

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana),
Dipteryx odorata (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na
produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à
base de óleo da mamona

MIRIAN DAYSE FURTADO LIMA

MANAUS
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana),
Dipteryx odorata (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na
produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à
base de óleo da mamona

MIRIAN DAYSE FURTADO LIMA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, COMO
REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

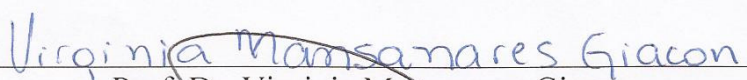
MANAUS
2012

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA ESPÉCIE *DIPTERYX POLYPHYLLA* (CUMARURANA), *DIPTERYX ODORATA* (CUMARU) E *BROSIMUM PARINARIOIDES* (AMAPÁ) NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA COM RESINA POLIURETANA À BASE DE ÓLEO DA MAMONA

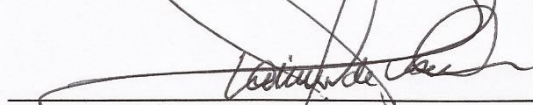
Mírian Dayse Furtado Lima

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (PPGEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU EM MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL

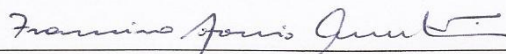
Aprovada em 06 de julho de 2012.



Prof. Dr. Virginia Mansanares Giacon
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos
Universidade Federal do Amazonas



Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr
Universidade de São Paulo

Ficha Catalográfica
(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Lima, Mirian Dayse Furtado

L732u

Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana), *Dipteryx odorata* (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona / Mirian Dayse Furtado Lima. - Manaus: UFAM, 2012.

122 f.; il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Amazonas, 2012.

Orientadora: Virginia Mansanares Giacon

1. Resíduos de madeira 2. Painéis aglomerados 3. Madeira – Propriedades físico-mecânicas I. Giacon, Virginia Mansanares (Orient.) II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

CDU 674.812-419.3(043.3)

Aos meus queridos pais pelo amor incondicional
e meu amado esposo Euler pelo incentivo constante
à realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS por tudo que me tem proporcionado: saúde, sabedoria, entendimento e perseverança.

A Prof. Dra. Virginia Mansanares Giacon, orientadora desta dissertação, por todo empenho e exigência, orientação, atenção dedicada, compreensão, ensinamentos, amizade e incentivo.

Ao prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos pelo incentivo para o ingresso na carreira acadêmica, pelas orientações adquiridas, pela amizade e preocupação.

Ao Prof. Dr. Raimundo Kennedy Vieira por ter contribuído para o desenvolvimento desta pesquisa, através de recursos de projetos para realização das análises em laboratório.

Aos pesquisadores do INPA, em especial, Dra. Maria de Jesus Coutinho Varejão, a Dra. Claudete Catanhede do Nascimento, ao Dr. Basílio Vianez, a técnica química Irineide e o doutorando Cristiano pelos ensinamentos repassados, pelo incentivo à pesquisa e pela amizade construída.

À empresa Madeiras Preciosas Ltda, por ter doado o material necessário ao desenvolvimento desta pesquisa.

Ao LaMEM – Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira da USP/ São Carlos pela oportunidade de produzir os painéis e realizar os ensaios físicos e mecânicos desta dissertação. Agradeço em especial ao Prof. Dr. Carlito Calil Jr. e Prof. Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr pela oportunidade de conhecer a USP, pelos auxílios, ensinamentos e incentivo aos estudos.

A pesquisadora Dra. Maria Fátima Nascimento (Fatí) pela sabedoria, atenção, pela simplicidade em passar seus conhecimentos, pela dedicação, incentivo e amizade.

Aos técnicos do LaMEM pelo auxílio constante na execução do trabalho, em especial: Cido, Jaime, Arnaldo, Sílvio e Roberto.

Ao IQSC – Instituto de Química de São Carlos representado pelo Prof. Dr. Antônio Aprígio da Silva Curvelo que proporcionou a realização dos ensaios químicos.

A minha querida amiga Marília Bertolini pela companhia, amizade, carinho, ensinamentos.

Aos amigos da UFAM em especial: Rejane, Edsandra, Maria Gorett, Patrícia, Natasha, Luzia e Rosinaldo pela amizade e momentos de descontração.

À UFAM ao apoio logístico fornecido durante o período desta pesquisa. Agradeço a todos os profissionais da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) que ajudaram no decorrer deste trabalho.

A CAPES e PRÓ-ENGENHARIA pelo auxílio à realização desta pesquisa, com o auxílio de bolsa, garantindo-me sustento financeiro.

Resumo da Dissertação apresentada à PPGEC/UFAM como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil (M.Sc.)

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA ESPÉCIE *DIPTERYX POLYPHYLLA* (CUMARURANA), *DIPTERYX ODORATA* (CUMARU) E *BROSIMUM PARINARIOIDES* (AMAPÁ) NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA COM RESINA POLIURETANA À BASE DE ÓLEO DA MAMONA

Mírian Dayse Furtado Lima

Jul/ 2012

Orientadora: Virginia Mansanares Giacon

Programa: Engenharia Civil

O processamento da madeira em indústrias madeireiras gera um aproveitamento de cerca de 40% do volume total das toras processadas, sendo que o restante, ou seja, 60% são utilizados em caldeiras e olarias para a geração de energia elétrica, principalmente em alguns locais da região Norte. No entanto, com a queima desses resíduos de madeira há a geração de outro resíduo, as cinzas, cuja destinação é o aterro. Este trabalho apresenta um estudo sobre o potencial uso de três tipos de resíduos de madeiras tropicais, Cumarurana (*dipteryx polyphylla*), Cumaru (*Dipteryx odorata*) e Amapá (*Brosimum parinariensis*), na produção de painéis aglomerados, utilizando resina poliuretana à base de óleo de mamona, como aglomerante. Fez-se a caracterização química e física dos resíduos baseadas na norma TAPPI. Na primeira etapa, painéis com resíduos de Cumarurana (1000 e 1300 g) foram produzidos mantendo o teor de resina em 15 %. Os resultados mecânicos desses painéis foram abaixo dos requisitos exigidos pela Norma NBR ABNT 14810-2 (2006). Na segunda etapa os painéis de Cumaru e Amapá foram produzidos seguindo planejamento fatorial, em diferentes condições

de quantidade de resíduo (1000 a 1500g) e teor de resina (10 a 15%) e estes foram caracterizados através de ensaios físicos e mecânicos baseados na norma NBR ABNT 14810-3 (2006). Para os painéis de Cumaru, o planejamento fatorial mostrou que o resíduo é um fator significativo (95% confiança) no seu nível máximo (1500g) para aumentar a razão de compactação. Análises mecânicas (MOR, MOE e Arrancamento de Parafuso na Face) mostraram que tanto o resíduo quanto a resina são fatores significativos nos níveis estudados, indicando que maiores valores são obtidos em níveis mais altos (1500 g e 15%). Para todos esses ensaios os valores obtidos em painéis de 1500 g estão de acordo com os padrões normativos. Para os painéis com resíduo de Amapá, através do planejamento experimental, observou-se que o resíduo e resina são fatores significativos, quando a variável resposta é MOR e MOE, indicando que melhores resultados mecânicos são obtidos utilizando maior quantidade de resíduo. Porém, apenas os resultados de MOR, para painéis a 1300 g e 1500 g a 15% apresentaram-se acima dos requisitos normativos. Os testes de adesão interna apresentaram-se dentro dos padrões normativos, tanto para painéis de Cumaru quanto para Amapá.

Palavras-chave: Resíduos de madeira, painéis aglomerados, resina poliuretana, propriedades físico-mecânicas.

Abstract of Dissertation presented to PPGEC/UFAM as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science of Civil Engineering (M.Sc.)

USE OF WASTE SPECIES *DIPTERYX POLYPHYLLA* (CUMARURANA), *DIPTERYX ODORATA* (CUMARU) AND *BROSIMUM PARINARIOIDES* (AMAPÁ) IN THE PRODUCTION OF PARTICLEBOARDS WITH CASTOR OIL BASED POLYURETHANE ADHESIVE

Mírian Dayse Furtado Lima

Jul/ 2012

Oriente: Virginia Mansanares Giacon

The wood processing industries use generates a timber of about 40% of the total volume of the processed timber, and the remainder in other words 60% are used in boilers and brickworks for a power generation, especially in some areas of North. However, the burning of waste wood there generating other residue, ash, whose destination is a landfill. This paper presents a study on the potential use of three types of tropical wood waste, Cumarurana (*Dipteryx polyphylla*), Cumaru (*Dipteryx odorata*) and Amapá (*Brosimum parinariensis*), the production of particleboard, using polyurethane resin based on castor oil as a binder. There was a chemical and physical characterization of the waste based on TAPPI standard. In the first stage waste Cumarurana panels (1000 and 1300 g) were produced by keeping the resin content 15%. The mechanical results of these panels were below the requirements of the NBR ABNT 14810-2 (2006). In the second stage panels Cumaru and Amapá were produced according to a factorial design, in different conditions of amount of residue (1000 to 1500g) and content of resin (10-15%) and these were characterized by tests based on the physical and

mechanical standard NBR ABNT 14810-3 (2006). For panels Cumaru, the factorial design showed that the waste is a significant factor (95% confidence) at its maximum level (1500g) to increase the compaction ratio. Mechanical analysis (MOR, MOE and Face Screw) showed that both the residue and the resin are significant factors in the levels studied indicating that higher values are obtained at higher levels (1500 g, 15%). For all these tests the values obtained in 1500 g of panels are in accordance with normative standards. For the panels with waste Amapá by the experimental design, it was observed that the residue and the resin are significant factors, when the response variable and MOE and MOR, indicating that the best results are obtained using mechanical greater amount of waste. However, only the results of MOR for panels 1300 and 1500 g a 15% were above of the normative requirements. The internal adhesion tests were within the normative standards for both panels Cumaru and Amapá.

