, para obtenção das partículas, empregando-se moinhos. O tamanho das partículas é definido de acordo com configuração desejada dos painéis.

- Secagem das partículas

A qualidade das chapas produzidas depende diretamente do teor de umidade das partículas. As partículas entram no secador com umidade na faixa de 35% a 120% (base peso seco) alcançando teores de 3% a 6%, variando para teores de 5% a 12%. Este teor depende do tipo de resina empregada e irá influenciar, sobretudo, no tempo de prensagem dos painéis, além ser dependente da espécie empregada e espessura das partículas. O equipamento mais comum para este tipo de operação industrial é o secador de tambor rotativo, no qual as partículas são secas sob temperatura e corrente de ar.

- Classificação das partículas

Nas indústrias as partículas são separadas geralmente por equipamentos pneumáticos, os quais classificam estas em função do peso, ou classificador de telas, onde a seleção é realizada por meio da área superficial das partículas, dependendo da largura das mesmas.

- Mistura das partículas e adesivo

A aplicação do adesivo nas partículas é realizada em grande parte por pulverização do adesivo, buscando-se uma uniformidade na aplicação. Desta forma, a viscosidade do adesivo torna-se um parâmetro importante. Nos painéis de partículas heterogêneas, ou de múltiplas camadas, os adesivos são aplicados nas partículas de diferentes tamanhos separadamente.

- Formação do Colchão ou distribuição das partículas

A formação do colchão é realizada sobre esteiras contínuas com larguras definidas, de acordo com a densidade da chapa requerida e espessura do painel, influenciadas diretamente pela densidade da espécie madeireira empregada. A caixa formadora possui saídas conforme a configuração do painel, para deposição das partículas de diferentes tamanhos.

- Prensagem dos painéis

O colchão localizado em cima das esteiras transportadoras segue até a prensa, ocorrendo a consolidação por meio da aplicação de pressão e temperatura, em um determinado tempo, de forma a promover as reações de cura da resina. Anteriormente a prensagem, ocorre uma espécie de pré-prensagem, onde há uma previa compactação do colchão com pressões bem inferiores às empregadas na prensagem à quente.

- Acondicionamento e Operações de acabamento

Os painéis são seccionados e lixados quanto ao seu comprimento, para posterior acondicionamento, permitindo a estabilização da temperatura e umidade. Em seguida, são acertadas suas dimensões finais de acordo com as especificações do produto. Geralmente, os painéis são comercializados pelas indústrias *in natura*, podendo posteriormente ser revestidos superficialmente de acordo com as preferências do cliente.

Diversos parâmetros definem a qualidade das chapas de madeira aglomerada, dentre eles podem ser citados a qualidade da madeira empregada, em relação as suas características como densidade, espécie, acidez, extrativos, em relação aos insumos utilizados (adesivos, aditivos) e quanto às características do processo, como geometria, tamanho, distribuição das partículas e umidade das mesmas (HILLIG, 2000; KOLLMANN, KUENZI e STAMM, 1975; MALONEY, 1977; MOSLEMI, 1974; NASCIMENTO, 2003 e TRIANOSKI, 2010).

Segundo a ABIPA (2010), as aplicações dos painéis aglomerados, recentemente nomeados de MDP, têm sido em grande parte na indústria moveleira. Todavia merece destaque sua utilização no segmento da construção civil, como pisos, divisórias, forros, etc; e embalagens, os quais já são direcionados em menor volume, entretanto, devido às crescentes pesquisas objetivando propriedades superiores para estes painéis com a aplicação de novos insumos, expansão das plantas industriais e aumento da capacidade de produção instalada, este direcionamento deverá ser ampliado (NASCIMENTO, 2003).

2.4 Resina Poliuretana à Base de Mamona

De acordo com Chipanski (2006), os adesivos à base de formaldeído, aplicados atualmente nas industriais de painéis, são classificados como agentes de insalubridade máxima, devido à emissão do formol.

O desenvolvimento dos poliuretanos derivados de óleo de mamona teve origem na década de 1940, conforme aponta Vilar (1993). Segundo Dias (2008), a busca por materiais biodegradáveis e não-poluentes, derivados de biomassa, tem se tornado uma tendência mundial.

O Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, desenvolveu o primeiro adesivo bicomponente derivado do óleo de mamona. O óleo de mamona é extraído

da semente da planta “*Ricinus Communis*”, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo muito abundante no Brasil. É um líquido viscoso, obtido pela compressão das sementes ou por extração com solvente. A síntese do poliol e do pré-polímero, alcançada a partir do óleo de mamona, dá origem ao poliuretano. A reação de polimerização destes componentes ocorre por meio de sua mistura, podendo-se variar a porcentagem dos mesmos, definindo durezas diferentes, podendo também ser empregados catalizadores de forma a aumentar a velocidade de polimerização (DIAS, 2008).

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com a utilização desta resina, principalmente no âmbito dos derivados de madeira, com excelentes resultados.

Jesus (2000) avaliou a eficiência da resina poliuretana à base de mamona, bicomponente, composta por poliol B1640 e pré-polímero A249, de cura a frio, na aplicação em madeira laminada colada (MLC), por meio de ensaios mecânicos de resistência ao cisalhamento, tração normal e tração paralela às fibras, determinado os melhores parâmetros de colagem como tempo de cura, pressão da colagem e viscosidade. O autor obteve resultados atestando a viabilidade do emprego da resina para estes produtos derivados.

Avaliações foram realizadas por Campos (2005) sobre a produção e caracterização de chapas de MDF (Medium Density Fiberboard), empregando fibras de *Pinus* e *Eucalyptus* e três resinas diferentes, uréia-formaldeído, a resina poliuretana bicomponente a base de mamona e uma resina inorgânica, nas proporções 8, 10 e 12%. As chapas foram caracterizadas quanto suas propriedades físico-mecânicas, segundo as normas européias EM, resultando em melhores propriedades para os painéis produzidos com a resina poliuretana a base de mamona nos teores de 10 e 12%.

Dias (2008), em seus estudos, analisou o desempenho de painéis compensados e aglomerados empregando-se resina poliuretana à base de mamona na adesão dos painéis, utilizando as espécies *Eucalyptus saligna*, para compensando e uma composição de *Eucalipytus grandis*, *Eucalyptus urophilla* e *Pinus elliottii*, com variações nas temperaturas de prensagem (60 e 90°C) e adição de parafina nos aglomerados. A avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis foi realizada segundo as normas específicas da ABNT e no compensado, propriedades como resistência da colagem e esforço ao cisalhamento, segundo a norma EN. O desempenho de ambos os painéis atingiram os requisitos normativos em questão, caracterizando a resina à base de mamona como promissora na aplicação destes produtos.

2.5 Estudos sobre o Aproveitamento de Resíduos para a Produção de Painéis

Neste tópico, são referenciados alguns dos trabalhos já desenvolvidos no assunto.

Iwakiri, Cruz e Olandoski (2000) avaliaram a viabilidade de produzir chapas de madeira aglomerada a partir de resíduos de costaneira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. Para avaliar o comportamento das misturas dos resíduos de tais espécies foram adotadas duas quantidades de resinas de uréia formaldeído (UF): uma com 8% e outra com 12% da massa seca das partículas; 3% para a umidade das partículas, obtidas por meio de moinho de martelo; densidade nominal das chapas 0,8 g/cm³; ciclo de prensagem com temperatura de 140°C, tempo de prensagem de 8 minutos, pressão de 4 MPa. Os resultados obtidos possibilitaram concluir que: (1) as chapas com 12 % de resina UF apresentaram maior estabilidade dimensional, destacando-se o *Eucalyptus saligna*; (2) Não ocorreram diferenças significativas entre o módulo de elasticidade com relação as quantidades de resina; (3) Valores mais elevados de módulo de ruptura foram obtidos para as chapas com 12 % de resina UF produzidas com partículas de *Eucalyptus saligna*, e somente para esta espécie a maior quantidade de resina (12 %) influenciou positivamente no módulo de ruptura; (4) Os resultados obtidos para a ligação interna dos painéis, em todos os tratamentos, foram superiores aos requisitos normativos; (5) Os resíduos de costaneira das espécies de eucalipto estudadas podem ser recomendados para produção de chapas de madeira aglomerada.

Iwakiri (1999) estudou a influência da inclusão laminar de madeira nas propriedades de resistência das chapas. Utilizou partículas destinadas à produção industrial de aglomerados, lâminas de madeira de 1,6 mm de espessura e resina à base de uréia formaldeído. Adotou-se, para os painéis produzidos, densidade nominal de 0,75 g/cm³. Os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) no sentido perpendicular às fibras foram inferiores com a inclusão laminar em relação às chapas constituídas com 100 % de partículas. Na direção paralela, MOE e MOR foram superiores com a inclusão de duas lâminas. Houve redução dos valores de absorção de água e inchamento em espessura e os valores da ligação interna foram superiores com a inclusão de duas e três lâminas na composição das chapas. Assim, foi possível recomendar o emprego de tais chapas quando se requer maior estabilidade dimensional.

Estudos de Blanchet, Cloutier e Riedl (2000) permitiram concluir sobre a viabilidade da produção de chapas de madeira aglomerada com resíduos de costaneira de abeto (*Picea sp.*). Ainda, segundo tais autores, as camadas superficiais das chapas avaliados foram constituídas de

partículas com dimensões máximas entre 0,02mm e 2mm e, nas camadas internas, foram distribuídas partículas de 2mm a 6mm. Foram considerados três procedimentos experimentais: (a) nas camadas superficiais foram utilizadas 10%, 25% e 50 % de partículas; (b) para cada porcentagem de partícula distribuída nas superfícies das chapas foram adotadas 12%, 14% e 16% de resina uréia formaldeído, (c) e 8% de resina nas camadas internas. Os melhores resultados quanto as propriedades mecânicas das chapas foram obtidos por meio dos tratamentos com 14% de resina UF nas camadas superficiais com 50% de partículas.

Avaliações no ciclo de prensagem realizadas por Albuquerque (2002), para verificar a influência do incremento de água nas camadas superficiais do colchão de partículas e do incremento de resina e catalisador, possibilitaram concluir ser possível produzir chapas aglomeradas com partículas finas, sem necessidade de se utilizar mais que 10 % de uréia formaldeído. Observou, para os casos estudados, a expressiva influência do tempo de prensagem nas propriedades de resistência dos painéis.

Nascimento (2003) avaliou a produção, em laboratório, de chapas de partículas homogêneas com espécies da Caatinga do Nordeste Brasileiro: Angico (*Anedananthera macrocarpa*), Algaroba (*Prosopis juliflora*) e Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*). Foram definidos procedimentos experimentais em função das propriedades físicas das espécies estudadas, das propriedades do adesivo e das partículas utilizadas. As chapas foram produzidas com partículas de aproximadamente 1,8 mm de comprimento; 10 % de uréia formaldeído e 5 % de solvente (base peso seco); tempo de prensagem 10 minutos, temperatura entre 100°C a 120°C e pressão da ordem de 3,5 MPa. Nessas condições, as propriedades das chapas atenderam aos requisitos da ABNT NBR 14810:2002. As variabilidades das propriedades de resistência foram equivalentes às obtidas para chapas fabricadas em escala industrial. Com isto, se concluiu ser viável produzir chapas com partículas de madeiras da Caatinga do Nordeste Brasileiro.

Análises realizadas por Boonstra (2006) no pré-tratamento de partículas de madeira com vapor de água, a temperaturas entre 200°C a 210°C, para produção de chapas de partículas, permitiram concluir que esse tipo de tratamento possibilita maior estabilidade dimensional às chapas, bem como influência na melhoria de suas propriedades físicas e mecânicas.

Silva (2009) demonstrou a viabilidade técnica da produção de painéis particulados a partir de resíduos de espécies tropicais de pequena densidade. Trabalhou com resina poliuretana à base de óleo de mamona, estudou dez essências nativas de regiões de floresta certificada e

verificou que as espécies com maior permeabilidade ao adesivo apresentaram os valores mais elevados das propriedades físicas e mecânicas preconizadas pela ABNT NBR 14810:2002.

Cabe destacar que, entre os estudos citados, alguns já demonstraram a viabilidade do emprego de resíduos não tratados na produção de painéis de partículas de madeira.

2.6 Estudos sobre o Aproveitamento de Resíduos de Madeira Tratada

A seguir, são mencionados trabalhos desenvolvidos no âmbito do aproveitamento de resíduos de madeira tratada.

Clausen, Kartal, e Muehl (2000) em seus estudos, produziram chapas aglomeradas em três configurações, nos quais foram utilizados resíduos de *Pinus sp* (southern pine), os mesmos resíduos tratados com preservante CCA e resíduos biorremediados tratados com CCA pelos métodos de ataque por fungos *Bacillus licheniformis* e extração com ácido oxálico. Os resíduos biorremediados apresentaram após tratamento redução de 70, 81 e 100% das quantidades dos componentes cobre, cromo e arsênio. As chapas foram produzidas com densidade aproximada de 0,80 g/cm³, empregando-se 10% de resina uréia-formaldeído, caracterizadas mecanicamente por meio dos ensaios de flexão estática (MOR e MOE) e tração perpendicular (TP) e fisicamente com análises de inchamento em espessura (IE) e absorção de água (AA). Os autores obtiveram resultados onde as chapas produzidas com resíduos de CCA biorremediados, apesar de valores acima da norma ANSI A.208-1(99), apresentaram redução de 28% e 13% na adesão interna e MOR, respectivamente, porém aumento de 8% no MOE, em relação aos painéis confeccionados com resíduos virgens. Em relação ao IE e AA, as chapas com resíduos biorremediados tiveram resultados de 15% e 14% inferiores às chapas comuns. Os painéis produzidos com resíduos de CCA sem tratamento obtiveram resultados 75% maiores em relação ao MOE, semelhantes em termos do MOR e TP e muito superiores em relação ao IE e AA em comparação às chapas de resíduos virgens, podendo-se relacionar este desempenho a uma possível melhora das propriedades ocasionadas pelo tratamento preservativo com CCA na madeira, constituindo-se a reciclagem de resíduos para este fim como uma alternativa potencial.

Kamdern et al. (2004) realizaram pesquisas para análise de compósitos de HDPE (polietileno de alta densidade) reciclado pós-consumo, reforçados com partículas de

madeira tratadas com CCA, retiradas de postes de pinus com 21 anos de utilização. Para efeito de comparação, os autores também prepararam compósitos utilizando resíduos de painéis de partículas produzidos com adesivo uréia formaldeído (UF) e de pinus natural, além da resina de HDPE virgem. Os compósitos foram obtidos através da confecção de chapas pelo processo de prensagem, utilizando-se formulações contendo 50% do polímero e 50% de resíduos de madeira. Para análise do desempenho dos compósitos, realizaram-se ensaios mecânicos de resistência a flexão e impacto, ensaios físicos de inchamento em espessura, processo de lixiviação por água, além de ensaios de exposição fúngica e estabilidade de cor. De acordo com Kamdem et al. (2004), os melhores resultados de MOE para as placas produzidas com resina virgem, foram obtidos com as chapas produzidas com Polietileno de Alta Densidade (PEAD) virgem e madeira tratada com CCA, podendo ser atribuído a depósitos sólidos com cromo e óxidos de cobre arsênico presentes na estrutura do compósito. Já nas chapas produzidas com PEAD reciclado, as formulações onde foram utilizados resíduos tratados com CCA tiveram resultados superiores às aquelas onde foram utilizados os resíduos de painéis particulados com UF. Na análise de inchamento e espessura, obteve-se melhores resultados para os painéis com resíduos de CCA e painéis com resíduos de painel colado com UF, independente do tipo de polímero utilizado, acreditando-se que a presença das substâncias presentes no resíduo contribuem para reduzir o inchamento em espessura do compósito. Através do ensaio de lixiviação por água, constatou-se que, devido às concentrações de arsênio, cobre e cromo que podem ser liberados no contato com a água, deve-se evitar a aplicação dos compósitos produzidos com resíduos de madeira tratados com CCA em produtos destinados ao uso exterior, onde terá contato direto com a água. O autor também observou através dos resultados do teste de exposição fúngica que o CCA e a uréia-formaldeído apresentam boa resistência aos agentes deterioradores.