Keywords: Waste wood, particleboard, polyurethane resin, physical and mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aspectos anatômicos da madeira. Espécie (a) conífera; (b) folhosa.....	5
Figura 2: Estrutura macroscópica do tronco de madeira.	5
Figura 3: Estrutura macroscópica do tronco de madeira.	7
Figura 4: Fórmula dos açúcares componentes das hemiceluloses.....	8
Figura 5: Fórmula dos açúcares componentes das hemiceluloses.....	10
Figura 6: (a e b) Resíduos de madeira descartados na indústria madeireira.....	12
Figura 7: (a) Pulverizador Marconi MAU 48; (b) Material moído a 60 mesh.	23
Figura 8: (a) Preparação do material para medição do teor de umidade no equipamento OHAUS MB 200; (b) Medição do peso úmido.....	24
Figura 9: (a) Estufa de secagem e esterilização FANEM, modelo 315 SE; (b) Amostras a serem analisadas para cálculo da densidade básica.	25
Figura 10: (a) Pesagem das amostras em duplicata para extração soxhlet; (b) Extração em duplicata do resíduo.....	26
Figura 11: (a) Amostras nos cadinhos para determinação do teor de cinzas; (b) Mufla utilizada nos ensaios para determinação do teor de cinzas.	27
Figura 12: (a) Almofariz com 1g do resíduo; (b) Resíduo com H ₂ SO ₄ 72%; (c) Mistura no balão de 1L com água destilada em refluxo.	28
Figura 13: Espectrofotômetro V-630 Jasco.	29
Figura 14: (a) Pulverizador Marconi MAU 48; (b) Material moído a 60 mesh.	30
Figura 15: Amostras sendo pesadas para análise do teor de umidade; (a) Cumaru; (b) Amapá.	30
Figura 16: Amostras sendo saturadas e dimensionadas com paquímetro digital para análise da densidade básica; (a) Cumaru; (b) Amapá; (c) Amostras sendo dimensionadas.	31
Figura 17: (a) Amostras sendo pesadas para extração em solvente orgânico; (b) Extração em triplicata dos resíduos em solvente orgânico.....	31
Figura 18: (a) Mufla em que foi feita a queima dos resíduos; (b) Amostras em triplicata dos resíduos após a queima.	32
Figura 19: Etapas para a análise do Teor de lignina insolúvel. (a) Amostra de Cumaru sob agitação magnética em ácido sulfúrico a 72%; (b) Amostras em refluxo com a água; (c)	

Amostra sendo filtrada em cadinho sinterizado de média porosidade; (d) Amostras em estufa.	32
Figura 20: (a) Diluição do filtrado da lignina Klason para análise da lignina solúvel em espectrômetro; (b) Inserção das amostras diluídas em frascos apropriados; (c) Espectrômetro para análise de lignina solúvel.....	33
Figura 21: (a) Cromatógrafo para análise de celuloses e hemiceluloses; (b) Amostras dos resíduos para análise cromatográfica.....	33
Figura 22: (a) Triturador de resíduos TR 500 (b); resíduos de Cumaru triturados (c); resíduos de Amapá triturados.....	34
Figura 23: (a) Resíduo sendo moído em Moinho Marconi MA 680; (b) Resíduo moído à 40 mesh.....	34
Figura 24: (a) Aplicação da resina de mamona; (b) Poliól 25040 à base de óleo de mamona; (c) Pré-polímero A249.....	35
Figura 25: (a) Início da conformação das partículas na fôrma; (b) Partículas conformadas na fôrma.....	36
Figura 26: Pré-prensagem das partículas.....	36
Figura 27: (a) Partículas sendo preparadas para prensagem; (b) Prensagem das partículas de aglomerados.....	37
Figura 28: Painéis em processo de cura (a) Cumaru; (b) Amapá.....	37
Figura 29: (a) Acabamento dos corpos-de-prova; (b, c, d e e) Corpos-de-prova cortados com as dimensões adequadas para cada teste.....	38
Figura 30: (a) Corpos-de-prova de Cumaru para análise de densidade básica; (b) Pontos de medição nos corpos-de-prova.....	39
Figura 31: Teor de Umidade. (a) Corpos-de-prova de Amapá; (b) Corpos-de-prova de Cumaru; (c) Corpos-de-prova em estufa.....	40
Figura 32: Corpos-de-prova de Amapá e Cumaru imersos em água para testes de absorção e inchamento, respectivamente.....	41
Figura 33: Corpos-de-prova (a) antes; (b) Durante o ensaio de Flexão estática; (c) Após o ensaio, corpo-de-prova rompido.....	42
Figura 34: Corpos-de-prova (a) antes; (b) Durante o ensaio, corpo-de-prova se rompendo....	43
Figura 35: Corpo-de-prova de Amapá em ensaio de arrancamento de parafuso.....	44
Figura 36: Condições de processo para o planejamento experimental.....	45

Figura 37: Análise em espectrofotômetro de ultravioleta detectado nas amostras em duplicata de Cumarurana.....	49
Figura 38: Análise em espectrofotômetro de ultravioleta detectado nas amostras em triplicata, mas devido a algum erro no programa, não foi possível mostrar o nível da curva da 3ª amostra da espécie Cumaru.....	54
Figura 39: Análise em espectrofotômetro de ultravioleta detectado nas amostras em triplicata da espécie Amapá.....	55
Figura 40: Resultado comparativo da densidade aparente nos painéis de Cumarurana.....	57
Figura 41: Teor de Umidade nos painéis de Cumarurana.....	58
Figura 42: Resultados dos testes de inchamento em 2 horas com painéis de Cumarurana.....	59
Figura 43: Resultados dos testes de inchamento em 24 horas com painéis de Cumarurana....	59
Figura 44: Resultado comparativo de absorção de água em 2 horas nos painéis de Cumarurana.....	60
Figura 45: Resultado comparativo de absorção de água em 24 horas nos painéis de Cumarurana.....	61
Figura 46: Resultados das análises de MOR dos painéis com 1000g e 1300g de resíduos de Cumarurana.....	61
Figura 47: Resultado do módulo de elasticidade nos painéis de Cumarurana.....	62
Figura 48: Resultado de arrancamento de parafuso nos painéis de Cumarurana.....	63
Figura 49: Resultado comparativo dos testes de tração perpendicular ou adesão interna nos painéis de Cumarurana.....	64
Figura 50: Curvas de nível para a variável resposta densidade aparente dos painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	67
Figura 51: Curvas de nível para a variável resposta RC dos painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	69
Figura 52: Curvas de nível para a variável resposta teor de umidade painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%)......	71
Figura 53: Curvas de nível para a variável resposta inchamento em 2 horas em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	74

Figura 54: Curvas de nível para a variável resposta inchamento em 24 horas em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	75
Figura 55: Curvas de nível para a variável resposta absorção em 2 horas em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	77
Figura 56: Curvas de nível para a variável resposta absorção em 24 horas em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	79
Figura 57: Curvas de nível para a variável resposta MOR em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	81
Figura 58: Curvas de nível para a variável resposta MOE em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	83
Figura 59: Curvas de nível para a variável resposta arrancamento de parafuso em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	85
Figura 60: Curvas de nível para a variável resposta adesão interna em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	87
Figura 61: Curvas de nível para a variável resposta densidade aparente dos painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	88
Figura 62: Curvas de nível para a variável resposta Razão de Compactação dos painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	92
Figura 63: Curvas de nível para a variável resposta Teor de Umidade painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	94
Figura 64: Curvas de nível para a variável resposta inchamento em 2 horas em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	96
Figura 65: Curvas de nível para a variável resposta inchamento em 24 horas em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	98

Figura 66: Curvas de nível para a variável resposta absorção em 2 horas em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	100
Figura 67: Curvas de nível para a variável resposta absorção em 24 horas em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).....	102
Figura 68: Curvas de nível para a variável resposta MOR em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	104
Figura 69: Curvas de nível para a variável resposta MOE em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	106
Figura 70: Curvas de nível para a variável resposta arrancamento de parafuso em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).	108
Figura 71: Curvas de nível para a variável resposta adesão interna em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).....	110

LISTA DE QUADROS

Quadros 1: Composição percentual da madeira.	7
Quadros 2: Diferenças básicas entre celulose e hemiceluloses.	9
Quadros 3: Materiais utilizados para a pesquisa e fornecedores.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de resíduos e resina utilizados para confecção dos painéis aglomerados de Cumarurana na 1ª Etapa.....	22
Tabela 2: Quantidade de resíduos e resina utilizados para confecção dos painéis aglomerados de Cumaruru e Amapá na 2ª Etapa.	23
Tabela 3: Resultados de densidade básica da Cumarurana.	46
Tabela 4: Resultados do teor de cinzas da Cumarurana.	47
Tabela 5: Resultados de teor de extrativos orgânicos da Cumarurana.	48
Tabela 6: Resultados de teor de Lignina Klason Cumarurana (CA1 e CA2).....	48
Tabela 7: Resultados de teor de Lignina Solúvel Cumarurana (CA1 e CA2).....	49
Tabela 8: Resultados de teores de celulose e hemiceluloses da Cumarurana.	50
Tabela 9: Resultados da densidade básica Cumaruru (C1 a C3) e Amapá (A1 a A3).....	51
Tabela 10: Resultados do ensaio de teor de cinzas Cumaruru e Amapá.	52
Tabela 11: Resultados do teor de extrativos orgânicos Cumaruru e Amapá.	53
Tabela 12: Resultados do teor de lignina Klason Cumaruru (C1, C2 e C3) e Amapá (A1, A2 e A3).....	53
Tabela 13: Resultados do teor de lignina Solúvel Cumaruru (C1, C2 e C3) e Amapá (A1, A2 e A3).....	54
Tabela 14: Resultados de teores de celulose e hemiceluloses do Cumaruru.	55
Tabela 15: Resultados de teores de celulose e hemiceluloses do Amapá.	56
Tabela 16: RC dos painéis de Cumarurana.	57
Tabela 17: Fatores e níveis de planejamento fatorial 2^2+1	64
Tabela 18: Média das densidades aparente dos painéis de Cumaruru.	65
Tabela 19: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – densidade aparente Cumaruru; $R^2= 0,88$ ^{II}	65
Tabela 20: Resultados na ANOVA ^V para a variável densidade aparente Cumaruru com $R^2=0,88$	66
Tabela 21: RC dos painéis aglomerados de Cumaruru.	68