Morales et al. (2008) analisou a viabilidade da utilização de resíduos de *Pinus taeda* tratado com CCA-C na fabricação de partículas empregando-se resina melamina-formaldeído, sem quantidade determinada. Foram produzidas chapas com a mesma espécie sem tratamento para efeito de comparação. Ambas as chapas classificaram-se com de alta densidade (1,0 g/cm³) e foram caracterizadas quanto suas propriedades de resistência à flexão (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tração perpendicular (TP). Os resultados apresentados para as chapas provenientes de resíduos tratados apresentaram-se inferiores às chapas de resíduos

não-tratados em todos os quesitos e ao estipulado pela norma brasileira NBR 14810-3 (2002) em relação ao MOR e MOE com valores de 9 MPa, 1796 MPa, respectivamente e 0,41MPa para TP, atendendo aos requisitos normativos neste última propriedade.

Em pesquisas abordando a produção de chapas madeira-cimento, Huang e Cooper (2000) utilizaram resíduos de madeira tratada proveniente de um poste da espécie *Pinus resinosa* Ait. com idade em serviço de 10 anos, onde foram retiradas partículas passantes em peneira com abertura de 12,5 mm para o miolo e passantes em aberturas de 6 mm para a superfície dos painéis, com razão largura comprimento de 1:1,5. Ambos os resíduos, tratados com CCA e não tratados passaram por um banho de 24 horas em água, para retirada dos extrativos e outras substâncias solúveis e secos até umidade de 15%. Utilizaram proporções de cimento: madeira de 1: 0,5 e formulações variando-se apenas as quantidades de água (40%, 50% e 60% em relação ao cimento). A formação dos painéis foi realizada em prensa hidráulica, com cura posterior de 28 dias. Os autores concluíram por meio do desempenho dos painéis que, a madeira tratada com CCA é mais compatível com o cimento Portland que madeira não-tratada, resultando em placas com maior resistência à flexão e rigidez, tração perpendicular (TP), Absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE). Além disso, a resistência das chapas foi superior em composições com maior quantidade de água e cimento. A lixiviação do cobre e arsênio diminuíram significadamente incorporados a matriz cimentícia, embora em relação ao cromo não tenha se obtido este efeito. Em ensaios de solo, os painéis compartículas sem tratamento apresentaram-se mais susceptíveis à deterioração, ao contrário das placas com madeira tratada.

2.7 Considerações sobre a Revisão Bibliográfica

Por meio do exposto na Revisão Bibliográfica, observou-se, em termos da madeira tratada, sua periculosidade ao meio-ambiente, porém, a potencialidade da aplicação dos seus resíduos na produção de compósitos devido às suas propriedades e disponibilidade, principalmente quando empregada madeira tratada com preservante CCB, sendo este de menor toxicidade. Ademais, foram apresentados aspectos que apontam o mercado dos painéis em ascensão, principalmente das chapas de aglomerados.

Neste sentido, o trabalho em questão busca a produção das chapas de partículas empregando-se resíduos de *Pinus sp* tratados com CCB, objetivando aliar a aplicação dos resíduos às variáveis de processo que proporcionem melhores propriedades e menores custos de produção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item serão expostos os materiais e metodologia empregados para a produção das chapas, além de mencionados os ensaios e equipamentos aplicados à caracterização física e morfológica das partículas e análise das propriedades físico-mecânicas e morfológicas das chapas de partículas homogêneas.

3.1 Materiais

Na confecção das chapas de partículas foram utilizados resíduos da espécie *Pinus sp* tratados em autoclave com preservante CCB, com retenção de 7,5 kg/m³, conforme mínimo estabelecido pela norma NBR 7190 (em revisão), 4,0 kg IA/m³, fornecidos pela Matra Madeiras Tratadas LTDA, situada na cidade de São Carlos – SP.

Para estabelecer a adesão entre as partículas, utilizou-se resina poliuretana à base de óleo de mamona, bi-componente, teor de sólidos de 100%, sendo o componente A um polioli derivado do óleo vegetal, com densidade de 1,2 g/cm³, e o componente B o isocianato polifuncional, com densidade de 1,24 g/cm³, fornecido pela Plural Indústria Química. Trata-se de um adesivo de cura a frio, podendo ser acelerada com temperatura a partir de 90°C (DIAS, 2008). Adotou-se a resina em questão devido ao excelente desempenho em pesquisas anteriores, no âmbito de painéis, como Dias (2008), Campos (2005), entre outros.

Os materiais citados anteriormente são apresentados na figura 7.

Figura 7 - Resíduos de madeira (a) e resina (b) aplicados à produção dos painéis.

3.2 Metodologia para Confecção dos Painéis

O trabalho em questão foi desenvolvido no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM) pertencente ao Departamento de Engenharia de Estruturas – USP São Carlos –SP. Inicialmente realizaram-se estudos preliminares para determinação das melhores condições de processo, partindo-se em seguida para o desenvolvimento do trabalho em si.

A etapa de obtenção das partículas foi comum às duas fases do trabalho citadas (preliminar e posterior).

3.2.1 Obtenção das Partículas

Os resíduos madeiros foram processados em moinho-martelo do tipo Willye da Marconi Modelo MA 680, utilizando-se peneira de 2,8 mm de abertura para obtenção das partículas (Figura 8). As dimensões das partículas foram adotadas partindo-se de estudos realizados por Nascimento (2003), onde se obteve excelente desempenho dos painéis produzidos.

Figura 8 - Moinho-martelo (a), Peneira – 2,8 mm (b) e Resíduos após processamento (c).

Além disso, optou-se pelo emprego das partículas processadas em sua totalidade, ou seja, com a aplicação dos “finos”, pois estes auxiliam na melhor adesão das partículas pela resina, se empregados em pequena quantidade, e conseqüentemente, melhora as propriedades dos painéis.

3.2.2 Estudos Preliminares

Esta fase englobou três etapas, nas quais foram estudadas algumas condições de processamento e composição dos painéis, de forma a definir os fatores e metodologia a aplicar no trabalho em questão. Os parâmetros proporção dos componentes da resina (poliol e pré-polímero), temperatura e pressão de prensagem tiveram variação somente entre etapas. Entretanto, as variáveis citadas quantidades de partículas, teores de adesivo e tempo de prensagem, variaram também dentro da mesma etapa, com diferentes combinações, conforme ilustra a tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros adotados nas etapas dos estudos preliminares

Etapa	Chapa	Variáveis			Parâmetros do Processo		
		Partículas (g)	Adesivo (%)	Prensagem (min)	Poliol: Pré-polímero	T (°C)	Pressão (MPa)
1	A		10				
	B	1500	13	10	2:1	100	4
	C		15				
2	A	1400	13	10			
	B	1300	13	10	1:1	100	4,7
	C		15	12			
3	A	1400	13	10			
	B	1300	13	10	1:1	100	4
	C		15	12			

Para caracterização das chapas neste estágio preliminar foram determinadas as propriedades de densidade e resistência à flexão estática, de acordo com a NBR 14810:3 (ABNT, 2006). Diante dos resultados obtidos, partiu-se da terceira etapa para continuidade do trabalho.

3.2.3 Produção dos Painéis Estudados

A variação dos parâmetros de produção dos painéis como quantidade de partículas, teor de adesivo e tempo de prensagem, foi realizada combinando estes fatores entre si, objetivando, além de razão de compactação satisfatória, menor custo de produção em relação ao consumo de adesivo e energia-elétrica, já que a utilização de resíduos na fabricação de chapas prioriza também o fator custo-benefício.

Neste sentido, foram propostos duas variações em ambos os parâmetros citados, resultando em 8 tratamentos (tabela 8). Foram produzidas 6 chapas de cada tratamento, totalizando-se 48 chapas para realização dos ensaios propostos (item 3.3).

Tabela 8 - Tratamentos propostos para produção dos painéis.

Tratamento	Partículas de Madeira (g)	Composição			Tempo de Prensagem (min)
		Teor de adesivo (%) *	Componentes do adesivo		
			Pré-polímero (g)	Poliol (g)	
A	1300	12	97,5	97,5	10
B	1300	12	97,5	97,5	12
C	1300	15	117	117	10
D	1300	15	117	117	12
E	1400	12	105	105	10
F	1400	12	105	105	12
G	1400	15	126	126	10
H	1400	15	126	126	12

*Base peso da madeira.

As partículas obtidas pelo processamento do resíduo e o adesivo foram pesados nas quantidades específicas e homogeneizadas manualmente, objetivando a não formação de acúmulos de resina. Em seguida, a mistura foi levada a encoladeira por 5 minutos, para a homogeneização final (figura 9).

A formação do colchão foi realizada em prensa mecânica manual, fabricação própria, à pressão de 0,01 MPa e em seguida compactado em prensa semi-automática Marconi Modelo MA 098/50, com capacidade de 800 kN e temperatura máxima de 200°C, à 4,0 MPa e 100°C, nos tempos estipulados de acordo com os tratamentos, gerando-se painéis com dimensões de 40

cm x 40 cm e espessura nominal de 10mm, de acordo com espessura de painéis comerciais, segundo especificado por Nascimento (2003), para posterior comparação dos resultados (figura 10).

Para estabilização e cura completa, as chapas foram acondicionadas por 72 horas, e esquadrejadas após este período, em serra circular, nas dimensões de 35 cm x 35 cm para posterior retirada dos corpos-de-prova respectivos aos ensaios de caracterização. A figura 11 apresenta a sequência de acondicionamento e esquadrejamento dos painéis.

Figura 9 - Homogeneização da mistura madeira e adesivo (a), (b) e (c).

Figura 10 - Formação do Colchão (a) e (b) e prensagem a quente (c).

Figura 11 - Estabilização (a) e (b), Esquadrejamento (c) e chapas com dimensões finais (d).

3.3 Metodologias para a Caracterização das Partículas e Chapas

A seguir, são listadas as metodologias para realização dos seguintes ensaios:

- Caracterização das partículas: Teor de Umidade (TU) e Análise Granulométrica.
- Caracterização das chapas de partículas produzidas, quanto às propriedades físicas: Teor de Umidade (TU); Densidade (D); Inchamento em Espessura (IE); Absorção de Água (AA); Razão de Compactação (RC) e quanto às mecânicas: Flexão Estática (FE); Resistência a Tração Perpendicular (TP); Arrancamento de Parafusos – Superfície (AP_S); Arrancamento de Parafusos – Topo (AP_T); e
- Demais análises: Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (PIM); Envelhecimento Artificial Acelerado (EAA); Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) Retenção de Ingredientes Ativos (RAI).

Os ensaios para determinação das propriedades dos painéis foram realizados de acordo com a norma brasileira NBR 14810:3 (ABNT, 2006) e os resultados confrontados aos requisitos estabelecidos pela NBR 14810:2 (ABNT, 2006), além de serem utilizadas as normas americanas e canadense, respectivamente, ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e CS 236-66 (CS, 1968) para efeito de comparação.

3.3.1 Propriedades Físicas das Partículas

3.3.1.1 Teor de Umidade

Anteriormente à sua utilização, foi realizado ensaio para determinação do teor de umidade das partículas em termobalança OHAU modelo MB 200 (figura 12), empregando-se 1,00 grama do material submetido a 105°C por um período de 180 minutos. O ensaio foi conduzido no Instituto de Química de São Carlos –USP e realizado em triplicata.

Figura 12 - Termobalança OHAUS – determinação da umidade das partículas.

3.3.1.2 Análise Granulométrica

Para a classificação das partículas adotou-se o equipamento SOLOTEST (figura 13), utilizando-se peneiras cujas granulometrias atendem a especificação da norma ASTM, sendo estas correspondentes a 7, 10, 16, 30, 40 e 50 mesh. A partir do material processado para confecção dos painéis (item 3.2.1), retirou-se uma amostra de 200 gramas, sendo esta vibrada por 10 minutos e velocidade de vibração 5, atravessando as peneiras em ordem decrescente de abertura. Foram realizadas 3 repetições. As partículas passantes na peneira de 50 mesh foram determinadas “finos”.

Figura 13 - Equipamento Solotest – Classificação das partículas.

3.3.2 Obtenção dos Corpos-de-Prova

Obtiveram-se por meio da secção dos 48 painéis referentes aos 8 tratamentos, 6 corpos-de-prova de cada, totalizando 288 corpos-de-prova. Inicialmente, para cada um dos tratamentos, foram ensaiados todos os 6 corpos-de-prova das chapas de número 1 e os espécimes 3 e 5 das chapas 2 a 6, conforme esquema de corte das chapas (figura 14). Este procedimento foi adotado visando à utilização dos corpos-de-prova restantes para o ensaio de Envelhecimento Artificial Acelerado e posterior ensaio dos mesmos envelhecidos à flexão. Esta metodologia foi empregada para todos os ensaios (FE, TP, TU, D, IE e AA), exceto para o ensaio AP_S e AP_T, onde adotaram-se 2 corpos-de-prova de cada chapa. De acordo com a representação da figura 14, os espécimes para os ensaios D, TU, IE, AA, TP e para o ensaio AP_T, foram retirados, respectivamente, dos corpos-de-prova já ensaiados de FE e AP_S, respectivamente. Os espécimes encontraram-se condizentes às dimensões estabelecidas pela NBR 14810:3 (ABNT, 2006).

Para os ensaio de EAA em amostras naturais e impermeabilizadas, foram empregados, respectivamente, os corpos-de-prova 2 e 4 das chapas 2 a 6, referentes aos tratamentos B e G, sendo, o tratamento B aquele que atingiu os requisitos normativos associados aos melhores variáveis de processo e o tratamento G o que resultou em melhor desempenho mecânico comparado aos demais tratamentos.

Estes tratamentos com melhores desempenhos também foram àqueles analisados pelos ensaios de PIM e MEV, sendo neste último empregados os corpos-de-prova de FE rompidos, para análise da superfície fraturada.

Figura 14 - Esquema de retirada dos corpos-de-prova das chapas.

3.3.3 Propriedades das Chapas de Partículas

3.3.3.1 Propriedades Físicas

- *Densidade*

Os valores de densidade de amostras de 50 x 50 mm foram alcançados por meio da relação massa/volume, com auxílio de paquímetro digital Mitutoyo (0,01 mm) e pesagem em balança analítica (0,01g) dos corpos-de-prova.

- Razão de compactação das chapas

Razão entre a densidade das chapas e a densidade da madeira. A densidade da madeira empregada para os cálculos refere-se àquela obtida por Rocco, Fernandes e Bertolini (2010), para madeira de *Pinus sp* tratada com CCB, sendo esta de 0,70 g/cm³.

- Teor de Umidade

As amostras com dimensões de 50 x 50 mm foram inicialmente pesadas em balança analítica com precisão de 0,01g, para obtenção do peso seco e levadas à estufa Marconi MA035, como circulação de ar à 105±3°C, onde permaneceram, retirando-se em intervalos de 1 hora para obtenção do peso seco, até massa constante.

- Inchamento em Espessura e Absorção de Água

Para a obtenção destas propriedades, amostras com dimensões de 25 x 25 mm foram medidas em relação à espessura e pesadas, com auxílio de paquímetro digital Mitutoyo (0,01 mm) e balança analítica (0,01g), antes e após imersão em água à 20°C, por períodos de 2 e 24 horas.

Os ensaios físicos de caracterização das chapas são apresentados na figura 15.

Figura 15 - Metodologia ensaios de IE e AA (a), (b) e (c) e para densidade e TU (d) e (e).

3.3.3.2 Propriedades Mecânicas

Os ensaios para caracterização mecânica dos painéis: FE para obtenção da Resistência à Flexão (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE); TP; AP_S e AP_T; foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaio AMSLER, capacidade de 250 KN. As figuras 16, 17, e 18 apresentam os ensaios citados neste item.

Figura 16 - Corpos-de-prova antes (a) e após (b) a ruptura e ensaio de FE (c).

Figura 17 - Corpos-de-prova antes (a) e após (b) a ruptura e ensaio de TP (c).

Figura 18 - Ensaio de AP_S (a) e AP_T (b).

3.3.4 Demais Análises

Com exceção do ensaio de retenção dos ingredientes ativos na madeira tratada, os ensaios descritos nos itens a seguir foram realizados somente em dois tratamentos, B e G, pelos motivos descritos no item 3.3.2

3.3.4.1 Retenção dos Ingredientes Ativos na Madeira Tratada

A determinação de retenção dos ingredientes ativos do preservante foi realizada em amostras das partículas provenientes dos resíduos de *Pinus sp* tratado com CCB e das chapas produzidas com os mesmos, de modo à verificar se existem possíveis influências do processo de fabricação na retenção da madeira tratada. A análise foi realizada no Laboratório de Controle de Qualidade – Osmose da Montana Química S.A, empregando-se a técnica de espectrofotometria de absorção atômica, seguindo-se o método de ensaio ME 22/05.

3.3.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As partículas e corpos-de-prova relativos aos tratamentos citados no item 3.3.2 foram analisados por meio do MEV para análise da morfologia das partículas e das superfícies de fratura de corpos-de-prova submetidos à ruptura pela Flexão Estática. A obtenção de imagens neste ensaio é obtida por diferentes sinais produzidos pela interação de elétrons com a amostra (CANEVAROLO JR., 2004). As amostras preparadas com dimensões de 1,0 x 1,0 cm foram secas em estufa com circulação de ar, marca Marconi modelo MA 035, à 50°C por 24 horas, anteriormente ao ensaio e mantidas em dessecador até o momento do mesmo. As amostras foram recobertas com 20nm de ouro em um metalizador Coating System BAL-TEC MED 020 (figura 19a e 19b). As fotomicrografias de MEV foram obtidas no Instituto de Química de São Carlos (IQSC/USP) em um equipamento LEO (modelo 440) com detector OXFORD, operando com feixe de elétrons de 20kV (figuras 19c e 19d).

Figura 19 - Metalizador Coating System BAL-TEC MED 020 (a), amostras recobertas em ouro (b), equipamentos para o ensaio de MEV (c), introdução das amostras no detector do MEV (d).

3.3.4.3 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

O ensaio de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (PIM) é considerado uma das técnicas mais importantes na determinação de porosidade de materiais, pois fornece a densidade aparente, distribuição do número de poros, volume total de poros e área específica do material.

Anteriormente ao ensaio foram obtidas de amostras de 14 mm de diâmetro e 23 mm de comprimento, as quais secas em estufa com circulação de ar à 50°C por 24 horas até o início do ensaio, para retirada da umidade das mesmas, o que poderia influenciar nos resultados do ensaio. As análises desta propriedade foram conduzidas no equipamento Micromeritics Poresizer 9320 (figura 20), com capacidade de pressão de 200 MPa. Os parâmetros do processo foram: mercúrio com tensão superficial de 0,485 g/cm² e densidade entre 13.5325 e 13.5379 kg/m³; ângulo de contato do avanço e retrocesso de 130° e tempo de equilíbrio entre a baixa e alta pressão de 10 s.

Figura 20 - Corpo-de-prova (a), cápsula para intrusão do mercúrio (b), equipamento Micromeritics Poresizer 9320 (c).

3.3.4.4 Envelhecimento Artificial Acelerado

Objetivando analisar a influência no desempenho de amostras após período de exposição às intempéries, em condições críticas de calor e umidade, realizou-se o ensaio de envelhecimento artificial acelerado em um Equipamento Atlas Weather-Ometer modelo 65 XW-WR1, operando com lâmpada de xenônio de 6.500 W, composto de carrossel rotativo, para suporte das amostras e controles automáticos da temperatura e da umidade relativa no interior da câmara de envelhecimento, conforme figura 21. O ciclo de permanência das amostras no equipamento foram de 55 dias (1200 horas, considerando possíveis paradas), equivalendo segundo o fabricante à 1 ano de envelhecimento (ATLAS, 2001).

Os corpos-de-prova reservados para o EAA (item 3.3.2) foram colocados ao natural e também impermeabilizados com 2 demãos, com intervalo entre as mesmas de 24 horas, de resina poliuretana à base de óleo de mamona, na proporção 1:1.

Figura 21 - Equipamento Atlas Weather-Ometer modelo 65 XW-WR1 (a), carrossel com amostras (b), lâmpada de xenônio (c).

3.4 Análises Estatísticas

Após a caracterização das chapas, os dados obtidos foram tratados estatisticamente, com o intuito de analisar a existência de diferença entre os mesmos.

Numa primeira análise comparou-se o desempenho das médias chapas em relação aos tratamentos adotados, considerando-se as propriedades de FE, TP, AP_S, AP_T, TU, D, IE e AA das chapas. Neste sentido, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) do esquema fatorial com três fatores combinados no experimento inteiramente casualizado, sendo estes fatores a quantidade de partículas com dois níveis, os teores de resina com dois níveis e os tempos de prensagem com dois níveis, resultando em um fatorial de 2 x 2 x 2. Para esta análise foi utilizado o software SAS.

A segunda análise referiu-se aos ensaios de FE, EAA com amostras *in natura* e EAA com amostras impermeabilizadas. Para tal comparação, foi efetuada uma análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas e o software utilizado foi o STATISTICA v 8.

O teste de Tukey foi efetuado para os fatores (quantidade de partículas, teor de adesivo e tempo de prensagem) nos quais as análises de variância demonstraram diferenças estatisticamente significativas, ao nível de 95% de probabilidade, entre as médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo contém os resultados obtidos ao longo do trabalho, referentes à fase preliminar, caracterização das partículas e das chapas de partículas produzidas. Os valores obtidos para as propriedades das chapas foram comparados com os requisitos estabelecidos pelas normas NBR 14810:2 (ABNT, 2006), ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e CS236-66 (CS, 1968), entretanto dando maior ênfase a norma brasileira, já que os procedimentos de ensaio foram baseados nesta norma.

4.1 Estudos Preliminares

A tabela 9 apresenta os valores médios, alcançados nos estudos preliminares, das etapas citadas no item 3.2.2.

Tabela 9 - Valores Médios das Propriedades obtidas nos Estudos Preliminares.

Etapa	Amostra	Propriedades Físicas		Propriedades Mecânicas			
		ρ (g/cm ³)	RC	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
				Média	CV(%)	Média	CV(%)
1	A	0,80	1,1	9	17,73	1724	24,08
	B	0,82	1,2	13	15,28	1834	17,86
	C	0,80	1,1	15	12,59	1852	23,49
2	A	0,92	1,3	26	45,35	3199	20,29
	B	0,86	1,2	25	24,78	2842	22,24
	C	0,96	1,4	25	15,63	2972	13,56
3	A	0,93	1,3	23	12,26	2387	10,27
	B	0,81	1,2	26	9,03	2550	11,37
	C	0,92	1,3	21	11,13	2342	12,86

Observou-se por meio dos valores do estudo preliminar que, ambas as amostras de chapas fabricadas na etapa 1 não alcançaram os valores mínimos de MOR e MOE estabelecidos, respectivamente, pela NBR 14810:2 (ABNT, 2006) e ANSI A208-1 (ANSI, 1999), sendo estes de 18 MPa e 2400 MPa. Este fato pode ser relacionado à excessiva quantidade de partículas empregada, as quais não foram devidamente densificadas durante a

prensagem, podendo notar-se pela baixa razão de compactação, sendo a recomendada por Iwakiri (2005), Maloney (1977), Moslemi (1974) e na faixa de 1,3 a 1,6. Segundo Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975), a razão de compactação muito baixa prejudica a colagem e a resistência do painel, afetando a absorção de água de modo a permitir maiores espaços para sua penetração. Além disso, em relação à resina, a proporção empregada (2 partes de poliol e 1 parte de pré-polímero) pode ter sido prejudicada em termos de polimerização da resina.

Na etapa 2 observou-se que, com alterações da proporção dos componentes da resina, pressão de prensagem e quantidade de partículas, todas as chapas apresentaram resultados de 20 a 35% superiores para MOE e de aproximadamente 45% superiores para MOR, em relação ao especificado pela NBR 14810:2 (ABNT, 2006).

Os resultados apresentados na etapa 3 permitiram observar que ambas as chapas atingiram os valores pelas normas citadas anteriormente em relação ao MOR e estando próximas em relação ao MOE. Porém, com emprego de menor pressão de prensagem e, no caso da chapa B, na qual a norma foi contemplada em relação às duas propriedades, com menor consumo de adesivo e tempo de prensagem.

4.1.1 Considerações sobre o Estudo Preliminar

Buscando-se atingir os requisitos normativos e conjuntamente, a produção das chapas com menor custo de processo, considerou-se a etapa 3 com parâmetros adequados para a continuidade do projeto.

4.2 Propriedades das Partículas

4.2.1 Teor de Umidade

Os valores obtidos para Teor de Umidade das partículas encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios do Teor de Umidade das partículas de *Pinus sp* tratado.

Amostra	TU(%)
1	9
2	8,3
3	8,5
Média	8,6
CV (%)	4,2

De acordo com Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975) e Moslemi (1974), a umidade indicada para as partículas devem encontrar-se entre 3 a 6%. O controle deste parâmetro é necessário, pois variações maiores que 2% do que a umidade desejada pode gerar excesso de vapor, causando bolhas e explosões nas chapas durante a prensagem. Entretanto, teores de umidade 2% abaixo do desejado podem causar deficiência nas ligações entre partículas e adesivo, podendo influenciar na redução das propriedades mecânicas (BOWYER, SHMULSKY E HAYGREEN, 2003). Apesar do exposto pela literatura e diante do teor de umidade encontrado neste trabalho, sendo este de 8,6%, durante a prensagem dos 48 painéis não foram observados os defeitos relatados.

4.2.2 Análise Granulométrica

A tabela 11 apresenta a distribuição caracterizada pelas frações retidas em cada peneira (figura 22).

Tabela 11 - Distribuição granulométrica das partículas.

Peneira (mesh)	Abertura Peneira (mm)	Média Massa Retida (g)	Média Massa Retida (%)
7	2,83	0,2	0,1
10	2	9,3	4,6
16	1,19	60,9	30,4
30	0,595	83,0	41,5
40	0,42	18,1	9,0
50	0,297	9,8	4,9
Finos(<50)	<0,297	19,4	9,7
Total		200,0	100,0

Figura 22 - Distribuição Granulométrica das Partículas.

Notou-se por meio das quantidades retidas em cada peneira que, predomina-se partículas de tamanho na faixa entre 0,595mm a 1,19mm, aproximadamente 72%, enquanto aqueles de menor tamanho somam 23,6% e de maior 4,7 de toda amostra classificada.

Pinheiro e Brito (2000), em estudos comparando-se duas composições de chapas de diferentes distribuições granulométricas, sendo uma de 4,37mm a 0,61mm e outra de 2,0mm a 0,61 mm constatou que as chapas com partículas menores, resultaram em propriedades mecânicas (flexão e tração) superiores que aquelas com partículas maiores.

4.3 Propriedades das Chapas de Partículas

Nos itens seguintes, para a apresentação dos resultados, foram apresentados os valores médios das propriedades obtidas para as chapas de partículas, referentes a cada tratamento, bem como os valores médios dos tratamentos. Os valores médios obtidos para cada propriedade em relação às chapas produzidas encontram-se nas tabelas 36 e 37, Apêndice A.

4.3.1 Propriedades Físicas

- Teor de Umidade

A seguir, são apresentados os valores médios para a propriedade de teor de umidade das chapas produzidas (tabela 12).

Tabela 12 - Valores médios referentes ao Teor de Umidade (TU) das chapas.

Tratamento	TU (%)	
	Média	CV (%)
A	7,40	3,14
B	7,53	2,48
C	7,12	3,27
D	7,01	5,14
E	7,81	2,01
F	7,91	5,67
G	7,51	4,04
H	7,54	4,81

A análise de variância para a variável Teor de Umidade, segundo a tabela 39 – Apêndice B, detectou diferenças significativas ao nível de 95% de probabilidade somente entre as médias dos fatores Partículas e Adesivo, aos quais foi aplicado o Teste de Tukey para os fatores, conforme tabela 13 e 14 abaixo.

Tabela 13 - Teste de Tukey para o fator Partículas – variável Teor de Umidade.

Fator Partículas	Nº de Repetições	TU (%)	Desvio Padrão	Tukey*
1300	24	7,26	0,32	B
1400	24	7,69	0,36	A

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Tabela 14 - Teste de Tukey para o fator Adesivo – Variável Teor de Umidade.

Fator Adesivo	Nº de Repetições	TU (%)	Desvio Padrão	Tukey*
12	24	7,66	0,33	A
15	24	7,29	0,38	B

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Por meio do exposto nas tabelas 13 e 14, observou-se que os tratamentos os quais apresentam 1300 g de partículas e 15% de adesivo, ou seja, tratamentos C e D apresentam menor teor de umidade, portanto com desempenho superior aos demais neste sentido. Desta forma, as mudanças nas quantidades de partículas e teor de adesivo influenciam no teor de umidade dos painéis.

Os documentos normativos citados para painéis de partículas (item 3.3) não fazem referência a propriedade de teor de umidade.

Os valores de teor de umidade das chapas apresentados neste trabalho apresentam-se satisfatórios quando comparados a estudos de Dias (2008), no qual foram fabricadas chapas com uma mistura de partículas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophilla* *Pinus elliottii* var. *elliottii* com 10% de adesivo à base de mamona, sem adição de parafina e prensagem a 90°C, alcançando valores médios de 8,39%.

Todavia, cabe ressaltar que, segundo Trianoski (2010), as espécies com maior umidade de equilíbrio para a madeira sólida tendem a apresentar maior umidade de equilíbrio para seus produtos reconstituídos. Portanto, o teor de umidade dos painéis é de difícil comparação, pois a umidade de equilíbrio da madeira depende de diversos fatores, como espécie, tensões mecânicas, radiação, umidade relativa, entre outros (GALVÃO, 1975).

Outro fator em relação ao teor de umidade dos painéis, em ambos os tratamentos, encontra-se inferior ao obtido para as partículas de madeira empregadas, sendo este de 8,6%.

Isso se deve ao fato de que, o teor de umidade ou a umidade de equilíbrio de produtos de madeira reconstituída difere da umidade de equilíbrio da madeira sólida devido às variáveis de processamento em que os primeiros são expostos, principalmente em relação à prensagem (TRIANOSKI, 2010)

- Densidade e Razão de Compactação

Os valores médios para a propriedade de Densidade e a Razão de Compactação dos respectivos tratamentos encontram-se na tabela 15.

Tabela 15 - Valores Médios obtidos para Densidade das chapas e Razão de Compactação.

Tratamento	Densidade (g/cm³)		Razão de Compactação
	Média	CV (%)	
A	0,88	5,25	1,3
B	0,90	2,71	1,3
C	0,90	6,40	1,3
D	0,94	3,10	1,3
E	0,89	3,58	1,3
F	0,97	5,59	1,4
G	0,95	8,45	1,4
H	0,91	7,13	1,3

A análise de variância para a variável Densidade, segundo a tabela 40 – Apêndice B, detectou diferenças significativas ao nível de 95% de probabilidade entre as médias dos fatores Partículas, Adesivo e Tempo de Prensagem. Com a realização do teste de comparações múltiplas (Tukey) constatou-se que não existe diferenças significativas, com 5% de significância, entre as médias dos fatores teor de adesivos e tempo de prensagem para cada quantidade de partículas. Além disso, não existem diferenças significativas, com 5% de significância, entre as médias dos fatores teor de adesivo e quantidade de partículas para cada tempo de prensagem.

Observou-se por meio dos valores médios obtidos para densidade das chapas (Tabela 15), que estas são classificadas de acordo com as normas citadas (ANSI, 1999; CS, 1968) e de

acordo com Moslemi (1974) como chapas de partículas de alta densidade, com valores acima de 0,8 g/cm³. Esta classificação torna-se importante, pois as propriedades das chapas guardam estreita relação com a densidade (BRITO et al., 2006).