Tabela 22: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável resposta – RC Cumarú; $R^2= 0,87$ ^{II} .	68
Tabela 23: Resultados na ANOVA ^V para a variável RC Cumarú com $R^2=0,87$.	69
Tabela 24: Média do teor de umidade dos painéis de Cumarú.	70
Tabela 25: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – teor de umidade Cumarú; $R^2= 0,81$ ^{II} .	70
Tabela 26: Resultados na ANOVA ^V para a variável teor de umidade Cumarú com $R^2=0,81$.	71
Tabela 27: Média do inchamento em água 2 e 24 horas dos painéis de Cumarú.	72
Tabela 28: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – inchamento de espessura em água 2 horas Cumarú; $R^2= 0,19$ ^{II} .	73
Tabela 29: Resultados na ANOVA ^V para a variável inchamento em água 2 horas Cumarú com $R^2=0,19$.	73
Tabela 30: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – inchamento em água 24 horas Cumarú; $R^2= 0,82$ ^{II} .	74
Tabela 31: Resultados na ANOVA ^V para a variável inchamento em água 24 horas Cumarú com $R^2=0,82$.	75
Tabela 32: Média da absorção em água 2 e 24 horas dos painéis de Cumarú.	76
Tabela 33: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – absorção em 2 horas Cumarú; $R^2=0,48$ ^{II} .	76
Tabela 34: Resultados na ANOVA ^V para a variável absorção em água 2 horas Cumarú com $R^2=0,48$ ^{II} .	77
Tabela 35: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – absorção em 24 horas Cumarú; $R^2=0,99$ ^{II} .	78
Tabela 36: Resultados na ANOVA ^V para a variável absorção em água 24 horas Cumarú com $R^2=0,99$ ^{II} .	78
Tabela 37: Média do MOR dos painéis de Cumarú.	80
Tabela 38: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – MOR Cumarú; $R^2=0,89$ ^{II} .	80
Tabela 39: Resultados na ANOVA ^V para a variável MOR Cumarú com $R^2=0,89$ ^{II} .	81
Tabela 40: Média do MOE dos painéis de Cumarú.	82
Tabela 41: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – MOE Cumarú; $R^2= 0,88$ ^{II} .	82

Tabela 42: Resultados na ANOVA ^V para a variável MOE Cumaru com $R^2=0,88$ ^{II}	83
Tabela 43: Média do arrancamento de parafuso dos painéis de Cumaru.	84
Tabela 44: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – arrancamento de parafuso Cumaru; $R^2= 0,99$ ^{II}	84
Tabela 45: Resultados na ANOVA ^V para a variável arrancamento de parafuso Cumaru com $R^2=0,99$ ^{II}	85
Tabela 46: Média de adesão interna dos painéis de Cumaru.....	86
Tabela 47: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – adesão interna Cumaru; $R^2= 0,069$ ^{II}	86
Tabela 48: Resultados na ANOVA ^V para a variável adesão interna Cumaru com $R^2=0,069$ ^{II}	87
Tabela 49: Média das densidades aparente dos painéis de Amapá.	88
Tabela 50: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – densidade aparente Amapá; $R^2= 0,88$ ^{II}	89
Tabela 51: Resultados na ANOVA ^V para a variável densidade aparente Amapá com $R^2=0,88$	89
Tabela 52: RC dos painéis aglomerados de Amapá.	90
Tabela 53: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – RC Amapá; $R^2= 0,87$ ^{II}	91
Tabela 54: Resultados na ANOVA ^V para a variável RC Amapá com $R^2=0,87$	91
Tabela 55: Média do teor de umidade dos painéis de Amapá.	92
Tabela 56: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – teor de umidade Amapá; $R^2=0,52$ ^{II}	93
Tabela 57: Resultados na ANOVA ^V para a variável teor de umidade Amapá com $R^2=0,52$. .	93
Tabela 58: Média do inchamento de espessura em água 2 e 24 horas dos painéis de Amapá.	95
Tabela 59: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – inchamento em água 2 horas Amapá; $R^2=0,99$ ^{II}	95
Tabela 60: Resultados da ANOVA ^V para a variável inchamento em água 2 horas Amapá com $R^2=0,99$ ^{II}	96
Tabela 61: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – inchamento em água 24 horas Amapá; $R^2=0,99$ ^{II}	97

Tabela 62: Resultados na ANOVA ^V para a variável inchamento em água 24 horas Amapá com $R^2=0,99$ ^{II}	97
Tabela 63: Média da absorção em água 2 e 24 horas dos painéis de Amapá.....	99
Tabela 64: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – absorção em 2 horas Amapá; $R^2=0,96$ ^{II}	99
Tabela 65: Resultados na ANOVA ^V para a variável absorção em água 2 horas Amapá com $R^2=0,96$ ^{II}	100
Tabela 66: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – absorção em 24 horas Amapá; $R^2=0,96$ ^{II}	101
Tabela 67: Resultados na ANOVA ^V para a variável absorção em água 24 horas Amapá com $R^2=0,96$ ^{II}	101
Tabela 68: Média do MOR dos painéis de Amapá.....	103
Tabela 69: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – MOR Amapá; $R^2=0,75$ II.	103
Tabela 70: Resultados na ANOVA ^V para a variável MOR Amapá com $R^2=0,75$ ^{II}	103
Tabela 71: Média do MOE dos painéis de Amapá.....	105
Tabela 72: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – MOE Amapá; $R^2=0,63$ ^{II}	105
Tabela 73: Resultados na ANOVA ^V para a variável MOE Amapá com $R^2=0,63$ ^{II}	105
Tabela 74: Média do arrancamento de parafuso dos painéis de Amapá.	107
Tabela 75: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – arrancamento de parafuso Amapá; $R^2=0,95$ ^{II}	107
Tabela 76: Resultados na ANOVA ^V para a variável arrancamento de parafuso Amapá com $R^2=0,95$ ^{II}	107
Tabela 77: Média da adesão interna dos painéis de Amapá.....	109
Tabela 78: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – adesão interna Amapá; $R^2=0,98$ ^{II}	109
Tabela 79: Resultados na ANOVA ^V para a variável adesão interna Amapá com $R^2=0,98$ ^{II}	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
ANSI	American National Standard Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
Db	Densidade Básica
D _M	Densidade da Madeira
D _P	Densidade do Painel
INPA	Instituto de Pesquisas da Amazônia
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MF	Melamina formaldeído
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
NBR	Norma Brasileira Registrada
nm	Nanômetro
POM	Pequenos Objetos de Madeira
PU _s	Poliuretanas
RC	Razão de Compactação
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry
UF	Uréia-formaldeído
US/VIS	Ultravioleta Visível
vs.	Versus

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Objetivos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Madeira.....	4
2.1.1 Anatomia da madeira.....	4
2.1.2 Composição química, componentes majoritários e minoritários da madeira.....	6
2.1.2.1 Composição química (Estrutura molecular).....	6
2.1.2.2 Componentes majoritários (macromoleculares).....	7
2.1.3 Componentes minoritários.....	11
2.1.3.1 Extrativos e substâncias minerais	11
2.2 Aplicações da Madeira	11
2.2.1 Resíduos de madeira.....	11
2.2.2 Cumarurana (<i>Dipteryx polyphylla</i>)(Huber) Ducke Fabaceae.....	13
2.2.3 Cumaru (<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd-Fabaceae – Leguminosae Papilionoideae)....	13
2.2.4 Amapá (<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke – Moraceae).....	14
2.2.5 Painéis à base de madeira	15
2.2.5.2 Chapas de fibra	16
2.2.5.3 Compensados.....	16
2.2.5.4 Painéis aglomerados (MDP).....	16
2.3 Resinas sintéticas utilizadas na produção de painéis de madeira	18
2.3.1 Uréia-formaldeído (UF).....	18
2.3.2 Fenol-formaldeído (FF)	19
2.3.3 Melamina-formaldeído (MF).....	19

2.3.4. Resorcina-formaldeído (RF).....	19
2.4 Resinas naturais utilizadas na produção de painéis de madeira	19
2.4.1 Tanino-formaldeído (TF).....	19
2.4.2 Adesivo à base de farinha da soja, livre de formaldeído	20
2.4.3 Resina poliuretana à base de mamona.....	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 Materiais	21
3.2 Métodos	22
3.2.1 Caracterização do resíduo de Cumarurana na 1ª Etapa: Análises físicas e químicas.....	23
3.2.2 Caracterização dos resíduos de Cumaru e Amapá na 2ª Etapa: Análises físicas e químicas.....	30
3.2.3 Produção de placas	34
3.2.3.1 Preparação dos resíduos	34
3.2.3.2 Aplicação do adesivo.....	35
3.2.3.3 Formação do colchão.....	35
3.2.3.4 Pré-prensagem	36
3.2.3.5 Prensagem.....	36
3.2.3.6 Tempo de Polimerização	37
3.2.3.7 Acabamento	37
3.2.4 Caracterização dos painéis: Análise física e mecânica.....	38
3.2.5 Análise estatística	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1 Caracterização de Resíduos	46
4.1.1 Ensaio físicos com os resíduos de Cumarurana.....	46
4.1.2 Ensaio químicos com os resíduos de Cumarurana.....	47
4.1.2.1 Teor de cinzas.....	47
4.1.2.2 Extrativos orgânicos	47

4.1.2.3 Lignina Klason (insolúvel) e solúvel.....	48
4.1.2.4 Teor de Celulose e Hemiceluloses.....	50
4.2 Ensaio físico com os resíduos de Cumaru e Amapá.....	50
4.2.1 Ensaio químico com os resíduos de Cumaru e Amapá.....	52
4.2.1.1 Teor de cinzas.....	52
4.2.1.2 Extrativos orgânicos.....	53
4.2.1.3 Lignina Klason (insolúvel) e solúvel.....	53
4.2.1.4 Teor de Celulose e Hemiceluloses – Cumaru e Amapá.....	55
4.3 Caracterização dos Painéis de Cumarurana.....	56
4.3.1 Ensaio físico.....	56
4.3.1.1 Densidade aparente.....	56
4.3.1.2 Razão de compactação (RC).....	57
4.3.1.3 Teor de umidade.....	58
4.3.1.4 Inchamento em água.....	58
4.3.1.5 Absorção em água.....	60
4.4 Ensaio mecânico preliminar.....	61
4.4.1 Módulo de ruptura (MOR).....	61
4.4.2 Módulo de elasticidade (MOE).....	62
4.4.3 Arrancamento de parafuso.....	63
4.4.4 Adesão interna ou tração perpendicular.....	64
4.5 Planejamento experimental - Ensaio físico dos painéis de Cumaru e Amapá na 2ª Etapa	
64	
4.5.1 Painéis de Cumaru.....	65
4.5.1.1 Densidade aparente.....	65
4.5.1.2 Razão de Compactação (RC).....	67
4.5.1.3 Teor de Umidade.....	70
4.5.1.4 Inchamento de Espessura em água 2 e 24 horas.....	72

4.5.1.5 Absorção em água 2 e 24 horas	76
4.5.1.6 Módulo de Ruptura (MOR)	79
4.5.1.7 Módulo de Elasticidade (MOE).....	82
4.5.1.8 Arrancamento de parafuso	84
4.5.1.9 Adesão Interna	86
4.5.2 Painéis de Amapá	88
4.5.2.1 Densidade Aparente.....	88
4.5.2.2 Razão de Compactação (RC).....	90
4.5.2.3 Teor de Umidade	92
4.5.2.4 Inchamento de Espessura em água 2 e 24 horas.....	94
4.5.2.5 Absorção de água em 2 e 24 horas	98
4.5.2.6 Módulo de Ruptura (MOR)	102
4.5.2.7 Módulo de Elasticidade (MOE).....	104
4.5.2.8 Arrancamento de parafuso	106
4.5.2.9 Adesão interna	108
5 CONCLUSÃO.....	111
5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
REFERÊNCIAS	114

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Dentre os vários tipos de espécies de madeira encontradas na região amazônica, podemos citar o Cumaru-verdadeiro, a Cumarurana e o Amapá que são espécies nobres. O Cumaru-verdadeiro da espécie *dipteryx odorata* é uma árvore grande, nativa da floresta primária de terra firme e é amplamente distribuída em toda a bacia amazônica (EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2004). É uma madeira nobre, ou seja, uma madeira com características diferenciadas das espécies comuns, entre elas a alta resistência estrutural e que apresenta alta densidade variando de 0,95 a 1,00 g/cm³. Esta espécie é tida como importante para reflorestamentos, frutificando precocemente aos quatro anos de idade. Sua madeira é utilizada para a produção de implementos agrícolas, construção naval, confecção de cabos de ferramentas, entre outros (PINTO *et al*, 2008).

A Cumarurana da espécie *dipteryx polyphylla* conhecida também como cumaru-roxo é uma espécie de alta densidade que ocorre em matas primárias de terra firme, ao longo de riachos, principalmente no Amazonas e Colômbia.

O Amapá (*Brosimum parinarioides*) conhecido na Amazônia como amapazeiro é uma espécie arbórea com 35 a 40 metros de altura, que ocorre em áreas de floresta de terra firme e várzea. O caule do amapazeiro possui canais laticíferos que produzem o látex, uma complexa mistura de moléculas composta de açúcares, gomas, alcaloides, óleos essenciais e proteínas. (PALHETA *et al*, 2009). A densidade da madeira da espécie Amapá oriunda da região do Amazonas é de 0,59 g/cm³ (NASCIMENTO *et al*, 1997).

As espécies anteriormente citadas são amplamente utilizadas na indústria madeireira, porém há uma grande geração de resíduos, em torno de 60%, que acabam sendo reaproveitados para geração de energia elétrica, através da queima, conforme observado em visita realizada na empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda, localizada no município de Itacoatiara, Km 227 da rodovia Manaus - Itacoatiara, Amazonas.

No entanto, com a queima desses resíduos de madeira há a geração de outro resíduo, as cinzas, cuja destinação é o aterro. Dependendo de sua origem, as cinzas podem apresentar elevados teores de K (potássio), P (fósforo), Ca (cálcio) e Mg (magnésio), que podem ser utilizados como suplemento nutricional para o solo (NKANA *et al*, 1998). Especificamente no caso das cinzas geradas pela queima do resíduo de madeira na empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda, nenhuma caracterização química é realizada, impossibilitando o conhecimento químico desses resíduos.

Porém, existem alternativas para o reaproveitamento de resíduos descartados durante o processamento mecânico da madeira, dentre estas, utilizá-los na fabricação de painéis aglomerados através do método de prensagem, por exemplo. A fabricação de painéis é ecologicamente correta,

pois os resíduos irão transformar-se em produtos úteis, assim conservando os recursos naturais (AKYUZ *et al*, 2010). No Brasil, as principais espécies utilizadas na produção de painéis aglomerados e MDF (*medium density fiberboard*) são dos gêneros Pinus e Eucalipto, as quais são plantadas em grande escala nas regiões sul e sudeste do país, em que estão localizadas as indústrias moveleiras. Nas regiões norte, nordeste e centro-oeste do país, além da ausência de pólos moveleiros que demandam grande quantidade de painéis, os plantios florestais em escala comercial ainda são restritos a pequenas áreas (IWAKIRI *et al*, 2010).

Para a produção de painéis aglomerados se faz necessário o uso de uma resina com função aglomerante. As resinas poliuretanas (PUs) de origens petroquímicas são comumente usadas na fabricação desses painéis. Apesar desse tipo de resina apresentar um bom desempenho, as PUs apresentam inconvenientes ambientais como geração de resíduos no final da sua vida útil que se dispostos em aterros ou lixões, ou mesmo incinerados podem representar uma forma de poluição (CHAHUD, 2007). Estas resinas são altamente inflamáveis sob condições de incêndio, além de serem tóxicas, exalam gases tóxicos (cianeto), que podem ser letais dependendo do tempo de exposição (LOPES, 2009).

Neste trabalho houve duas etapas importantes. Na 1ª Etapa avaliou-se a espécie Cumarurana que tem características de alta densidade e na 2ª Etapa utilizaram-se as espécies Cumarú e Amapá que possuem densidades diferentes, alta e média densidade, respectivamente, com o intuito de comparar seus resultados. A escolha destas espécies de madeiras tropicais deu-se pelo intenso uso na indústria de Madeiras Mil Madeiras Preciosas Ltda e por uma delas ser madeira nobre, valorizando mais este trabalho. Então a proposta neste estudo foi utilizar os resíduos de madeiras tropicais, citados anteriormente, na produção de painéis poliméricos para aplicações semi-estruturais como pisos habitacionais, divisórias, móveis, entre outros. No contexto deste trabalho optou-se pelo uso de uma resina poliuretana (PU) em parte renovável, derivada do óleo da mamona (*ricinus communis*) que possui propriedades aglomerantes não causando os inconvenientes das resinas petroquímicas citadas anteriormente.

1.2 Objetivos

Objetivo Geral:

- Analisar a viabilidade técnica do uso de resíduo de madeira da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana), *Dipteryx odorata* (Cumaru-verdadeiro) ambas de alta densidade e *Brosimum parinarioides* (Amapá) de média densidade para produção de painéis aglomerados.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar quimicamente as três espécies de resíduos;
- Verificar as concentrações ótimas de resíduo e resina a serem utilizados para produção de painéis de madeira aglomerada;
- Avaliar a resistência física e mecânica dos compósitos produzidos.
- Comparar os resultados obtidos entre os compósitos com cada espécie de resíduo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Madeira

2.1.1 Anatomia da madeira

A anatomia da madeira é o ramo da ciência botânica que procura conhecer o arranjo estrutural dos diversos elementos constituintes do lenho. O estudo da anatomia do lenho tem por principal finalidade, o reconhecimento microscópico da madeira. As vantagens resultantes dessa verificação de identidade são de real alcance para o comércio e a indústria madeireira (COSTA, 2001).

O aspecto, a anatomia, a disposição dos tecidos lenhosos da madeira, dependem estritamente da espécie vegetal que a originou. Segundo a classificação de Adolf Engler (1844-1930) para os vegetais, as árvores encontram-se na divisão das fanerógamas, plantas superiores que se subdividem em gimnospermas (apresentam sementes nuas) e angiospermas (com sementes em “vasos” – os frutos). Dentre as gimnospermas, as árvores estão na ordem das coníferas, cujas sementes têm formato cônico e folhas semelhantes a escamas e compridas, exemplo, o pinus (GONZAGA, 2006). São as chamadas *softwoods* (madeiras macias) e respondem por quase metade do consumo mundial de madeiras (JOHNSON, 1994).

O grupo das angiospermas é o mais evoluído, apresentando todas as estruturas observadas entre as gimnospermas (raízes, caule, folhas, flores e sementes), e uma exclusiva, o fruto (COSTA, 2001).

As angiospermas dominam as florestas brasileiras e dividem-se em duas classes: monocotiledôneas e dicotiledôneas. As monocotiledôneas são plantas cujos frutos não têm a semente dividida e apenas as da família Palmaceae produzem troncos arbóreos. Exemplo: os vários coqueiros, árvores que não produzem exatamente madeira. As dicotiledôneas, também chamadas folhosas, possuem sementes divididas e no Brasil respondem pela quase totalidade da produção madeireira, com milhares de espécies, entre elas: ipê (*Tabebuia* spp.), o mogno (*Swietenia macrophylla*) e o cedro (*Cedrella* spp.). No hemisfério Norte é conhecido genericamente por *hardwoods*, ou madeiras duras (GONZAGA, 2006).