As chapas, em geral, apresentam-se com razão de compactação entre 1,3 e 1,6, conforme indicado por Maloney (1977). Embora o *Pinus sp* tratado com CCB apresente densidade de 0,7 g/cm³, superior ao indicado pelo autor (até 0,55 g/cm³), foram adotadas quantidade de partículas que promoveram alcançar este parâmetro.

- Inchamento em Espessura

A tabela 16 apresenta dos valores médios para a propriedade de Inchamento em Espessura em 2 e 24 horas.

Tabela 16 - Valores médios para Inchamento em Espessura em 2h e 24h.

Tratamento	IE - 2h (%)		IE - 24h (%)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
A	4,27	27,12	11,06	9,21
B	4,11	14,45	10,52	14,61
C	3,37	11,31	8,79	9,42
D	3,05	17,39	8,50	12,12
E	3,69	22,18	10,68	21,11
F	3,39	16,79	10,67	7,23
G	2,87	21,04	8,37	5,41
H	2,75	21,45	9,11	10,01

Por meio da análise de variância realizada para a variável Inchamento em Espessura – 2h (tabela 41 – Apêndice B) foi apresentada diferença significativa, ao nível de 95% de probabilidade, somente entre as médias dos fatores Partículas e Adesivo, aos quais foi aplicado o Teste de Tukey (tabela 17 e 18).

Tabela 17 - Teste de Tukey para o fator Partículas - variável Inchamento em Espessura – 2h.

Fator Partículas	Nº de Repetições	IE - 2h (%)	Desvio Padrão	Tukey*
1300	24	3,70	0,85	A
1400	24	3,17	0,72	B

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Tabela 18 - Teste de Tukey para o fator Adesivo - variável Inchamento em Espessura – 2h.

Fator Adesivo	Nº de Repetições	IE - 2h (%)	Desvio Padrão	Tukey*
12	24	3,87	0,84	A
15	24	3,01	0,55	B

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Os dados representados nas tabelas 17 e 18 permitiram analisar que os tratamentos os quais apresentam 1400 g de partículas e 15% de adesivo, ou seja, tratamentos G e H apresentam menor IE em 2 horas, portanto com desempenho superior aos demais neste sentido, demonstrando assim que a alteração destes fatores influencia nesta propriedade.

Os valores médios encontrados para os tratamentos estão compreendidos entre 2,7 a 4,3%, os quais se apresentam bastante satisfatórios, pois se encontram bem abaixo do máximo de 8% recomendado pela norma NBR 14810:2 (ABNT, 2006), para chapas com espessura entre 8 e 13 mm e ANSI A208.1 (ANSI, 1999), no caso de painéis empregados para uso externo,

Para a variável Inchamento em Espessura – 24h, a análise de variância (tabela 42 – Apêndice B) apresentou diferença significativa, ao nível de 95% de probabilidade, somente entre as médias do fator Adesivo, mostrando assim que, a alteração deste parâmetro pode influenciar nesta propriedade.

Nascimento (2003), em caracterizações de chapas industrializadas de *Pinus* e *Eucalyptus*, obteve valores médios para IE - 2h de 7 e 9% e para IE - 24h de 16 e 21%, respectivamente, ressaltando-se assim a superioridade dos valores obtidos no trabalho em questão.

Os documentos normativos não especificam requisitos para a propriedade de IE – 24h.

- Absorção de Água

Os valores médios referentes à propriedade de Absorção de Água em 2h e 24 h estão apresentados na tabela 19.

Tabela 19 - Valores Médios referentes à Absorção de Água em 2h e 24h.

Tratamento	AA - 2h (%)		AA - 24h (%)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
A	6,66	30,37	20,93	12,08
B	6,24	14,16	19,64	12,15
C	5,82	19,82	17,72	12,85
D	4,82	32,01	15,79	20,99
E	5,58	25,89	19,06	10,83
F	4,46	19,81	15,84	14,19
G	3,63	12,28	12,66	18,18
H	3,92	16,05	13,65	12,06

A análise de variância realizada para a variável Absorção de Água – 2h (tabela 43 - Apêndice B) permitiu observar que existe diferença significativa, ao nível de 95% de probabilidade, apenas entre as médias dos fatores Partículas e Adesivo, aos quais foi aplicado o Teste de Tukey, conforme tabelas 20 e 21 a seguir.

Tabela 20 - Teste de Tukey para o fator Partículas - variável Absorção de Água – 2h.

Fator Partículas	Nº de Repetições	AA - 2h (%)	Desvio Padrão	Tukey*
1300	24	5,88	1,53	A
1400	24	4,40	1,15	B

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Tabela 21 - Teste de Tukey para o fator Adesivo - variável Absorção de Água – 2h.

Fator Adesivo	Nº de Repetições	AA - 2h (%)	Desvio Padrão	Tukey*
12	24	5,73	1,55	A
15	24	4,55	1,30	B

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

O teste de Tukey, neste caso, permitiu analisar que as chapas com 1400g de partículas e 15% de adesivo apresentaram menores porcentagens de absorção de água, com melhor desempenho neste sentido os tratamentos G e H, os quais apresentam esta composição.

Para a variável Absorção de Água – 24h, na análise de variância (tabela 44 – Apêndice B) foram notadas diferenças significativas, somente entre as médias dos fatores Partículas e Adesivo, permitindo a aplicação do teste de Tukey (tabelas 22 e 23).

Tabela 22 - Teste de Tukey para o fator Partículas- variável Absorção de Água – 24h.

Fator Partículas	Nº de Repetições	AA - 24h (%)	Desvio Padrão	Tukey*
1300	24	18,52	3,18	A
1400	24	15,30	3,17	B

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Tabela 23 - Teste de Tukey para o fator Adesivo - variável Absorção de Água – 24h.

Fator Adesivo	Nº de Repetições	AA - 24h (%)	Desvio Padrão	Tukey*
12	24	18,86	2,88	A
15	24	14,95	3,04	B

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Considerando-se os valores presentes nas tabelas 22 e 23, observa-se, da mesma forma que para AA-2h, em AA-24h as chapas 1400g e 15% de adesivo apresentaram menores teores de absorção de água, tornando notória a influencia destes fatores em relação à propriedade analisada.

Os documentos normativos para painéis aglomerados não especificam requisitos para a propriedade de AA-2h e AA-24h. Entretanto, Dias (2008), para chapas produzidas com 1660g da mistura de *Pinus elliottii*, *Eucalyptus urophilla* e *Eucalyptus saligna* e 10% de

resina poliuretana à base de mamona, obteve valores para as propriedades de AA em 2 e 24 horas de 8,41 e 20,14%, respectivamente.

Nascimento (2003) obteve para chapas industrializadas de *Pinus* e *Eucalyptus*, valores de AA-2h e AA-24h, respectivamente, de 12 e 27% e 16 e 50%, ressaltando-se os valores aqui obtidos em relação a produtos comerciais.

O desempenho dos painéis quanto às propriedades tanto de AA, quanto de IE podem ser relacionados também aos insumos utilizados. Tanto a madeira tratada, que possui características de menor higroscopicidade devido ao preenchimento das células da madeira pelas substâncias preservativas, quanto à resina poliuretana à base de mamona, são altamente resistentes à absorção de água.

4.3.2 Propriedades Mecânicas

- *Flexão Estática*

A tabela 24 apresenta os valores médios das propriedades obtidas por meio do ensaio de Flexão Estática: Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade.

Tabela 24 - Valores Médios do Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade dos painéis.

Tratamento	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
A	25	10,37	2304	6,70
B	24	12,30	2537	8,39
C	26	18,36	2474	15,14
D	26	13,67	2553	11,05
E	28	9,21	2670	6,97
F	28	8,93	2654	7,13
G	29	18,66	2911	13,22
H	28	15,71	2764	9,45

A análise de variância realizada para a variável Módulo de Ruptura, conforme tabela 45 – Apêndice B mostrou que não existe interação entre os fatores Partículas, Adesivo e Tempo de Prensagem, ou seja, os níveis de um determinado fator não estão influenciando nas possíveis diferenças entre os níveis de outro fator. Entretanto, existe diferença, ao nível de 5% de significância, apenas entre os níveis do fator Partículas, mostrando que este fator exerce influência quanto à propriedade analisada. O teste de Tukey apresenta a comparação entre médias dos níveis do fator Partículas (tabela 25).

Tabela 25 - Teste de Tukey para o fator Partículas - variável Módulo de Ruptura.

Fator Quantidade de Partículas	Nº de Repetições	MOR (MPa)	Desvio Padrão	Tukey*
1300	24	25,29	3,46	B
1400	24	28,31	3,74	A

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Por meio do teste de Tukey, observa-se que a quantidade de partículas influencia no Módulo de Ruptura, obtendo para o nível 1400 g, o melhor desempenho. Os painéis que apresentam esta quantidade de partículas, dos tratamentos E à H, apresentam também as maiores razões de compactação, o que está relacionado a maiores propriedades mecânicas (IWAKIRI, 2005).

Considerando-se o documentos normativos NBR 14810:2 (ABNT, 2006), ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e CS236-66 (CS, 1968) com requisitos de 18 MPa, 16,5 MPa e 16,8 MPa, respectivamente, ressalta-se os excelentes resultados apresentados no trabalho em questão, com valores médios até 50% superiores às normas citadas. Além disso, os tratamentos com menores valores de MOR neste trabalho (24MPa) contemplam aos requisitos de chapas para aplicações em exteriores, citados pelas normas americana e canadense, de 20,5 e 23,6 MPa, respectivamente.

Em relação à variável Módulo de Elasticidade, a análise de variância (tabela 46 – Apêndice B) apresentou que existe diferença significativa, com 5% de significância apenas entre os níveis do fator Partículas e os níveis do fator Adesivo, portanto, estes fatores influenciam no MOE. O teste de Tukey para a variável citada é apresentado nas tabelas 26 e 27.

Tabela 26 - Teste de Tukey para o fator Partículas - variável Módulo de Elasticidade.

Fator Quantidade de Partículas	Nº de Repetições	MOE (MPa)	Desvio Padrão	Tukey*
1300	24	2425,71	286,47	B
1400	24	2749,87	270,54	A

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Tabela 27 - Teste de Tukey para o fator Adesivo - variável Módulo de Elasticidade.

Fator Teor de Adesivo	Nº de Repetições	MOE (MPa)	Desvio Padrão	Tukey*
12	24	2499,85	261,05	B
15	24	2675,74	354,67	A

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Conforme o exposto nas tabelas 26 e 27, os melhores desempenhos foram alcançados para os níveis 1400g e 15% de adesivo. Os tratamentos G e H, com estas quantidades de insumos, apresentam MOE superior aos demais.

A norma brasileira não menciona esta propriedade, porém as normas ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e CS236-66 (CS, 1968) apresentam valores de 2400 e 2450 MPa, respectivamente. No trabalho em questão, apenas o tratamento A não contempla as normas citadas.

Em estudos de Iwakiri et al. (2005) constatou-se que, painéis de *Pinus spp* com densidade superior a 0,8 g/cm³ resultavam em maior Módulo de Resistência à Flexão. Todavia, o autor obteve valores de MOR e MOE de 18,8 MPa e 2250 MPa, respectivamente, enfatizando-se os excelentes resultados alcançados para a madeira tratada no trabalho em questão, principalmente em relação ao tratamento B, que contemplou a norma, mesmo utilizando-se menor quantidade de adesivo.

- Resistência à Tração Perpendicular

Os valores médios referentes à propriedade de Resistência à Tração Perpendicular são apresentados na tabela 28, a seguir.

Tabela 28 - Valores Médios de Resistência à Tração Perpendicular.

Tratamento	TP (MPa)	
	Média	CV (%)
A	1,22	18,92
B	1,59	6,63
C	1,54	16,71
D	1,62	12,06
E	1,33	28,03
F	1,45	20,74
G	1,71	22,75
H	1,49	26,84

A análise de variância realizada para a variável Tração Perpendicular (tabela 47 – Apêndice B), mostra que foram encontradas diferenças significativas, ao nível de significância de 5%, apenas para as médias do fator Adesivo, de acordo com a tabela 29 abaixo.

Tabela 29 - Teste de Tukey para o fator Adesivo – variável resistência a Tração Perpendicular.

Fator Teor de Adesivo	Nº de Repetições	TP (MPa)	Desvio Padrão	Tukey*
12	24	1,4	0,29	B
15	24	1,6	0,31	A

*Letras diferentes determinam médias estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 95% de probabilidade.

Notou-se por meio da tabela 29 que, os tratamentos com maior teor de adesivo (15%) apresentaram melhores desempenhos de TP, considerando-se as chapas dentro de um tratamento.

Os valores estipulados pelas normas NBR 14810:2 (ABNT, 2006), ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e CS236-66 (CS, 1968) para esta propriedade são, respectivamente, 0,4MPa, 0,9 MPa e 1,4 MPa, evidenciando-se assim os excelentes resultados alcançados para a TP, onde somente nos tratamentos A e E não foi contemplada a última norma citada.

Iwakiri et al. (2008) em suas pesquisas produziu painéis de alta densificação (0,9 g/cm³) de *Pinus spp* com 12% e 15% de melamina-uréia-formaldeído (mesmo teor de resina que o trabalho em questão), obtendo valores de 1,3 MPa e 1,5 MPa, respectivamente. Desta forma, os valores aqui obtidos se destacam tanto em relação às chapas com 12% quanto com 15% de adesivo.

Vital, Lehmann e Boone (1974) afirmam que a propriedade de tração perpendicular aumenta consideravelmente com o aumento da massa específica dos painéis, o que pode estar relacionado com o desempenho obtido no trabalho em questão. Contudo, sabe-se atualmente que esta propriedade depende também na prática de diversos fatores como umidade das chapas, teor de adesivo, entre outros.

- Resistência ao Arrancamento de Parafusos

A tabela 30 a seguir apresenta os valores médios referentes às propriedades de Arrancamento de Parafusos – Superfície e Topo dos painéis produzidos.

Tabela 30 - Valores Médios referentes ao Arrancamento de Parafusos – Superfície e Topo.

Tratamento	APs (N)		AP_T (N)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
A	1417	16,39	2592	13,56
B	1342	4,03	2437	6,95
C	1608	11,45	2604	9,16
D	1542	11,63	2604	14,39
E	1471	18,51	2429	18,52
F	1483	22,55	2404	8,30
G	1483	9,63	2488	19,35
H	1454	15,47	2413	21,86

Por meio da análise de variância (tabelas 48 e 49 – Apêndice B), realizada para as variáveis Arrancamento de Parafusos Superfície (APs) e Topo (AP_T), não constatou-se nenhuma diferença significativa para esta variável, ao nível de 5% de significância.

Os valores obtidos encontram-se coerentes com os valores mínimos estipulados pela norma NBR 14810:2 (ABNT, 2006), sendo este de 1020 N para APs e 800 N para AP_T, destacando-se os resultados aqui obtidos para esta propriedade quanto ao topo.

Em estudos relacionados à produção de painéis de diferentes espécies, Trianoski (2010) obteve para painéis de aglomerado homogêneos produzidos com *Pinus taeda* e resina uréia-formaldeído, valores de APs e AP_T de, respectivamente, 1207 N e 1296N, o que demonstra os resultados amplamente satisfatórios aqui obtidos.

4.3.3 Considerações

Por meio dos resultados obtidos na caracterização física e mecânica da chapas de partículas, optou-se pela escolha dos tratamentos B e G para realização das análises de MEV, Porosimetria por Intrusão de Mercúrio e Envelhecimento Artificial Acelerado. O tratamento B dentre os estudados é aquele que contempla as normas em questão, com consumo de adesivo. Já o tratamento G resultou em melhores propriedades que todos os demais tratamentos, porém com menor tempo de prensagem.

4.4 Demais Análises

4.4.1 Retenção dos Ingredientes Ativos na Madeira Tratada

A tabela 31 a seguir apresenta os valores obtidos na determinação da retenção dos ingredientes ativos (IA) nas partículas e chapas proveniente de *Pinus sp* tratado com CCB..