As coníferas possuem a estrutura celular da madeira bem mais simples que a das folhosas. A organização e a morfologia celular destas espécies fazem com que as coníferas, em geral, apresentem madeiras mais leves, menos resistentes e de pouca variação quanto a cor (que em geral é bege, amarelada ou rosada). Já as folhosas diferem bastante, pois existem em maior número, são de cores variadas, algumas são bem leves ou pesadas, podem ser de fácil ou de difícil trabalhabilidade e podem ser muito duráveis (MADY, 2000).

Na figura 1, podemos observar o aspecto anatômico da madeira, vista por meio de microscópio eletrônico, permitindo distinguir não somente diferenças entre as madeiras de coníferas (anatomia com presença de fibras ao longo das bordas do raio) e folhosas (anatomia com presença de poros nos tubos contínuos) entre várias espécies, mas também diferenças dentro de uma amostra, tais como os anéis anuais de crescimento, lenho inicial (primaveril) e tardio (outonal), o arranjo dos poros em folhosas, cerne e albarno (KLOCK *et al*, 2005).

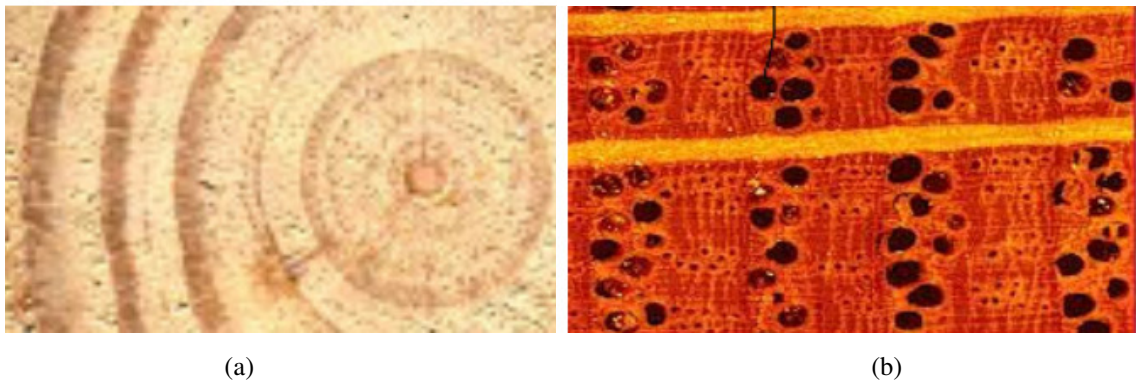


Figura 1: Aspectos anatômicos da madeira. Espécie (a) conífera; (b) folhosa.

Fonte: Laboratório de Química da Madeira, UFPR, 2000.

Neste trabalho, os resíduos de madeira utilizados estão inclusos na classe das dicotiledôneas ou folhosas.

Observando um corte transversal do tronco (Figura 2) de uma árvore é possível notar seus elementos constituintes, os quais são discutidos a seguir.

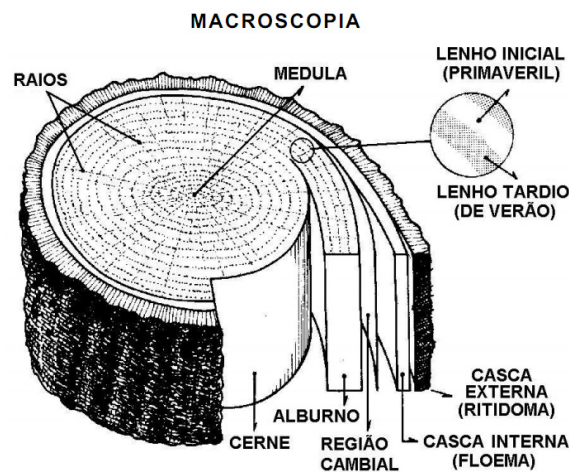


Figura 2: Estrutura macroscópica do tronco de madeira.

Fonte: <http://www.joinville.udesc.br>. Acesso em: 09 fevereiro de 2011.

- Medula - Parte central do caule, região inicial de crescimento de uma árvore (tecido primário ou meristemático). É uma região muito susceptível ao ataque de microrganismos xilófagos e por isso encontram-se toras com a medula deteriorada. Sua função é a de armazenar substância nutritiva para a planta, durante a fase inicial de crescimento.

- Alburno - Constituído por células vivas que conduzem a seiva bruta em movimento ascendente. Possui baixa resistência ao ataque de fungos e insetos. No entanto, esta é a região da madeira que permite grande penetração dos líquidos possibilitando maior penetração durante o tratamento preservativo e segundo MADY (2000) é a parte que contém mais substâncias nutritivas, resinas e outros compostos químicos, que acabam por obstruir os canais percorridos pela água no tronco. Em geral possui coloração mais clara que o cerne.

- Cerne – É a região mais interna do tronco que perdeu a atividade fisiológica. Na grande maioria das madeiras esta região apresenta coloração mais escura e elementos anatômicos fechados devido à deposição de corantes naturais, denominados de óleo-resina. Sua função para a planta é apenas de sustentação do tronco.

- Casca – Proteção externa da árvore, formada por duas camadas: uma externa morta (ritidoma) de espessura variável com a idade e com a espécie e uma fina camada interna (floema) de tecido vivo e macio, que conduz o alimento sintetizado nas folhas para as partes em crescimento.

2.1.2 Composição química, componentes majoritários e minoritários da madeira

2.1.2.1 Composição química (Estrutura molecular)

Em relação à composição química elementar da madeira, pode-se afirmar que não há diferenças consideráveis entre as diversas espécies de madeira. Os principais elementos existentes nela são o Carbono (C), o Hidrogênio (H), o Oxigênio (O) e o Nitrogênio (N), em pequenas quantidades (Quadro 1). Além destes elementos encontram-se pequenas quantidades de cálcio (Ca), potássio (K), e magnésio (Mg), constituindo as substâncias minerais existentes na madeira.

Quadros 1: Composição percentual da madeira.
Fonte: KLOCK *et al*, 2005

Elemento	Percentagem (%)
C	49 – 50
H	6,0
O	44 – 45
N	0,1 – 1

2.1.2.2 Componentes majoritários (macromoleculares)

Os principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular da madeira são: celulose, hemiceluloses e lignina, que estão presentes em todas as madeiras e os componentes minoritários de baixo peso molecular, extrativos e substâncias minerais, os quais são geralmente mais relacionados à madeira de certas espécies (KLOCK *et al*, 2005).

A seguir são descritos os principais componentes macromoleculares.

D) Celulose

A celulose (Figura 3) é uma molécula de cadeia linear constituída por centenas de β (1 \rightarrow 4) ligadas a unidades de D-glucose. A estrutura básica da molécula de celulose é com base em duas unidades de D-glucose (conhecida como celobiose) que estão covalentemente ligadas através de uma ligação glicosídica (HUBER *et al*, 2012). É o componente majoritário, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras tanto de coníferas, como de folhosas (KLOCK *et al*, 2005).

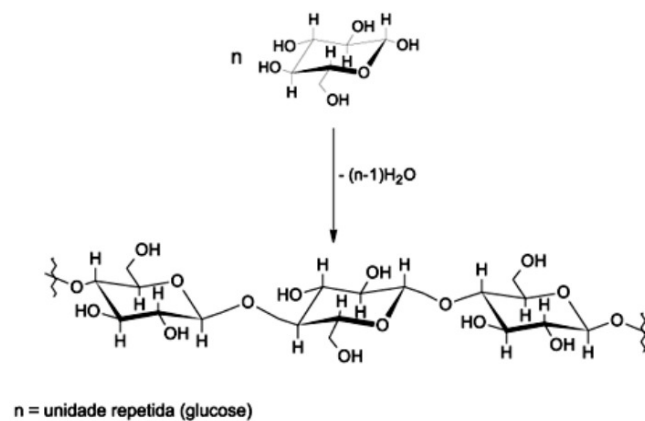


Figura 3: Estrutura macroscópica do tronco de madeira.
Fonte: MORAIS *et al*, 2005.

O grupo da celulose tem capacidade de formar ligações de hidrogênio fortes, conferindo suas propriedades mais importantes: multi-escala estrutura microfibrilada, organização hierárquica (regiões cristalinas vs. amorfos) e natureza altamente coesa (LAVOINE *et al*, 2012).

As microfibrilas (componentes da matriz extracelular chamado fibrilina são essenciais para a integridade das fibras elásticas) constroem fibrilas e estas constroem as fibras celulósicas. Como consequência desta estrutura fibrosa, a celulose possui alta resistência à tração e é insolúvel na maioria dos solventes (KLOCK *et al*, 2005).

II) Hemiceluloses (Polioses)

O termo hemiceluloses (Figura 4) refere-se a uma mistura de polímeros polissacarídeos de baixa massa molecular, os quais estão intimamente associados com a celulose nos tecidos das plantas (D'ALMEIDA In: SENAI & IPT, 1988).