Tabela 31 - Retenção dos Ingredientes Ativos (IA) de partículas e chapas de *Pinus sp* tratado com CCB.

Amostra	Ingredientes	Retenção (kg/m ³)	Balanceamento Químico (%)	Valores padrões balanceamento químico (%)	
				Mínimo	Máximo
Partículas	CrO ₃	4,7	63	60,3	66,7
	CuO	2,1	27,7	24,7	27,3
	B	0,7	9,2	9,9	11
	TOTAL	7,5			
Chapas	CrO ₃	4,1	67,7	60,3	66,7
	CuO	1,6	26,1	24,7	27,3
	B	0,4	6,3	9,9	11
	TOTAL	6,1			

É possível observar conforme os valores obtidos na determinação da Retenção dos IA das partículas e chapas que, em ambos os casos, os valores de retenção estiveram acima do mínimo de 4,0 kg IA/m³, recomendado pela norma NBR 7190 (em revisão).

Todavia, os dados de retenção de cada ingrediente ativo permite analisar que, o processo de produção das chapas acarretou em pequena perda dos mesmos, sendo esta de 13% de CrO₃, 24% de CuO e 19% de B. Além disso, o balanceamento do cromo está acima e, do boro, abaixo dos limites estabelecidos.

É desconhecido um limite de temperatura em serviço da madeira tratada para que não ocorra volatilização dos IA, porém sabe-se que isto é possível. Todavia, estudos realizados por Collin (2005) demonstrou que a pirólise da madeira tratada com CCB a uma temperatura de 300° C e tempo de residência de 15 minutos produz um carvão contendo todo o cobre e todo o cromo da madeira tratada, com uma perda reduzida somente de boro (10-15%).

Neste contexto, é possível tanto a sugestão desta perda com uma possível volatilização ou com alguma reação química entre os IA e os compostos da madeira.

4.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

As figuras a seguir representam a análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das partículas (figuras 23) e dos painéis dos tratamentos B e G (figuras 24 e 25), com desempenho satisfatório sob as condições expostas anteriormente (item 3.3.2).

Figura 23 - Imagens das partículas por MEV: partícula de *Pinus sp* tratado com CCB, 100 X (a) e a mesma partícula, 500 X (b).

De acordo com a figura 23a, notou-se que as partículas se encontram com algumas fibras rompidas, fato que pode ser relacionado ao processamento das mesmas, no moinho de facas, o que pode influenciar no desempenho dos painéis, pois as fibras são responsáveis por suportar o carregamento mecânico imposto ao material composto (CALLISTER, 2002). No entanto, conforme observado na figura 23b, essas estruturas rompidas ocorrem sem padrão definido.

Figura 24 - Imagens dos painéis do tratamento B por MEV: partículas envolvidas pela resina (a) e (b), 500 X e 250 X, respectivamente; Arrancamento de fibra pela ação da ruptura por flexão (c), 200X e; vista geral da superfície rompida por flexão, 150 X (d).

Por meio das figuras 24a e 24b, pode ser visualizado na chapa referente ao tratamento B, um “molhamento” eficiente das áreas superficiais das partículas pela resina, fato este essencial em materiais compósitos para que haja a distribuição de cargas entre as fibras (CALLISTER, 2002). A figura 24c mostra o local no qual houve um arrancamento de fibra (região mais escura), possivelmente causado pelo esforço ao qual foi submetida a amostra até a ruptura. A figura 24d, a qual apresenta a vista geral da região rompida, possibilita visualizar a distribuição aleatória das partículas, demonstrada por direções de fibras no eixo y e z.

Figura 25 - Imagens dos painéis do tratamento G por MEV: partículas envolvidas pela resina (a) e (b), 400 X e 350 X, respectivamente; Arrancamento de fibra pela ação da ruptura por flexão (c), 200X e; vista geral da superfície rompida por flexão, 80 X (d).

Observou-se, pelas figuras 25a e 25b, em relação à morfologia da chapa do tratamento G que, as partículas encontram-se envolvidas com eficiência pela resina. Entretanto, tanto a figura 25b quanto a figura 25d mostram um certo excesso de resina (aparência de “plaquetas” de resina). O mesmo arrancamento de fibras notado para a amostra B é observado também na amostra do tratamento G (figura 25c), possivelmente pela mesma causa.

4.4.3 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

Os gráficos 5 e 6 apresentam a curva padrão de intrusão porosimétrica, ou seja, o comportamento da distribuição de poros nas amostras referentes aos tratamentos analisados.

Gráfico 5 - Curva padrão de Intrusão Porosimétrica – Tratamento B

Gráfico 6 - Curva padrão de Intrusão Porosimétrica – Tratamento G.

Segundo o gráfico 5, a amostra referente ao tratamento B apresentou maior quantidade de poros com dimensões até $2\mu\text{m}$, existindo uma quantidade muito pequena de poros acima destas dimensões. Para a amostra do tratamento G (gráfico 6), a maior parcela de poros apresentou-se também com dimensões abaixo de $2\mu\text{m}$, porém, existe quantidade considerável de poros com dimensões entre $7,5$ e $10\mu\text{m}$, aproximadamente. A tabela 32 a seguir apresenta as características porosimétricas das amostras B e G, submetidas ao ensaio.

Tabela 32 - Características porosimétricas dos tratamentos B e G.

Características porosimétricas	Tratamento B	Tratamento G
Volume Total de Intrusão (mL/g)	0,30	0,27
Área Total de poros (m ² /g)	17,21	26,27
Diâmetro médio dos poros (μm)	0,18	0,14
Densidade (g/mL)	0,97	1,04
Densidade Aparente (g/mL)	1,38	1,46
Porosidade (%)	29,20	28,59

Notou-se por meio dos valores obtidos para cada tratamento que, a amostra do tratamento B obteve maior volume total de intrusão de mercúrio e conseqüentemente, maior porosidade, ou fração volumétrica de poros que o tratamento G. Este fato pode estar relacionado à menor razão de compactação da chapa, o que propiciou maior número de vazios internos no material, ou até mesmo pela menor quantidade de adesivo empregado em relação ao outro tratamento.

Outra questão levantada por Callister (2002), no caso de materiais cerâmicos, relaciona a maior incidência de poros como efeito negativo sobre a resistência mecânica do material. Neste caso, para estimar uma possível perda de resistência das chapas por meio da fração volumétrica da porosidade seriam necessários ensaios de quantidade considerável de amostras obtendo-se uma relação por meio do método de regressão linear.

4.4.4 Envelhecimento Artificial Acelerado

A figura 26 apresenta os corpos-de-prova dos tratamentos B e G (conforme item 3.3.2) antes e após exposição ao período Envelhecimento Artificial Acelerado.

Figura 26 - Corpos-de-prova da esquerda à direita, respectivamente: antes do envelhecimento e impermeabilizados – B e G (a); após envelhecimento – B, impermeabilizado e ao natural e (b); após envelhecimento – G, impermeabilizado e ao natural (c).

Visualmente, pôde-se observar que, tanto os corpos-de-prova impermeabilizados quanto aqueles expostos ao natural apresentaram alteração de cor em relação às amostras anteriormente à exposição. Entretanto, segundo algumas características observadas por Nascimento (2003)

quanto aos resultados do intemperismo artificial, não houve ondulações, alteração de brilho, empenamento, fissuras ou desprendimento de partículas dos corpos-de-prova.

Não existem meios de avaliações específicas dos resultados deste tipo de ensaio. Nestes trabalho optou-se pela avaliação visual e pela relação dos resultados com aqueles obtidos anteriormente ao processo de envelhecimento, por meio do ensaio dos corpos-de-prova à flexão estática.

O ensaio de flexão realizado seguiu os mesmos procedimentos dos corpos-de-prova não envelhecidos, porém, conforme ilustra a figura 27, as faces dos espécimes que se encontravam defronte a lâmpada e aspersão de água encontravam-se com coloração mais escurecida. Sendo assim, no momento da realização do ensaio de flexão, os corpos-de-prova foram posicionados com a face escurecida para baixo, devido aos maiores esforços, sendo estes por tração, os quais ocorrem na superfície inferior do corpo-de-prova.

Figura 27 - Diferenças nas colorações dos corpos-de-prova envelhecidos em relação à posição no equipamento de intemperismo: amostras impermeabilizadas (a) e ao natural (b).

A tabela 33 apresenta os valores médios dos corpos-de-prova dos tratamentos B e G envelhecidos, bem como os valores médios anteriormente à exposição dos mesmos. Os valores médios referentes às chapas encontram na tabela 38 (Apêndice A).

Tabela 33 - Valores médios de Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade das chapas antes e após Envelhecimento Artificial Acelerado.

Tratamento	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Média	CV(%)	Média	CV(%)
B	24	12,30	2371	12,66
G	29	18,66	2911	13,22
B - envelhecido <i>in natura</i>	26	13,78	3184	18,57
B - envelhecido impermeabilizado	32	13,74	3982	13,04
G - envelhecido <i>in natura</i>	30	12,52	3456	7,30
G - envelhecido impermeabilizado	32	23,16	3535	15,63

Os valores médios encontrados para o MOR e MOE, nas condições analisadas, encontram-se em conformidade com os requisitos das normas NBR 14810:2 (ABNT, 2006), ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e CS236-66 (CS, 1968) de 18MPa, 16,5 MPa e 16,8MPa, para MOR e 2400MPa e 2450 MPa, para MOE. Curiosamente, verificou-se que os valores destas propriedades aumentaram em função do envelhecimento, o que pode ser explicado por uma possível plasticização da resina das amostras em função da temperatura e do tempo de exposição. Entretanto, acredita-se que tempos maiores de exposição possam ocasionar uma degradação da resina e, possivelmente, redução nas propriedades do produto.

Por meio da Análise de Variância com Medidas Repetidas no tempo em relação à variável MOR, obteve-se a seguinte comparação entre tratamentos (B e G) e momento (tempo), conforme tabela 34.

Tabela 34 - Comparação dos tratamentos e momentos por ANOVA dos valores médios seguidos de desvio padrão da variável MOR.

Tratamentos	Momentos/Amostra		
	Não envelhecida	Envelhecida <i>in natura</i>	Envelhecida impermeabilizada
B	23±2,51 B a	26± 3,54 B a	32±4,39 A a
G	29±6,12 B a	30±3,79 B a	32±7,44 A a

*Duas médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem quanto os respectivos momentos, fixando os tratamentos, ao nível de 95% de probabilidade.

**Duas médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem quanto aos respectivos tratamentos, fixando cada momento, ao nível de 95% de probabilidade.

Observou-se por meio da tabela 34 e considerando-se a interação com o momento (tempo) que, em relação ao MOR, as amostras B e G não envelhecidas e envelhecidas *in*

natura não apresentaram diferença estatística significativa, ao nível de 95% de probabilidade, em relação ao tempo de envelhecimento. Todavia, as amostras envelhecidas impermeabilizadas apresentam diferença estatística significativa, ao nível de 95% de probabilidade, em relação às demais, considerando-se o tempo de envelhecimento. Observou-se desta forma que, o envelhecimento provocou aumento do MOR somente para amostras impermeabilizadas.

Em relação ao tratamento, B e G não apresentaram diferença estatística significativa entre si, ao nível de 95% de probabilidade, entre os mesmos, em termos de MOR, das amostras não envelhecidas, envelhecidas *in natura* e envelhecidas impermeabilizadas.

Para a Análise de Variância com Medidas Repetidas no tempo, em relação à variável MOE, obteve-se a seguinte comparação entre tratamentos e momentos (tabela 35).

Tabela 35 - Comparação dos tratamentos e momentos por ANOVA dos valores médios seguidos de desvio padrão da variável MOE.

Tratamentos	Momentos/Amostra		
	Não envelhecida	Envelhecida <i>in natura</i>	Envelhecida impermeabilizada
B	2297±267,70 C b	3185±591,27 B a	3982±519,10 A a
G	2963±406,09 B a	3456±252,35 A a	3535±552,62 A a

*Duas médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem quanto os respectivos momentos, fixando os tratamentos, ao nível de 95% de probabilidade.

**Duas médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem quanto aos respectivos tratamentos, fixando cada momento, ao nível de 95% de probabilidade.

A tabela 35 apresenta em relação ao MOE, considerando-se a interação com o momento (tempo) que, as amostras B não envelhecidas, envelhecidas *in natura* e envelhecidas impermeabilizadas apresentaram diferença estatística significativa, ao nível de 95% de probabilidade, em relação ao tempo de envelhecimento, ou seja, o tempo de exposição foi influente nesta propriedade. Em relação às amostras G, houve diferença estatística significativa em termos do tempo de envelhecimento em relação ao MOE apenas entre amostras não envelhecidas em comparação com aquelas envelhecidas nas duas situações.

Confrontando-se B e G, ainda em termos do momento, as mesmas apresentam diferença estatística significativa, ao nível de 95% de probabilidade somente em relação às amostras não envelhecidas e envelhecidas *in natura*.

Em relação à análise do tratamento, ocorrem diferenças estatísticas significativas, ao nível de 95% de probabilidade, somente comparando-se as amostras B não envelhecidas com as mesmas envelhecidas *in natura* e envelhecidas impermeabilizadas e com as amostras G em todos os momentos.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Baseando-se na metodologia aplicada e resultados obtidos para as partículas de *Pinus sp* tratado com CCB e chapas derivadas das mesmas, é possível registrar as seguintes conclusões:

- As partículas empregadas possuem características morfológicas e físicas em conformidade para a produção das chapas de partículas homogêneas. Apesar das partículas apresentarem algumas fibras fissuradas, isto não influenciou no desempenho dos painéis. Em termos de umidade, o valor médio de 8,6% superior ao estabelecido pela literatura (3 a 6%) nada provocou em termos de defeitos de processo, durante o processo de prensagem. Considerando-se a distribuição granulométrica das partículas, grande parte destas encontravam-se em faixas de tamanho consideradas apropriadas, de 0,595mm a 1,19mm (16 a 30 mesh), conforme trabalhos mencionados de outros autores.
- Em relação às propriedades físicas dos painéis, observou-se que ambos classificaram-se como painéis de alta densidade e apresentaram razão de compactação dentro dos limites estabelecidos, apesar da utilização de madeira com maior densidade que as usuais. Considerando-se o teor de umidade, os tratamentos C e D, apresentaram valores inferiores aos demais, embora muito próximos aos demais tratamentos, considerados satisfatórios em relação a trabalhos correlatos, pois não existem requisitos normativos abordando esta propriedade.
- Considerando-se as propriedades de Inchamento em Espessura e Absorção de Água, nos períodos de 2h e 24h, constatou-se que os fatores Partículas e Adesivo possuem grande influência nestas propriedades. O adesivo é um fator predominante, ocorrendo nas maiores dosagens os maiores resultados em termos destas propriedades, especificamente nos tratamentos G e H. Todavia, no requisito IE – 2h, único citado pela NBR 14810:2 (ABNT, 2006), os valores encontrados para todos os tratamentos, mesmo aqueles com menor teor de adesivo, encontram-se altamente satisfatórios em relação ao preconizado.

- Em termos de propriedades mecânicas dos painéis, observou-se que os fatores Partículas e Adesivos também se caracterizaram como únicos a representar alguma influência nas mesmas, exceto no Arrancamento de Parafusos, para o qual nenhum dos fatores apresentou influência. Entretanto, se mostraram dependentes do fator adesivo somente o MOE e a TP, sendo as modificações deste parâmetro altamente expressivas em termos de custo. Apesar do exposto, todos os tratamentos estiveram em conformidade com as normas consideradas, exceto o tratamento A, em termos de MOE.
- Os tratamentos B e G, selecionados pelos motivos descritos no item 4.3.3, apresentaram homogeneização eficiente, conforme destacado pelo ensaio de MEV. De acordo com a porosimetria por intrusão de mercúrio, foi possível concluir que estes materiais são porosos, porém seria necessária a análise de diversas amostras para associar esta propriedade à perda de resistência, conforme definido para materiais cerâmicos, por exemplo. Cabe considerar que esta fração de porosidade pode ser interessante em termos de aplicações como chapas isolantes acústicas, devido aos vazios internos preenchidos por ar.
- As amostras B e G submetidas ao Envelhecimento Artificial Acelerado em período equivalente a 1 ano não apresentaram defeitos aparentes e nem perda quanto as propriedades de MOR e MOE à flexão estática. Ressalta-se ainda que as amostras referentes aos tratamentos B e G apresentaram MOR superior após envelhecimento das peças impermeabilizadas. Quanto ao MOE, as amostras do tratamento B resultaram em desempenho superior quando envelhecidas *ao natural* e impermeabilizadas, destacando-se aquelas que foram impermeabilizadas com mamona. As amostras G apresentaram propriedades superiores também quando envelhecidas, porém o acabamento com resina não influenciou na melhora das propriedades. O aumento no valor das propriedades das amostras envelhecidas pode ter sido ocasionado por uma possível plasticização da resina à base de mamona.
- O ensaio de retenção dos IA do material antes e após a fabricação das chapas mostrou que o processo de obtenção das chapas ocasionou uma pequena perda de componentes do preservante. Contudo, não é possível afirmar se a perda pode ser causada de fato pela temperatura na qual ocorre a prensagem, pois não existem informações sobre a temperatura máxima à qual a madeira preservada possa ser submetida sem ocasionar redução da retenção do preservante.

Diante destes argumentos, conclui-se que é viável a produção das chapas de partículas empregando-se resíduos de *Pinus sp* tratado com CCB e resina PU à base de mamona, pois as mesmas possuem propriedades superiores, apresentam-se resistentes ao envelhecimento e podem ser empregadas em diversos fins na construção civil, além da contribuição para destinação ambientalmente correta destes resíduos.

Com base nos argumentos da conclusão, são sugeridos para estudos futuros:

- Considerando-se que praticamente todos os tratamentos superaram as normas, poderiam ser adotadas outras variações no processo e estudados em termos de custos, quais destes fatores seriam mais expressivos na produção das chapas;
- Produção de chapas de *Pinus sp* sem tratamento nas mesmas condições, para comparação do desempenho destes em relação às chapas de madeira tratada;
- Ensaio de Envelhecimento Artificial Acelerado simulando diversos ciclos e ensaios de retenção dos IA após estes períodos, para analisar se haverá perda para o ambiente devido à exposição às intempéries;
- Avaliação do desempenho destas chapas quando aplicadas em paredes isolantes; pisos; entre outros.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. (2006). Disponível em: <<http://www.slideshare.net/loracruz/industria-de-painis-madeira-slida-e-mveis-por-roberto-szachnowicz-vice-presidente-da-satipel-minas>>. Acesso em: 11 jan. 2010.

_____. (2009). Cenário da Indústria de Painéis. 8º Encontro da Cadeira Produtiva de Madeira e Móveis. 2009. Disponível em: <www.cgimoveis.com.br/mercado/documento.2009-11.../arquivo>. Acesso em: 10 out. 2010.

_____. (2010). Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. (2007). **Estudo Setorial 2007**, 40p., 2007. Disponível em: <http://www.abimci.com.br/dmdocuments/ABIMCI_Estudo_Setorial_2007.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2011.

_____. (2008). **Estudo setorial 2008**. Disponível em: <http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=6&Itemid=37>. Acesso em: 3 ago. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2006). **NBR 14810**: Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro.

_____. (1997). **NBR 7190**: Projetos de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. Em revisão.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRESERVADORES DE MADEIRA. (2010). **Índice de normas técnicas**. Disponível em: <<http://www.abpm.com.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. (2010). **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2009. Brasília: STCP Engenharia de Projetos.

ALBUQUERQUE, C. E. C. (2002). **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Pós-graduação em Engenharia Florestal na Área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. (1999). **A208.1**: Particleboard. Gaithersburg.

ASSOCIAÇÃO PARANAENSE DE EMPRESAS DE BASE FLORESTAL. (2011). **O Uso da madeira tratada na construção civil**. Disponível em: <<http://www.apreflorestas.com.br/noticias/construcao-civil/132/o-uso-da-madeira-tratada-na-construcao-civil>>. Acesso em: 21 jan. 2011.

ARAUJO, L. C. R. (1992) **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. São Carlos, 1992. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física e Química de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1999). **G155**: Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials. West Conshohocken.

ATLAS (2001). **Weathering Testing Guidebook**. USA, 2001, 112p.

BACHA, C. J. C.; BARROS, A. L. M. (2004). Reflorestamento no Brasil: Evolução recente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis**, n.66, p. 191-203, dez. 2004. Disponível em:< <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr66/cap19.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2010.

BARILLARI, C. T. (2002). **Durabilidade da madeira do gênero Pinus tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. 68f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

BLANCHET, P.; CLOUTIER, A.; RIEDL, B. (2000). Particleboard made from hammer milled black spruce bark residues. **Springer Berlin/Heidelberg**, Berlin, v. 34, n.1, p. 11-19.

BIGELOW, J. J. et al. (2007). Field evaluation of timber preservation treatments for highway applications. **Center for Transportation Research and Education**. Ames: Iowa State University. Disponível em:<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2007/fpl_2007_bigelow001.pdf>. Acesso em: 18 Jan. 2011.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. (1982). **Mechanics of wood and wood composites: characteristics of wood composites**. New York. Van Nostrand Reinhold.

BOONSTRA, M. J. (2006). The effects of a two stage heat treatment process on the properties of particleboard. **Springer Berlin/Heidelberg**, Berlin, v. 64, n. 2, p. 157 – 164.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. (2003). **Forest products and wood science: an introduction**. 4th.ed. Ames: Iowa State Press.

BRASIL, A. A. et al. (2003). Demanda de exportação de painéis de madeira do Brasil. **Revista Floresta**. Disponível em:< <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/2268/1896>>. Acesso em: 12 jan. 2010.

BRAZOLIN, S. et al. (2007). Preservação de madeiras, sistemas de classe de risco e revisão da NBR 7190 – Anexo D. In: ENCONTRO NACIONAL ABPM, 7., 2007, Ipatinga. Disponível em:< http://www.abpm.com.br/pdf/IPT-Sergio_Brazolin.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2011.

BRITO, E. O. (1996). Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, v.26, p.34-39, 1996.

BRITO, E. O. et al. (2006). Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 72, p. 17-21, dec.

CALIL JÚNIOR, C. (2002). O potencial do uso de madeira de Pinus na construção civil. **Revista Técnica**, São Paulo. n. 60, p. 44 – 48, 2002.

CALLISTER, W. D. (2002). **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5.ed. São Paulo: LTC.

CAMPOS, C. I. (2005). **Produção e caracterização físico-mecânica de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores**. 102f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

CANEVAROLO JR, S. V. (2004). **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber.

CARPANEZZI, A. A. et al. (1988). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba, EMBRAPA-CNPQ, Documento, 21, 1988. Disponível em: <http://www.cnpq.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc21.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2011.

CASSENS, D. L. et al. (1995). **Selection and use of preservative-treated wood**. Madison: Forest Products Society.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS. (2008). **Pinus**. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=pinus>>. Acesso em 18 jan. 2011.

CHIPANSKI, E. R. (2006). **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil**. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CLAUSEN, C. A.; KARTAL S. N.; MUEHL, J. (2000). Properties of particleboard made from recycled CCA-treated wood. In: ANNUAL MEETING - THE INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PRESERVATION, 31., Kona, Hawaii, 6 p. 2000. Disponível em:< <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/5690>>. Acesso em: 24 Oct. 2010.

COLLIN, T. F et al. (2005). **Pyrolytic treatment of CCB treated wood**. The International Research Group on Wood Protection. Document IRG/WP 05-50224:23.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. (1988). Relatório Brundtland - Nosso futuro comum. Rio de Janeiro, FGV, 1988.

COMMERCIAL STANDARD. (1968). **CS 236-66: Mat formed wood particleboard**. [S.l.].

DIAS, F. M. (2008). **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. Produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, SET-EESC-USP. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. p. 73-92.

ESTEVES, B. M. M. L. (2009). A indústria de preservação em Portugal. **Revista Millenium, Instituto Politécnico de Viseu**. n. 36, maio. Disponível em:<http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/344/1/A_Industria_de_Preservacao.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2011.

EUCAPRES - Eucalipto Preservado LTDA. (2009). Disponível em: <http://www.eucapres.com.br/empresa.php>. Acesso em: 20 jan. 2011.

FAGUNDES, H. A. V. (2003). **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no rio grande do sul**. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Modalidade Acadêmico) – Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERRARINI, S. F. et al. (2010). Identificação e tratamento de resíduos provenientes de madeira tratada com arseniato de cobre cromatado. **Cidel Argentina 2010**, n. 183. Disponível em:< <http://www.cidel2010.com/papers/PAPER-183-11022010.PDF>>. Acesso em: 24 jan. 2011.

FAO (2010). FAOSTAT Forestry. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>. Acesso em: 11 Jan. 2010.

GALVÃO, A. P. M. (1975). Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **IPEF**, Piracicaba, n.11, p.53-65, 1975.

GERALDO, F. C. (2002). Madeira preservada agrega valor à construção. **Revista da Madeira**, Curitiba. n. 67, p. 52 – 57, 2002.

GROENIER, J. S.; LEBOW, S. (2006). **Preservative-treated wood and alternative products in the forest service**. Missoula: USDA Forest Service. TE42G01—Technical Services ECAP. Disponível em:<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2006/fpl_2006_groenier001.pdf>. Acesso em: 23 Jan. 2011.

HANADA, R. E. et al. (2003). Fungos emboloradores e manchadores de madeira em toras estocadas em indústrias madeireiras no município de Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**, v.33, n.3, p. 483 – 488. Disponível em:<<http://acta.inpa.gov.br/fasciculos/33-3/PDF/v33n3a13.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

HILLIG, E. (2000). **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 96 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HUANG, C.; COOPER, P. A. (2000). Cement-bonded particleboards using cca-treated wood removed from service. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 6, p. 49-56. Disponível em:< <http://www.entrepreneur.com/tradejournals/article/71324854.html>>. Acesso em: 20 set. 2010.

HUMAR, M.; POHLEVEN, F. (2006). Influence of water properties on leaching of copper-based preservatives from treated wood. **Wood Research**, v.51, n.3, p. 69-76, 2006. Disponível em:<http://les.bf.uni-lj.si/fileadmin/datoteke_asistentov/mhumar/clanki/2006_izpiranje_Cu_v_odvisnosti_od_tipa_vode_WR_3_2006_07_kor3.pdf>. Acesso em: 18 Jan. 2011.

HUMAR, M.; POHLEVEN, F.; SAM, A. O. (2004). Bioremediation of waste copper/chromium treated wood using wood decay fungi. In: ENVIRONMENTAL IMPACTS OF PRESERVATIVE-TREATED WOOD CONFERENCE, 2004, Orlando. p. 245 – 258. Disponível em:<http://ccaresearch.org/Pre-Conference/document/Fl_Env_Cent_Treated_Wood_Proceedings2.pdf>. Acesso em: 11 Jan. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. (2011). **Informações sobre madeiras**. Disponível em:< http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7>. Acesso em: 18 jan. 2011.

IWAKIRI, S. (1999). Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii Engelm* com inclusão laminar. **Revista CERNE**, Lavras, v.5, n.2, p. 86 – 94, 1999.

IWAKIRI, S. (2005). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF.

IWAKIRI, S. et al. (2001). Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8 n.1 p 137-142, 2001.

IWAKIRI, S. et al. (2005). Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**. v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

IWAKIRI, S.; CRUZ, C. R.; OLANDOSKI, M. A. B. (2000). Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 251 – 256.

IWAKIRI, S. et al. (2008). Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, 487-493. jul./set. 2008.

JESUS, J. M. H. (2000). **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 106f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

KAKARAS J. A. et al. 2002. Observations on the performance of CCB and creosote treated fence posts after 18 years of exposure in Greece. In: THE INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PRESERVATION ANNUAL CONFERENCE, 33., 2002, Cardiff. Disponível em:<<http://users.teilar.gr/~kakar/observations-performance-CCB-creosote-treated-fences.pdf>>. Acesso em: 20 Jan. 2011.

KAMDEM, D. P. et al. (2004). Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service. **SciVerse - Elsevier**, v. 35, n.3, p. 347 – 355, Mar. Disponível em:<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TWN-49Y3H1K->. Acesso em: 25 Aug. 2009.

KARTAL, S.N. (2003). Removal of copper, chromium and arsenic from CCA-C treated wood by EDTA extraction. **Waste Management**, v.23, n. 6, p. 537-546, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science>>. Acesso em: 20 Nov. 2010.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. (1975). **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag.

LEBOW, S. (2006). Preservative treatments for building components. In: BARNES, H. M. **Wood protection 2006**. Wisconsin: Forest Products Laboratory. Session I, p. 57 – 64. Disponível em:<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2007/fpl_2007_lebow001.pdf>. Acesso em: 23 Jan. 2011.

LELIS, A. T. (2000). Insetos deterioradores de madeira no meio urbano. **Série Técnica IPEF**, v. 13, n. 33, p. 81-90, mar. Disponível em:<<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr33/cap09.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2011.

LEPAGE, E.S. (2010). Moq® 0x 50 (CC B-O) – preservativo sustentável com longo histórico de eficiência. **Revista Referência**, p. 80 – 83. Disponível em:<<http://www.montana.com.br/Noticias/Clippings/Revista-Referencia-Segunda-Feira-20-de-Setembro-de-2010>>. Acesso em: 18 jan. 2011.

LEPAGE, E.S. et al. (1986). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT. 2v.

MAGALHÃES, W. L. E.; PEREIRA, J. C. D. (2003). **Métodos de substituição de seiva para preservação de mourões**. Comunicado Técnico - Embrapa Florestas, n. 97, 2003. Disponível em:< http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com_tec97.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2011.

MALONEY, T. M. (1977). **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman.

MARTO (2009). Indicações para escolha de espécies de pinus. **Revista da Madeira**. n. 119, ago. Disponível em:http://www.remade.com.br/revistadamadeira_materia.php?num=1381&subject=Pinus&title=Indica%E7%F5es%20para%20escolha%20de%20esp%E9cies%20de%20pinus. Acesso em: 13 jan. 2011.

MENDES, L. M. (2001). **Pinus sp na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 156f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MONTANA QUÍMICA S.A. (2010). Agentes biodeterioradores. Disponível em:<<http://www.montana.com.br/Guia-da-Madeira/Tratamento/Agentes-Biodeterioradores>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

MORALES, E. A. M. et al. (2008). Estudo inicial sobre a viabilidade de produção de painéis de partículas de madeira de reflorestamento tratada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: [s.n.]. CD-ROM.

MORESCHI, J. C. (2011). Produtos Preservantes de Madeira. Apostila Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – UFPR, Curitiba. 31p. Disponível em:<www.madeira.ufpr.br/Preservantesdemadeira.pdf>. Acesso em: 20 jan.2011.

MOSLEMI, A. A. (1974). **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press.

NASCIMENTO, M. F. (2003). **CPH - chapas de partículas homogêneas**: madeiras do nordeste do Brasil. 117f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

PINHEIRO, R. V. (2001). **Influência da preservação contra a demanda biológica em propriedades de resistência e de elasticidade da madeira**. 162f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PINHEIRO, G. L.; BRITO, E. O. (2000) Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n.1, p.60 - 67, jan./dez.

PORTAL REFERÊNCIA. (2009). Madeira tratada - madeira preservada tem encontro técnico. **Revista Referência**, ed.93, jul. Disponível em:<http://www.revistareferencia.com.br/index2.php?principal=ver_conteudo.php&uid=856&edicao2=93>. Acesso em: 25 nov. 2010.