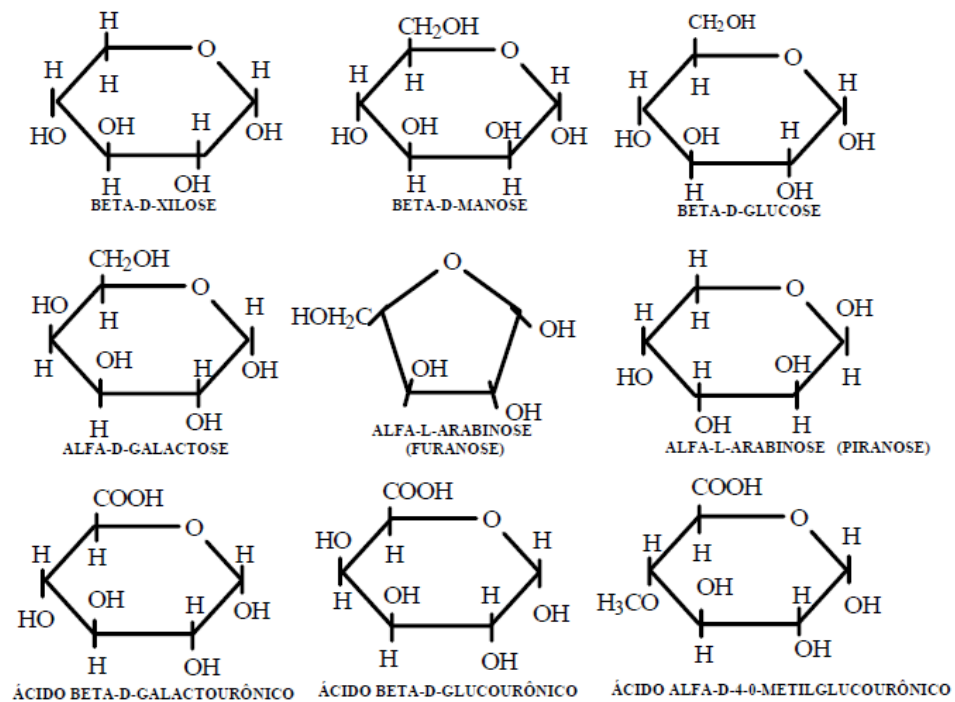


Figura 4: Fórmula dos açúcares componentes das hemiceluloses.

Fonte: KLOCK *et al*, 2005.

Esses polissacarídeos são constituídos por cadeias poliméricas menores que as da celulose, embora exerçam função estrutural análoga (FENGEL e WENEGER, 1984) de proporcionar suporte mecânico às fibras de celulose (WIKBERG e MAUNU, 2004).

Enquanto a celulose, como substância química, contém exclusivamente a β -D-glucose como unidade fundamental, as hemiceluloses contém várias ramificações estruturais monoméricas, que são chamadas de: hexoses (glucoses, manose e galactose) e pentoses (xilose e arabinose). Mas também contém algumas hemiceluloses (Figura 5) que contém ácidos urônicos. As folhosas, de maneira geral, contém maior teor de hemiceluloses que as coníferas, e a composição é diferenciada (KLOCK *et al*, 2005).

Diferem também da celulose por terem baixa polimerização. Não produzem fibras e não possuem regiões cristalinas. São solúveis em álcalis e sofrem forte ataque por ácidos. As hemiceluloses compreendem entre 20% e 28% dos tecidos das folhosas (GONZAGA, 2006). No Quadro 2, encontram-se algumas diferenças entre celulose e hemiceluloses:

Quadros 2: Diferenças básicas entre celulose e hemiceluloses.

Fonte: GONZAGA, 2006.

CELULOSE	HEMICELULOSES
- Constituída por uma única unidade monomérica glucosídica a D-glucose.	- Constituída por várias unidades ligadas entre si, pentoses e hexoses.
- Grau de polimerização elevado.	- Grau de polimerização baixo.
- Formam fibras.	- Não formam fibras.
- Possui regiões cristalinas e amorfas em sua estrutura.	- Só possui regiões amorfas.
- É lentamente atacada por ácidos.	- Sofre ataque mais rápido por ácido.
- É insolúvel em álcali.	- É solúvel.

III) Lignina

A lignina (figura 5) é uma substância química que confere rigidez à parede da célula e, nas partes da madeira (D'ALMEIDA In: SENAI & IPT, 1988). São moléculas amorfas e altamente complexas (ROWELL *et al*, 2005).

É a terceira substância macromolecular componente da madeira, ocorrendo entre 15 e 35% de seu peso. As moléculas de lignina são constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano. Há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas (KLOCK *et al*, 2005).

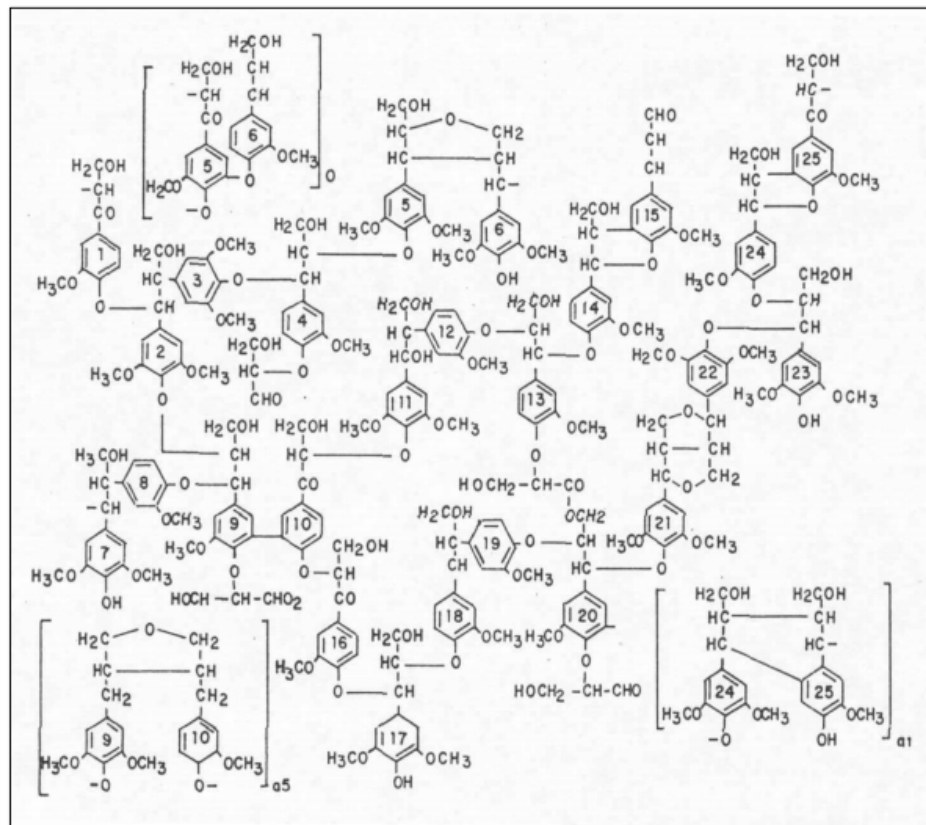


Figura 5: Fórmula dos açúcares componentes das hemiceluloses.

Fonte: MARABEZI, 2009.

Segundo D'ALMEIDA In: SENAI & IPT (1988), os principais grupos funcionais encontrados na lignina são destacados a seguir:

- Grupos metoxilas (-OCH₃): é o grupo funcional mais característico da lignina. Embora as hemiceluloses contenham alguns grupos metoxilas, seu teor na madeira provém, praticamente, da lignina, sendo nas coníferas em torno de 16% e nas folhosas, 22%.
- Grupos hidroxilas (-OH): estes são de natureza variada, isto é, fenólicos, assim como alifáticos primários, secundários e terciários. O conteúdo destes é em torno de 10%, tanto para coníferas como para folhosas.

A lignina é bastante insolúvel, apresentando menor higroscopicidade (habilidade em absorver água) que a celulose. Muitas propriedades físicas (anisotropia, umidade, retração e dilatação linear) e mecânicas (compressão paralela às fibras, compressão normal às fibras, tração paralela às fibras e cisalhamento paralelo às fibras) da madeira dependem da presença da lignina (BRITEZ *et al*, 2006).

2.1.3 Componentes minoritários

2.1.3.1 Extrativos e substâncias minerais

Os extrativos são substâncias orgânicas que se acumulam nas células de parênquima, nos canais secretores e em concentrações pequenas na lamela média (FENGEL & WEGENER, 1984; HILLIS, 1987). Além dos componentes da parede celular, a madeira é impregnada por diversas substâncias, que dela podem ser extraídas. Essas substâncias são responsáveis por inúmeras características da madeira, embora sua atuação não esteja ainda bem determinada. Nas folhosas, a variedade é bem maior, englobando compostos fenólicos, aromáticos, taninos, compostos nitrogenados e inúmeros carboidratos, cujas funções ainda desafiam os pesquisadores (GONZAGA, 2006). Embora estes componentes contribuam somente com uma pequena porcentagem de massa de madeira, podem apresentar uma grande influência nas propriedades e na qualidade de processamento da madeira (KLOCK *et al*, 2005).

Segundo Lima *et al* (2007), os extrativos como um todo exercem considerável influência na produção de painéis de madeira, pois podem afetar as reações de polimerização do adesivo ou as reações entre adesivo e extrativo, influenciando conseqüentemente na qualidade dos painéis produzidos (MARRA, 1992).

JANKOWSKY (1988), concluiu que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem.

CHANG *et al*, (2010) estudou duas espécies de madeira da região de Taiwan, *Cryptomeria japonica* (Cedro) e a *Acacia confusa* (Acácia) e expôs as madeiras à radiação ultravioleta com e sem extrativos, concluiu que os extrativos tem um papel importante na composição química da madeira que é proteger a lignina da fotodegradação. Mas quando os resíduos de madeira são empregados na produção de painéis aglomerados, os extrativos presentes podem interferir na qualidade do produto final (WEBER, 2011).

Os componentes minoritários inorgânicos se apresentam em forma de cinzas. Em madeiras tropicais podem ocorrer maior quantidade de silício (SILVA, 2010).

2.2 Aplicações da Madeira

2.2.1 Resíduos de madeira

O termo resíduo de madeira (Figura 6), por muitas vezes é associado à palavra problema, pois geralmente sua disposição ou utilização adequada gera custos altos o que muitas vezes deseja-se evitar. Porém, o conhecimento da quantidade, da qualidade e das

possibilidades de uso deste material pode gerar uma alternativa de uso que viabilize o seu manuseio (FEITOSA, 2007).



Figura 6: (a e b) Resíduos de madeira descartados na indústria madeireira.

Fonte: Autor, 2010.