PRESTON, A. F. (2000). Wood preservation: trends of today that influence the industry tomorrow. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 9, Sept. Disponível em:<http://www.cfquesnel.com/userfiles/file/%7BB6137F28-6084-46CD-880E-45C93D33D4D6%7D_FPJ%20Wood%20Preservation.pdf>. Acesso em: 20 Jan. 2011.

RAMOS, A. M. D. (2003). **Estudos para a fixação de boro na madeira com vista à sua preservação**. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade do Porto, Portugal, 2003.

REMADE (2002). A preservação de madeiras no Brasil. **Revista da Madeira**, n.67, out. Disponível em:<<http://www.remade.com.br/>>. Acesso em: 21 jan. 2011.

RICHARDSON, B. A. (1993). **Wood preservation**. 2nded. London: Chapman and Hall.

ROCCO LAHR, F. A; FERNANDES, R.; BERTOLINI, M. S. (2010). Influência da preservação CCB na dureza da madeira de *Pinus sp.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS, 19., 2010, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: [s.n.]. CD-ROM.

SILVA, J. C. (2006). Madeira preservada: os impactos ambientais. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul. Disponível em:<<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

SOLO-GABRIELE, H. M.; TOWNSEND, T. G.; CAI, Y. (2004). Environmental impacts of CCA-treated wood within Florida, USA. p. 57 – 70. In: ENVIRONMENTAL IMPACTS OF PRESERVATIVE-TREATED WOOD CONFERENCE, 2004, Orlando. Disponível em:<http://ccaresearch.org/Pre-Conference/document/Fl_Env_Cent_Treated_Wood_Proceedings2.pdf>. Acesso em: 11 Jan. 2011.

TOMASELLI, I. (2000). Tendências de mudanças na indústria de painéis. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, p. 36-40.

TRIANOSKI, R. (2010). **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 260f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. (2002). **Autoclave**. Disponível em: <www.arq.ufsc.br/.../Pinus/autoclave.htm>. Acesso em: 25 nov. 2010.

VALCÁRCEL, A. I. G. et al. (2004). Influence of leaching medium and drying time between successive leaching periods on the emission of chromium, copper, and boron from treated wood. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Brussels, v. 23, n. 11, p. 2682–2688.

VILAR, W. D. (1993). **Química e tecnologia dos poliuretanos**. [S.I.]: Grupo Pronor.

VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.

WACKER, J. P.; CRAWFORD, D. M. (2003). Extending service life of timber bridges with preservatives. In: 19th US-Japan Bridge Engineering Workshop, UJNR Panel on Wind and Seismic Effects, 2003, Tsukuba. In: US-JAPAN BRIDGE ENGINEERING 19., 2003. **Proceedings...** Technical Memorandum (PWRI), n. 3092, p. 77-85. Disponível em:<<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2003/wacke03a.pdf>>. Acesso em: 22 Jan. 2011.

WEISS, H.F. (1916). **The Preservation of structural timber**. New York: McGraw-Hill.

WOOD HANDBOOK: wood as an engineering material. (2010). Madison: Forest Products laboratory. (General Technical Report FPL-GTR-190).

APÊNDICE A – VALORES OBTIDOS NA CARACTERIZAÇÃO DAS CHAPAS

Tabela 36 - Valores médios das propriedades físicas das chapas referentes aos tratamentos estudados.

Tratamento- Chapa	TU (%)			ρ (g/cm ³)			IE - 2h (%)			IE -24h (%)			AA -2h (%)			AA-24h (%)		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
A-1	7,55	0,3	3,81	0,86	0,1	8,75	3,77	1,3	33,73	10,55	1,0	9,58	6,29	1,9	29,93	20,36	3,3	16,28
A-2	7,57	0,0	0,28	0,86	0,0	3,84	4,05	0,3	6,48	10,89	4,6	42,28	6,08	2,2	35,89	20,65	5,6	27,12
A-3	7,47	0,1	1,74	0,83	0,0	2,62	3,56	0,1	1,55	9,97	0,6	5,74	5,40	0,9	17,31	18,85	1,4	7,68
A-4	7,47	0,1	1,11	0,89	0,0	1,33	6,61	0,6	9,60	12,73	0,3	2,39	10,73	0,9	8,02	25,74	3,2	12,48
A-5	7,39	0,1	1,91	0,88	0,1	8,43	3,82	0,4	11,15	11,79	1,3	11,42	5,55	0,0	0,23	21,06	0,1	0,34
A-6	6,94	0,2	2,54	0,96	0,1	8,66	3,81	0,1	3,40	10,42	0,8	7,21	5,91	0,4	7,10	18,90	3,7	19,44
Média	7,40			0,88			4,27			11,06			6,66			20,93		
dp	0,23			0,05			1,16			1,02			2,02			2,53		
CV(%)	3,14			5,25			27,12			9,21			30,37			12,08		
B-1	7,46	0,2	3,29	0,88	0,1	9,90	4,25	0,6	13,79	10,33	1,7	16,78	6,93	1,5	21,45	20,31	2,6	12,59
B-2	7,64	0,1	1,12	0,92	0,1	5,59	4,17	0,6	13,69	12,29	0,0	0,11	5,14	0,5	8,97	21,79	2,5	11,65
B-3	7,73	0,3	3,32	0,92	0,0	1,69	4,32	1,3	28,98	10,59	0,4	3,98	6,59	0,7	10,58	20,06	1,2	6,04
B-4	7,21	0,1	1,43	0,87	0,0	5,11	4,67	0,3	6,69	11,46	0,3	2,99	7,39	2,0	27,54	20,76	3,9	18,90
B-5	7,64	0,2	2,50	0,93	0,0	2,76	2,95	0,2	7,81	7,74	1,1	14,65	5,38	0,0	0,83	14,96	0,3	1,98
B-6	7,50	0,0	0,06	0,88	0,0	3,74	4,32	1,7	39,88	10,71	1,7	15,65	6,01	0,8	12,63	19,93	1,0	4,94
Média	7,53			0,90			4,11			10,52			6,24			19,64		
dp	0,19			0,02			0,59			1,54			0,88			2,39		

Tratamento- Chapa	TU (%)			ρ (g/cm ³)			IE - 2h (%)			IE -24h (%)			AA -2h (%)			AA-24h (%)		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
CV(%)	2,48			2,71			14,45			14,61			14,16			12,15		
C-1	7,01	0,3	3,81	0,88	0,1	8,02	2,89	0,9	32,80	8,07	0,6	7,89	5,30	2,2	41,50	16,05	3,9	24,43
C-2	7,30	0,3	3,44	0,96	0,1	6,61	3,77	0,0	0,03	9,40	0,4	4,02	7,14	0,3	4,75	19,03	2,4	12,66
C-3	7,47	0,4	4,73	0,90	0,1	7,44	3,42	0,2	5,55	7,88	1,0	13,21	5,87	1,4	23,39	17,45	1,5	8,60
C-4	7,00	0,1	0,72	0,82	0,1	6,77	3,12	0,1	3,37	8,80	0,1	1,32	4,90	0,5	11,06	16,34	0,2	1,04
C-5	7,10	0,3	4,19	0,98	0,0	1,36	3,18	0,8	24,42	8,53	0,2	2,81	4,47	0,1	2,50	15,77	0,2	1,46
C-6	6,82	0,5	6,98	0,89	0,0	1,24	3,85	1,1	28,28	10,07	0,9	8,80	7,22	0,9	12,78	21,67	4,4	20,34
Média	7,12			0,90			3,37			8,79			5,82			17,72		
dp	0,23			0,06			0,38			0,83			1,15			2,28		
CV(%)	3,27			6,40			11,31			9,42			19,82			12,85		
D-1	7,17	0,3	4,55	0,90	0,0	4,59	3,26	0,9	28,98	8,17	1,2	14,37	4,69	1,0	21,32	15,16	2,7	18,02
D-2	7,10	0,4	5,92	0,92	0,0	3,00	3,57	1,6	46,13	9,11	0,2	2,06	5,37	0,7	12,74	17,45	1,6	9,02
D-3	6,90	0,6	8,03	0,98	0,0	1,20	2,04	1,0	47,68	7,84	1,6	19,80	3,04	0,6	18,98	12,29	4,7	38,62
D-4	6,35	1,0	15,25	0,96	0,0	1,94	2,99	0,4	14,83	8,60	1,2	13,87	5,65	1,3	22,80	18,02	1,7	9,41
D-5	7,15	0,6	8,23	0,93	0,0	4,01	3,25	1,0	30,88	10,13	0,2	1,77	7,04	0,6	8,61	20,05	1,0	5,14
D-6	7,38	0,1	1,99	0,94	0,0	0,81	3,21	0,0	1,10	7,18	0,4	5,33	3,15	0,4	12,15	11,74	0,3	2,43
Média	7,01			0,94			3,05			8,50			4,82			15,79		
dp	0,36			0,03			0,53			1,03			1,54			3,31		
CV(%)	5,14			3,10			17,39			12,12			32,01			20,99		
E-1	8,03	0,1	1,39	0,87	0,1	7,43	4,09	0,6	15,07	10,97	1,8	16,31	6,34	2,4	37,44	20,76	4,7	22,48
E-2	7,62	0,0	0,15	0,90	0,1	6,38	3,93	0,2	5,54	12,40	2,3	18,69	6,64	2,7	40,53	19,99	1,9	9,56

Tratamento- Chapa	TU (%)			ρ (g/cm ³)			IE - 2h (%)			IE -24h (%)			AA -2h (%)			AA-24h (%)		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
E-3	7,95	0,0	0,26	0,87	0,0	2,01	4,62	0,6	13,57	13,72	0,9	6,21	7,09	0,6	8,99	21,30	4,7	21,98
E-4	7,69	0,2	2,81	0,95	0,0	0,05	4,15	0,5	11,25	10,35	0,2	1,45	5,24	1,5	27,87	18,78	2,4	12,70
E-5	7,77	0,2	2,47	0,88	0,1	12,84	2,63	0,8	29,20	7,38	1,5	19,85	3,13	0,7	21,23	15,78	0,8	4,82
E-6	7,78	0,4	5,14	0,89	0,0	4,10	2,73	0,0	0,96	9,23	0,5	5,84	5,02	1,0	19,91	17,76	2,2	12,11
Média	7,81			0,89			3,69			10,68			5,58			19,06		
dp	0,16			0,03			0,82			2,25			1,44			2,07		
CV(%)	2,01			3,58			22,18			21,11			25,89			10,83		
F-1	8,15	0,2	2,56	0,88	0,1	7,47	4,18	1,2	29,26	11,74	1,7	14,80	6,01	1,3	22,14	20,40	3,5	17,09
F-2	7,53	0,2	2,20	0,95	0,1	7,04	2,78	0,4	13,89	10,41	3,8	36,54	3,85	0,9	24,25	14,98	7,3	48,56
F-3	7,22	0,2	2,99	1,03	0,0	2,18	3,78	0,4	9,74	10,79	2,4	22,40	4,70	1,7	36,27	14,70	3,8	25,88
F-4	7,93	0,3	3,15	0,96	0,0	4,46	3,68	1,4	38,03	10,26	0,1	1,25	4,53	1,8	39,60	15,30	6,6	43,46
F-5	8,20	0,1	1,21	1,01	0,0	2,94	3,02	0,3	9,67	11,25	0,4	3,74	3,46	0,2	4,68	15,02	0,4	2,85
F-6	8,40	0,2	2,74	0,99	0,0	2,57	2,89	1,6	54,66	9,55	3,3	35,04	4,22	2,0	48,54	14,63	8,2	55,74
Média	7,91			0,97			3,39			10,67			4,46			15,84		
dp	0,45			0,05			0,57			0,77			0,88			2,25		
CV(%)	5,67			5,59			16,79			7,23			19,81			14,19		
G-1	7,14	0,7	10,09	0,99	0,1	5,90	2,99	0,6	18,40	8,69	0,8	9,76	4,17	1,5	35,07	11,92	2,1	17,99
G-2	7,32	0,2	3,24	1,07	0,1	7,10	2,29	0,1	2,32	7,63	0,7	8,82	2,99	0,7	22,09	10,07	3,7	37,09
G-3	7,34	1,0	13,24	0,87	0,0	1,90	3,04	0,3	9,56	8,22	0,3	3,50	3,26	0,6	19,00	10,44	1,5	14,19
G-4	7,61	0,2	2,56	0,91	0,1	7,08	2,92	0,5	18,33	8,73	1,3	15,15	3,61	0,9	26,19	13,05	6,2	47,14
G-5	7,97	0,2	2,19	0,88	0,0	4,46	2,15	0,3	16,14	8,79	0,9	10,24	3,99	0,7	17,63	15,90	2,5	15,90

Tratamento- Chapa	TU (%)			ρ (g/cm ³)			IE - 2h (%)			IE -24h (%)			AA -2h (%)			AA-24h (%)		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
G-6	7,68	0,2	2,86	1,00	0,0	3,74	3,83	0,3	7,26	8,17	2,6	32,11	3,79	0,8	20,31	14,57	4,3	29,36
Média	7,51			0,95			2,87			8,37			3,63			12,66		
dp	0,30			0,08			0,60			0,45			0,45			2,30		
CV(%)	4,04			8,45			21,04			5,41			12,28			18,18		
H-1	7,77	0,2	2,77	0,91	0,1	12,75	3,28	1,7	51,35	8,74	0,6	6,54	5,00	0,9	18,08	15,32	2,2	14,22
H-2	7,46	0,2	2,12	0,94	0,0	4,88	1,97	0,8	42,60	8,40	0,8	9,27	3,65	0,5	13,13	12,57	1,3	10,26
H-3	7,49	0,4	5,85	0,98	0,0	1,01	2,18	1,6	71,59	8,19	2,2	26,97	4,18	2,2	53,50	12,40	6,7	54,02
H-4	7,83	0,3	3,82	0,85	0,0	3,90	3,41	1,4	41,62	10,12	2,1	20,93	3,86	0,0	0,46	13,65	0,5	3,55
H-5	6,87	0,0	0,60	0,96	0,0	4,35	3,03	0,4	14,05	8,82	0,4	5,01	3,14	0,1	3,83	12,02	1,3	10,55
H-6	7,79	0,4	4,76	0,81	0,0	0,92	2,62	0,9	33,69	10,36	1,1	11,09	3,67	0,1	3,53	15,97	1,5	9,25
Média	7,54			0,91			2,75			9,11			3,92			13,65		
dp	0,36			0,06			0,59			0,91			0,63			1,65		
CV(%)	4,81			7,13			21,45			10,01			16,05			12,06		

Tabela 37 - Valores médios das propriedades mecânicas das chapas referentes aos tratamentos estudados.