Segundo Gomes e Sampaio (2004) estima-se que do volume total de uma tora, seja aproveitado cerca de 40 a 60%, significando que a cada dez árvores cortadas, apenas cinco, em média, serão aproveitadas comercialmente. A maioria das serrarias não aproveita os resíduos, repassando-os para serem utilizados em caldeiras de fábricas de compensados e olarias.

O estado do Pará é o que mais explora madeira de floresta nativa no Brasil. Além disso, é importante destacar que toda essa atividade, investimento, transformação, ocorre de forma aleatória (FEITOSA, 2007). A madeira certamente é um produto valioso, pois ela é, ao mesmo tempo, combustível, material de construção e matéria-prima para a fabricação de inúmeros artigos (SOUZA *et al*, 2009).

A região Amazônica, tradicionalmente exploradora de madeira, enfrentou sérios problemas com relação ao aproveitamento de resíduos florestais e madeireiros gerados pelo processamento inadequado da indústria florestal. O potencial de uso dessa enorme quantidade de resíduos vinha sendo subestimado pela indústria madeireira regional, que consiste de uma fonte potencial de matéria-prima básica para inúmeras aplicações, tais como em pequenos objetos de madeira (POM), móveis rústicos, produção de painéis e geração de energia, dentre os mais significativos (INPA, 2010).

Conforme visita realizada à Mil Madeiras Preciosas Ltda, nas suas operações industriais são gerados os seguintes tipos de resíduos: costaneiras, madeira desclassificada (sem mercado de produto beneficiado) e serragem que são aproveitados para a geração de

energia termelétrica. Há muitas possibilidades de se reaproveitar estes resíduos, uma delas é para produção de painéis aglomerados para construção civil e artefatos.

O presente estudo foi realizado utilizando a Cumarurana, Cumaru e Amapá. A seguir são descritas as características de cada uma delas:

2.2.2 Cumarurana (*Dipteryx polyphylla*)(Huber) Ducke Fabaceae

A espécie de madeira *dipteryx polyphylla* é uma madeira de alta densidade, um pouco menor que o cumaru-ferro, em torno de $0,83 \text{ g/cm}^3$ (EMBRAPA, 2004). É uma árvore mediana de 15 a 25 metros de altura, alburno bege amarelado diferenciado do cerne marrom avermelhado ou vinho. A Cumarurana é citada na literatura como uma madeira altamente resistente ao ataque de fungos apodrecedores e insetos. É uma madeira moderadamente fácil de serrar e difícil de aplainar, pregar e parafusar, recomendando-se pré-furação. É utilizada em construções pesadas, dormentes, cabos de implementos agrícolas, objetos torneados, postes e pilares, faqueados decorativos, móveis, construção naval, tacos para assoalhos, entre outros (MADY, 2000).

2.2.3 Cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd-Fabaceae – Leguminosae Papilionoideae)

A classificação botânica dessa espécie de madeira é *Coumarouna odorata* ou *Dipteryx odorata*, família Leguminosae Papilionoideae (GONZAGA, 2006). A árvore desta espécie floresce durante a estação seca com variações que dependem do regime meteorológico. Os frutos amadurecem aproximadamente nove meses depois. As características da madeira que são capazes de impressionar os sentidos são conhecidas como propriedades organolépticas. Segue as características da madeira de Cumaru:

- Madeira de alta densidade ($0,95$ a $1,00 \text{ g/cm}^3$);
- Cor - Alburno bege contrastando com o cerne castanho escuro amarelado;
- Grã irregular - Apresenta desvios ou inclinações em relação ao eixo principal do tronco, a grã é chamada irregular, podendo ser grã oblíqua ou entrecruzada (COSTA, 2001);
- Textura média - É a característica que envolve o diâmetro dos poros, sua distribuição e quantidade relativa no lenho. As madeiras de textura média apresentam poros com diâmetro tangencial dos poros de 100 a $300 \text{ }\mu\text{m}$ (COSTA, 2001);

- Aspecto fibroso característico - Células existentes no lenho das angiospermas, alongadas, com pontuações simples ou areoladas nas paredes (COSTA, 2001);
- Odor desagradável quando recém-cortada - Característica importante na madeira e que tende a definir o seu uso, sendo que para uso em móveis, estas não podem apresentar, por exemplo, cheiro desagradável (COSTA, 2001);
- Gosto imperceptível - Em algumas espécies apresenta-se amargo (cedro), em outras madeiras pode ser nitidamente percebido: picante em saracuramirá e adocicado em casca-doce;
- Altamente resistente a fungos apodrecedores e cupins;
- É moderadamente difícil de serrar, moderadamente fácil de aplainar – nivelamento da superfície;
- É difícil de pregar e parafusar, recomendando-se pré-furação.

A madeira Cumaru, por ser muito pesada e de propriedades físico-mecânicas altas a médias, pode ser usada em construção civil, como vigas, caibros, ripas, marcos de portas, tacos e tábuas para assoalhos, lambris, forro, estacas, esteio, postes cruzetas, dormentes, carrocerias, construções navais e móveis (MAINIERI *et al*, 1989).

2.2.4 Amapá (*Brosimum parinarioides* Ducke – Moraceae)

A família Moraceae inclui aproximadamente 50 gêneros e 1.500 espécies, representada por vegetais que geralmente apresentam substâncias laticíferas (látex). O gênero *Brosimum* se destaca devido ao seu uso medicinal. Seu látex é um produto utilizado popularmente em trato respiratório, assim como antiinflamatório, antileishmaniose (GAI *et al*, 2009), cicatrizante de feridas e como tônico (QUADROS *et al*, 1998).

A espécie vegetal *Brosimum parinarioides* Ducke é nativa da região amazônica, ocorrendo nos estados do Amazonas, Pará e Amapá em que é mais freqüente e é popularmente conhecida como Amapá ou Amapá-doce. É uma árvore de grande porte podendo atingir até 40 metros de altura (QUADROS *et al*, 1998).

Estudos realizados pela Embrapa, de composição nutricional, demonstraram presença de maior quantidade de minerais e proteínas nos leites de Amapá do que os leites de soja e de vaca, razão pelo qual este pode ser utilizado em substituição ao leite de vaca, como já ocorre na Amazônia (GAI *et al*, 2009).

De acordo com RICHTER *et al* (2009), são citados abaixo alguns aspectos importantes sobre esta espécie vegetal:

- Limites de anéis de crescimento indistintos ou ausentes;
- Cor do cerne: marrom e branco ou cinzento e sua cor é uniforme;
- Cor do alburno similar a do cerne;
- Odor indistinto ou ausente;
- Densidade média variando de 0,50 a 0,65 g/cm³;
- Madeira de porosidade difusa;
- Fibras de paredes finas e paredes de espessura média e pontuações muito frequentes.
- Parênquima axial presente em série;
- Sílica não observada;

A madeira Amapá, por apresentar propriedades mecânicas médias e ser de aspecto agradável é indicada para a fabricação de móveis de uso geral, painéis decorativos, lambris e lâminas desenroladas para a fabricação de compensados, embalagens, tábuas em geral, fabricação de metro para medições e cabos de vassoura (MAINIERI e CHIMELO, 1989).

2.2.5 Painéis à base de madeira

Os painéis de madeira reconstituída são caracterizados por utilizar a madeira sob a forma de cavacos como matéria-prima mais relevante (IWAKIRI *et al*, 2000). Os principais tipos são: o MDF, as chapas de fibra ou chapas duras, compensados e os painéis de madeira aglomerada (particleboard).

A seguir são descritos os diferentes tipos de painéis:

2.2.5.1 MDF (medium density fiberboard)

O MDF é um painel composto por fibras de madeira aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa de pratos ou prensa contínua de última geração. É um painel homogêneo, com excelente estabilidade dimensional (isotropia), de superfície uniforme e lisa (ABIPA, 2010).

De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de fibras de madeira são produzidos a partir de fibras individualizadas, cuja adesão primária se processa através do entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira, como a lignina.

No período de 2006-2010, os investimentos em modernização, ampliação e implantação de unidades industriais de MDF no Brasil foram superiores a US\$ 1 bilhão. Como reflexo dessa entrada de capital, a produção nacional de painéis de madeira cresceu rapidamente. A maior transformação que deverá ocorrer na indústria brasileira de MDF é a utilização crescente de eucalipto em segmentos como madeira serrada e painéis de fibra. O consumo projetado de madeira industrial, para 2020, será superior a 280 milhões de m³. Desse total, a maior parte (49%) será representada pela madeira de eucalipto. A madeira de Pinus representará 31% do consumo total e a tropical, os 20% restantes (TORQUATO, 2010).

Quanto à sua utilização, destina-se principalmente à indústria moveleira, para fabricação de componentes de móveis, como tampos e pés de mesa, partes frontais, internos e laterais de armários e molduras em geral. Na construção civil, o MDF pode ser utilizado como pisos finos, rodapés, portas usinadas, batentes de portas, etc (IWAKIRI, 2005).

2.2.5.2 Chapas de fibra

Também conhecida como chapa dura (*hardboard*), a chapa de fibra é uma chapa de espessura fina, que resulta da prensagem a quente de fibras de madeira por meio de um processo úmido, que reativa os aglutinantes naturais da própria madeira (sem a adição de resinas) e confere ao produto alta densidade. No Brasil, utiliza-se como matéria-prima a madeira de eucalipto de florestas plantadas (TORQUATO, 2010).

2.2.5.3 Compensados

Dentre os produtos à base de madeira, o compensado foi o primeiro painel a ser produzido em escala industrial e até hoje se mantém como um dos mais utilizados em todo o mundo. No processo de fabricação desses painéis utilizam-se adesivos e o mais tradicional é a resina à base de uréia-formaldeído, para indicação em uso interior e com a resina fenol-formaldeído para uso exterior (DIAS, 2005).

O painel de compensado tem múltiplas aplicações, entre elas estão: construção civil, móveis, formas para concreto, embalagens, entre outros. Suas características mecânicas, grandes dimensões e variedades de tipos adaptáveis a cada uso, constituem os principais atributos para justificar a ampla utilização deste material (MACÊDO *et al*, 2002).