Tratamento- Chapa	MOR (MPa)			MOE (MPa)			TP (MPa)			AP _T (N)			AP _S (N)		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
A-1	22,45	4,5	19,98	2282,23	413,5	18,12	1,54	0,4	28,06	2675,00	3,5	1,32	1500,00	21,2	14,14
A-2	22,94	0,2	0,73	2153,29	12,2	0,56	1,13	0,8	68,13	2775,00	24,7	8,92	1650,00	28,3	17,14
A-3	27,63	2,5	9,23	2518,73	91,2	3,62	1,02	0,1	5,78	2025,00	60,1	29,68	1150,00	0,0	0,00
A-4	22,45	4,8	21,46	2214,70	383,2	17,30	1,40	0,3	19,30	2450,00	0,0	0,00	1225,00	31,8	25,98
A-5	24,14	0,3	1,29	2185,66	179,2	8,20	1,29	0,1	8,34	3075,00	38,9	12,65	1700,00	14,1	8,32
A-6	27,94	2,0	7,14	2471,55	61,6	2,49	0,94	0,5	53,57	2550,00	77,8	30,50	1275,00	10,6	8,32
Média	24,59			2304,36			1,22			2591,67			1416,67		
dp	2,55			154,50			0,23			351,31			232,20		
CV(%)	10,37			6,70			18,92			13,56			16,39		
B-1	28,24	5,9	20,86	2739,81	449,1	16,39	1,43	0,2	16,96	2500,00	42,4	16,97	1350,00	42,4	31,43
B-2	19,30	2,0	10,32	2842,50	78,6	4,26	1,63	0,2	9,98	2450,00	7,1	2,89	1425,00	24,7	17,37
B-3	26,04	7,8	30,09	2422,50	449,8	18,57	1,49	0,6	37,05	2325,00	17,7	7,60	1375,00	10,6	7,71
B-4	24,58	2,3	9,28	2359,94	126,2	5,35	1,68	0,3	19,99	2670,00	38,2	14,30	1325,00	31,8	24,01
B-5	23,64	1,6	6,85	2318,11	75,4	3,25	1,64	0,8	49,31	2500,00	28,3	11,31	1300,00	7,1	5,44
B-6	23,65	2,9	12,18	2541,82	66,1	2,60	1,67	0,8	46,00	2175,00	24,7	11,38	1275,00	38,9	30,50
Média	24,24			2537,45			1,59			2436,67			1341,67		
dp	2,98			213,01			0,11			169,46			54,01		
CV(%)	12,30			8,39			6,63			6,95			4,03		
C-1	26,82	6,9	25,68	2627,35	674,9	25,69	1,58	0,4	23,44	2300,00	14,1	6,15	1375,00	31,8	23,14
C-2	22,16	2,7	12,15	2255,84	213,8	9,48	1,40	0,2	12,18	2650,00	63,6	24,01	1650,00	42,4	25,71

Tratamento- Chapa	MOR (MPa)			MOE (MPa)			TP (MPa)			AP _T (N)			AP _S (N)		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
C-3	20,18	1,2	5,83	1885,04	122,3	6,49	1,65	0,3	17,68	2700,00	70,7	26,19	1925,00	46,0	23,88
C-4	28,34	3,1	11,02	2668,64	197,5	7,40	1,97	0,1	4,08	2875,00	109,6	38,12	1625,00	88,4	54,39
C-5	33,60	0,9	2,60	2968,77	7,9	0,27	1,38	0,2	14,00	2325,00	38,9	16,73	1500,00	0,0	0,00
C-6	24,83	3,5	14,22	2440,27	216,9	8,89	1,24	0,0	2,81	2775,00	10,6	3,82	1575,00	10,6	6,73
Média	25,99			2474,32			1,54			2604,17			1608,33		
dp	4,77			374,65			0,26			238,44			184,16		
CV(%)	18,36			15,14			16,71			9,16			11,45		
D-1	27,36	3,0	11,06	2743,79	263,8	9,62	1,70	0,2	13,73	1950,00	35,4	18,13	1275,00	10,6	8,32
D-2	24,73	2,5	10,21	2231,29	134,0	6,00	1,30	0,0	2,08	2675,00	17,7	6,61	1550,00	35,4	22,81
D-3	30,04	5,3	17,67	2893,97	625,3	21,61	1,62	0,1	4,02	3075,00	17,7	5,75	1500,00	7,1	4,71
D-4	30,63	5,1	16,49	2764,66	257,0	9,29	1,57	0,1	8,69	2750,00	35,4	12,86	1775,00	24,7	13,94
D-5	23,62	2,4	10,16	2409,95	53,6	2,23	1,65	0,0	1,50	2700,00	70,7	26,19	1700,00	63,6	37,44
D-6	21,68	2,0	9,39	2276,71	75,5	3,32	1,90	0,4	19,12	2475,00	31,8	12,86	1450,00	49,5	34,14
Média	26,34			2553,39			1,62			2604,17			1541,67		
dp	3,60			282,05			0,20			374,64			179,35		
CV(%)	13,67			11,05			12,06			14,39			11,63		
E-1	23,29	6,9	29,68	2341,38	634,5	27,10	1,44	0,4	24,33	2750,00	21,2	7,71	1550,00	28,3	18,25
E-2	30,03	1,3	4,24	2770,50	1,1	0,04	1,42	0,2	13,49	1650,00	21,2	12,86	1075,00	3,5	3,29
E-3	26,84	4,1	15,33	2578,86	141,9	5,50	1,73	0,2	13,87	2375,00	46,0	19,35	1525,00	24,7	16,23
E-4	27,54	0,8	2,81	2850,10	200,9	7,05	1,44	0,6	43,70	2400,00	28,3	11,79	1275,00	24,7	19,41
E-5	30,24	0,8	2,71	2693,55	122,9	4,56	0,62	0,0	1,03	2975,00	24,7	8,32	1875,00	24,7	13,20

Tratamento- Chapa	MOR (MPa)			MOE (MPa)			TP (MPa)			AP _T (N)			AP _S (N)		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
E-6	27,21	2,1	7,67	2786,78	498,0	17,87	1,31	0,2	14,53	2425,00	10,6	4,37	1525,00	3,5	2,32
Média	27,52			2670,20			1,33			2429,17			1470,83		
dp	2,54			186,03			0,37			449,84			272,22		
CV(%)	9,21			6,97			28,03			18,52			18,51		
F-1	23,51	1,9	8,27	2312,06	150,8	6,52	1,50	0,1	6,26	2200,00	56,6	25,71	1325,00	60,1	45,36
F-2	30,37	4,2	13,91	2804,36	294,9	10,52	1,43	0,2	13,14	2350,00	7,1	3,01	1200,00	14,1	11,79
F-3	30,36	2,2	7,11	2813,08	204,2	7,26	0,96	0,5	49,29	2275,00	38,9	17,09	1550,00	35,4	22,81
F-4	29,06	4,7	16,21	2736,63	412,4	15,07	1,37	0,4	28,28	2425,00	116,7	48,11	1950,00	0,0	0,00
F-5	28,66	0,6	1,92	2683,81	7,1	0,26	1,59	0,0	0,42	2775,00	3,5	1,27	1775,00	3,5	1,99
F-6	28,33	1,2	4,24	2574,40	92,3	3,59	1,88	0,3	15,47	2400,00	0,0	0,00	1100,00	7,1	6,43
Média	28,38			2654,06			1,45			2404,17			1483,33		
dp	2,54			189,15			0,30			199,64			334,54		
CV(%)	8,93			7,13			20,74			8,30			22,55		
G-1	29,72	3,0	10,20	2652,12	242,1	9,13	1,73	0,3	17,75	3100,00	14,1	4,56	1650,00	42,4	25,71
G-2	35,69	2,0	5,54	3461,02	208,8	6,03	2,22	0,0	1,55	3000,00	0,0	0,00	1350,00	7,1	5,24
G-3	35,12	5,3	15,10	3234,85	482,9	14,93	1,84	0,1	5,62	2225,00	109,6	49,26	1375,00	24,7	18,00
G-4	27,95	2,0	7,13	2936,77	79,9	2,72	1,41	0,0	2,77	2125,00	74,2	34,94	1450,00	14,1	9,75
G-5	21,18	4,8	22,45	2417,89	448,9	18,57	1,96	0,0	0,11	1925,00	67,2	34,90	1675,00	17,7	10,55
G-6	26,56	0,0	0,02	2763,29	16,0	0,58	1,13	0,1	4,81	2550,00	35,4	13,86	1400,00	14,1	10,10
Média	29,37			2910,99			1,71			2487,50			1483,33		
dp	5,48			384,72			0,39			481,34			142,89		

Tratamento- Chapa	MOR (MPa)			MOE (MPa)			TP (MPa)			AP _T (N)			AP _S (N)		
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)
CV(%)	18,66			13,22			22,75			19,35			9,63		
H-1	24,31	3,3	13,62	2597,63	262,1	10,09	1,57	0,5	32,11	2250,00	63,6	28,28	1350,00	21,2	15,71
H-2	26,02	1,4	5,26	2675,79	122,6	4,58	1,80	0,2	9,07	2575,00	53,0	20,60	1300,00	35,4	27,20
H-3	25,87	0,7	2,64	2904,76	33,2	1,14	1,71	0,0	0,00	1750,00	63,6	36,37	1225,00	10,6	8,66
H-4	24,84	0,4	1,71	2543,22	30,6	1,21	1,48	0,3	18,57	2675,00	31,8	11,90	1550,00	35,4	22,81
H-5	35,17	2,7	7,81	3232,67	185,5	5,74	1,68	0,0	0,10	2000,00	28,3	14,14	1450,00	35,4	24,38
H-6	31,62	2,2	6,82	2631,47	208,7	7,93	0,71	0,4	55,56	3225,00	3,5	1,10	1850,00	0,0	0,00
Média	27,97			2764,26			1,49			2412,50			1454,17		
dp	4,40			261,24			0,40			527,43			224,95		
CV(%)	15,71			9,45			26,84			21,86			15,47		

Tabela 38 - Valores médios dos tratamentos B e G submetidos ao ensaio de flexão estática antes e após Envelhecimento Artificial Acelerado.

Tratamento - Chapa	Amostras Não-Envelhecidas						Amostras Envelhecidas <i>in natura</i>		Amostras Envelhecidas Revestidas	
	MOR (MPa)			MOE (MPa)			MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
	Média	DP	CV(%)	Média	DP	CV(%)				
B -1	28,24	5,89	20,86	2739,81	449,12	16,39	-	-	-	-
B-2	19,30	1,99	10,32	1842,50	78,56	4,26	20,83	2291,08	24,18	3130,39
B-3	26,04	7,83	30,09	2422,50	449,81	18,57	23,95	3073,32	33,32	4242,20
B-4	24,58	2,28	9,28	2359,94	126,20	5,35	29,84	3674,14	34,66	4355,13
B-5	23,64	1,62	6,85	2318,11	75,36	3,25	28,22	3770,22	32,95	3843,81
B-6	23,65	2,88	12,18	2541,82	66,14	2,60	25,80	3113,62	34,49	4337,79
Média	24,24			2370,78			25,73	3184,47	31,92	3981,86
DP	2,98			300,03			3,55	591,27	4,39	519,10
CV	12,30			12,66			13,78	18,57	13,74	13,04
G-1	29,72	3,03	10,20	2652,12	242,07	9,13	-	-	-	-
G-2	35,69	1,98	5,54	3461,02	208,84	6,03	32,37	3418,18	40,80	4043,24
G-3	35,12	5,30	15,10	3234,85	482,95	14,93	35,38	3871,73	36,11	3924,40
G-4	27,95	1,99	7,13	2936,77	79,90	2,72	26,33	3278,50	30,66	3796,26
G-5	21,18	4,75	22,45	2417,89	448,89	18,57	30,37	3235,59	20,80	2768,26
G-6	26,56	0,01	0,02	2763,29	15,99	0,58	26,89	3475,54	32,30	3140,73
Média	29,37			2910,99			30,27	3455,91	32,13	3534,58
DP	5,48			384,72			3,79	252,35	7,44	552,62
CV	18,66			13,22			12,52	7,30	23,16	15,63

APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Tabela 39 - Análise de variância – variável Teor de Umidade (%)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	2,17600833	24,26	<,0001
Adesivo	1	1,62067500	18,07	0,0001
Partículas*Adesivo	1	0,01400833	0,16	0,6948
Tempo Prensagem	1	0,01613333	0,18	0,6738
Partículas*Tempo Prensagem	1	0,00750000	0,08	0,7740
Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,07363333	0,82	0,3703
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,02083333	0,23	0,6325

Tabela 40 - Análise de variância – variável Densidade (g/cm³)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	0,00775208	2,93	0,0949
Adesivo	1	0,00285208	1,08	0,3057
Partículas*Adesivo	1	0,00316875	1,20	0,2807
Tempo Prensagem	1	0,00541875	2,05	0,1605
Partículas*Tempo Prensagem	1	0,00035208	0,13	0,7174
Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,00880208	3,32	0,0758
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,01366875	5,16	0,0286

Tabela 41 - Análise de variância – variável Inchamento em Espessura – 2 horas (%)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	3,33907500	6,99	0,0117
Adesivo	1	8,77230000	18,36	0,0001
Partículas*Adesivo	1	0,18500833	0,39	0,5373
Tempo Prensagem	1	0,60750000	1,27	0,2662
Partículas*Tempo Prensagem	1	0,00187500	0,00	0,9504
Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,00030000	0,00	0,9801
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,08840833	0,19	0,6694

Tabela 42 - Análise de variância – variável Inchamento em Espessura – 24 horas (%)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	0,00007304	0,00	0,9650
Adesivo	1	1,25348029	33,53	<,0001
Partículas*Adesivo	1	0,00421775	0,11	0,7387
Tempo Prensagem	1	0,00000602	0,00	0,9899
Partículas*Tempo Prensagem	1	0,05542419	1,48	0,2305
Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,01591015	0,43	0,5179
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,00397770	0,11	0,7460

Tabela 43 - Análise de variância – variável Absorção de Água – 2 horas (%)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	26,55187500	17,65	0,0001
Adesivo	1	16,89813333	11,23	0,0018
Partículas*Adesivo	1	0,03853333	0,03	0,8736
Tempo Prensagem	1	3,78563333	2,52	0,1205
Partículas*Tempo Prensagem	1	0,25230000	0,17	0,6843
Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,50840833	0,34	0,5642
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	2,91067500	1,94	0,1719

Tabela 44 - Análise de variância – variável Absorção da Água – 24 horas (%)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	123,8740021	21,74	<,0001
Adesivo	1	183,5745188	32,22	<,0001
Partículas*Adesivo	1	1,7518521	0,31	0,5823
Tempo Prensagem	1	22,2905021	3,91	0,0549
Partículas*Tempo Prensagem	1	0,7475021	0,13	0,7191
Adesivo*Tempo Prensagem	1	9,6033521	1,69	0,2016
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	17,7268521	3,11	0,0854

Tabela 45 - Análise de variância – variável MOR (MPa)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	109,5052083	7,73	0,0082
Adesivo	1	18,25333333	1,29	0,2631
Partículas*Adesivo	1	3,1930083	0,23	0,6376
Tempo Prensagem	1	0,2160083	0,02	0,9023
Partículas*Tempo Prensagem	1	0,2241333	0,02	0,9005
Adesivo*Tempo Prensagem	1	1,8018750	0,13	0,7233
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	6,5712000	0,46	0,4998

Tabela 46 - Análise de variância – variável MOE (MPa)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	1260966,192	16,26	0,0002
Adesivo	1	371256,300	4,79	0,0346
Partículas*Adesivo	1	1,868	0,00	0,9961
Tempo Prensagem	1	226,418	0,00	0,9572
Partículas*Tempo Prensagem	1	71318,272	0,92	0,3433
Adesivo*Tempo Prensagem	1	10432,088	0,13	0,7157
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	15390,780	0,20	0,6584

Tabela 47 - Análise de variância – variável Tração Perpendicular (MPa)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	0,00025208	0,00	0,9578
Adesivo	1	0,45046875	5,07	0,0300
Partículas*Adesivo	1	0,00421875	0,05	0,8287
Tempo Prensagem	1	0,09810208	1,10	0,2999
Partículas*Tempo Prensagem	1	0,22825208	2,57	0,1170
Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,30241875	3,40	0,0726
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	0,00350208	0,04	0,8437

Tabela 48 - Análise de variância – variável Arrancamento de Parafusos (topo)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	190008,3333	1,38	0,2470
Adesivo	1	45633,3333	0,33	0,5680
Partículas*Adesivo	1	9633,3333	0,07	0,7927
Tempo Prensagem	1	48768,7500	0,35	0,5551
Partículas*Tempo Prensagem	1	2268,7500	0,02	0,8985
Adesivo*Tempo Prensagem	1	8268,7500	0,06	0,8077
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	31518,7500	0,23	0,6349

Tabela 49 - Análise de variância – variável Arrancamento de Parafuso (superfície)

Combinação dos Fatores	DF	Mean Square	F Value	Pr > F
Partículas	1	208,3333	0,00	0,9475
Adesivo	1	105468,7500	2,22	0,1440
Partículas*Adesivo	1	125052,0833	2,63	0,1125
Tempo Prensagem	1	18802,0833	0,40	0,5328
Partículas*Tempo Prensagem	1	11718,7500	0,25	0,6221
Adesivo*Tempo Prensagem	1	833,3333	0,02	0,8953
Partículas*Adesivo*Tempo Prensagem	1	1875,0000	0,04	0,8435