2.2.5.4 Painéis aglomerados (MDP)

Os painéis de madeira aglomerada, comercialmente denominado de “aglomerado”, é um painel produzido com partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético e

reconstituídos numa matriz randômica (razão de consistência) e consolidados através de aplicação de pressão e calor na prensa quente (IWAKIRI, 2005). São painéis estáveis, podendo ser cortados em qualquer direção, o que permite o seu maior aproveitamento. É amplamente utilizada pela indústria de móveis, construção civil, embalagens, entre outros.

O MDP é o painel de madeira reconstituído mais produzido e mais consumido no mundo (BIAZUS *et al*, 2010). No Brasil representa uma produção anual de 3 milhões de metros cúbicos. Para os próximos anos, estarão previstos novos investimentos com valores aproximados de US\$ 1,2 bilhão na instalação de novas unidades industriais, que irão proporcionar um aumento da capacidade instalada (2011), de 10,0 milhões de metros cúbicos, para aproximadamente 10,9 milhões de metros cúbicos anuais em 2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA, 2012), estando entre os dez maiores produtores em escala mundial.

A importância mercadológica do MDP se concentra no abastecimento de produtoras de móveis para uso residencial e comercial, onde este produto se mostra como principal matéria prima (SILVA, 2012).

A primeira indústria de aglomerado no Brasil foi instalada em Curitiba, no ano de 1966, e conta atualmente com mais de dez unidades fabris, distribuídas na região Sul e Sudeste do País. A quase totalidade da madeira utilizada na produção de painéis de madeira aglomerados é proveniente de reflorestamentos de pinus, espécie que é também utilizada para produção de polpa e papel, madeira serrada e beneficiada, lâminas para painéis compensados e, mais recentemente, para produção de painéis de fibras de média densidade (IWAKIRI *et al*, 2000).

Segundo Iwakiri (2005) o princípio de fabricação de painéis aglomerados faz com que este produto apresente uma série de vantagens em relação aos painéis compensados e madeira serrada, tais como:

- Eliminação de efeitos da anisotropia da madeira, ou seja, as alterações dimensionais e resistência mecânica nas direções longitudinal e transversal do painel são similares;
- Eliminação de fatores redutores da resistência da madeira como os nós, inclinação da grã, lenhos juvenil e adulto, entre outros;
- Possibilidades de adequações das propriedades físico-mecânicas dos painéis através do controle dos parâmetros de processo como resina, geometria de partículas, grau de densificação, entre outros;

- Menores exigências em termos de matéria-prima como diâmetro, forma do fuste (toras pequenas), defeitos, entre outros;
- Menor custo de produção, relacionado principalmente a qualidade da madeira e mão-de-obra.

A densidade da madeira é um dos requisitos básicos na escolha de espécies para produção de painéis aglomerados, por influenciar diretamente na sua razão de compactação. Segundo Maloney (1993) e Tsoumis (1991), a razão de compactação é a relação entre a densidade do painel e densidade da madeira e, esta relação, deve ser no mínimo 1,3 para que ocorra uma densificação suficiente para a formação do painel.

Segundo Kelly (1977), painéis de mesma densidade, produzidos com madeira de baixa densidade, apresentam propriedades mecânicas superiores, porém, a sua estabilidade dimensional será inferior quando comparados aos painéis produzidos com madeira de alta densidade. Nos painéis com maior razão de compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, ocorrerá maior densificação do painel, resultando em maior inchamento higroscópico da madeira e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem.

2.3 Resinas sintéticas utilizadas na produção de painéis de madeira

As resinas poliuretanas (PUs) de origens petroquímicas são comumente usadas na fabricação de painéis aglomerados. A seguir são apresentados alguns tipos de resinas sintéticas.

2.3.1 Uréia-formaldeído (UF)

Esta resina foi desenvolvida no início da década de 30 e possui uma ampla aplicação na indústria madeireira em todo mundo, na colagem de madeira sólida e compostos laminados e particulados em geral. É uma resina utilizada em mais de 90% de painéis de madeira, tendo em vista seu baixo custo em relação às outras resinas. Uma das desvantagens consiste na sua vulnerabilidade a degradação hidrolítica na presença de umidade e/ou ácidos, especialmente em temperaturas moderadas a elevadas. Esta resina é classificada como de uso interno (IWAKIRI, 2005).

A resina UF é um polímero termofixo, ou seja, um adesivo de coloração branca leitosa que endurece por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou catalisadores. Tal resina se torna bastante rígida após a cura, apresentando alto desempenho nas colagens de

madeiras em geral, na fabricação de portas, divisórias, chapas de fibra e aglomerado (MULLER *et al*, 2008).

2.3.2 Fenol-formaldeído (FF)

A característica principal desta resina é a alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior. O seu uso se destina principalmente à produção de compensados à prova d'água, painéis de fibras duras, painéis aglomerados estruturais “waferboard” e “OSB” (IWAKIRI, 2005).

As resinas fenólicas sintéticas são formadas pela reação de condensação entre o formaldeído e fenol, podendo ser classificadas em: resina fenólica curável a alta temperatura e resina fenólica curável a temperatura intermediária (ABIMCI, 2003).

2.3.3 Melamina-formaldeído (MF)

A MF é uma resina classificada como de uso intermediário entre as UF e fenol-formaldeído. Apresenta uma coloração branca leitosa e tem como vantagem ser mais resistente à umidade em relação à resina UF e cura mais rápida em relação à resina fenol-formaldeído (FF). Todavia, seu custo é 3 a 4 vezes superior a UF. A vida útil em armazenagem é em torno de uma semana na forma líquida, à temperatura de 30 a 35° C, e de um ano, quando na forma de pó (IWAKIRI, 2005).

2.3.4. Resorcina-formaldeído (RF)

É uma resina de cura a frio, com catalisador, e utilizada na produção de vigas laminadas, em construções navais, na aviação, etc. Apresenta uma coloração marrom e vida útil em armazenagem em torno de um ano à temperatura de 25° C. O resorcinol é uma substância fenólica de reatividade muito mais elevada que o fenol. Devido ao seu alto custo de produção, geralmente o resorcinol é misturado na mesma proporção com o fenol, com adição de formaldeído momentos antes da utilização (IWAKIRI, 2005).

2.4 Resinas naturais utilizadas na produção de painéis de madeira

2.4.1 Tanino-formaldeído (TF)

É uma resina muito utilizada na África do Sul e Nova Zelândia, e em menor escala na Finlândia, Argentina, Brasil, Austrália, Rússia, Reino Unido e Índia (IWAKIRI, 2005). Os polifenóis (taninos) obtidos da casca ou da madeira de algumas espécies florestais, a exemplo da *Acacia mearnsii* e do *Schinopsis sp*, apresentam grande potencial para substituir os

adesivos sintéticos. No entanto, o tanino oriundo da casca da *A.mearnsii*, ainda é o mais utilizado e desponta como sendo o mais promissor. No Brasil, em especial no Rio Grande do Sul, também são produzidas e utilizadas resinas à base de tanino-formaldeído para a produção de aglomerados (HILLIG *et al*, 2002).

Para a produção dos adesivos à base de taninos, são utilizados os taninos condensados, pois são quimicamente mais estáveis e economicamente mais viáveis. Esses taninos são constituídos de uma mistura de flavonóides polimerizados, de pesos moleculares variados, chamados genericamente de proantocianidinas (CARNEIRO *et al*, 2009). Apresentam algumas limitações, como a baixa resistência coesiva e à umidade, que podem ser minimizadas com a adição de pequenas quantidades de outras resinas como resorcinol, fenol sintético e uréia-formaldeído (IWAKIRI, 2005).

2.4.2 Adesivo à base de farinha de soja, livre de formaldeído

Vários adesivos para uso em madeira estão sendo desenvolvidos nos Estados Unidos, a partir de materiais renováveis, como a farinha de soja, e sua produção comercial em especial, painéis compensados, existe desde 2004. Esse adesivo a base de soja é utilizado na produção comercial de madeira decorativa e inclui dois ingredientes básicos: farinha de soja desengordurada e uma pequena quantidade de um agente de cura (solução aquosa diluída de um polímero) com 20% de teor de sólidos. O adesivo à base de soja é bastante viscoso e para diminuir a viscosidade do adesivo foi utilizada a farinha de soja tratada com produtos químicos como a uréia, antes da mistura com o agente de cura. Os painéis aglomerados feitos com este método apresentaram boa resistência (PRASITTISOPIN *et al*, 2010).

2.4.3 Resina poliuretana à base de mamona

O adesivo utilizado nessa pesquisa é o poliuretano à base de mamona que é um adesivo alternativo oriundo de recurso natural e renovável e é classificado como impermeável. Apresenta uma característica de não agressividade ao meio ambiente e ao ser humano. Sua cura é processada com temperatura ambiente, podendo ser acelerada com temperaturas de 60 a 90°C. A tecnologia de poliuretano com óleos vegetais foi desenvolvida há muito tempo em decorrência do incentivo para utilização de um produto a partir de matéria-prima renovável, de fácil obtenção, ecologicamente correta e de excelente qualidade (SILVA, 2003).

O desenvolvimento de polióis e pré-polímeros derivados do óleo da mamona para sínteses de poliuretana foram iniciados pelo Grupo de Tecnologia de Polímeros e Química Analítica da USP São Carlos em 1984 (CHIERICE *et al*, 1985).

Diversas aplicações já se mostraram viáveis, a partir de estudos conduzidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira - LaMEM, do Departamento de Engenharia de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos, da USP. Dentre elas destaca-se o bom desempenho do adesivo na fabricação de madeira laminada colada (REVISTA DA MADEIRA, 2003).

Este trabalho que foi desenvolvido com madeiras tropicais, citadas anteriormente, e oriundas da região do Amazonas é original pois é o primeiro trabalho de painéis aglomerados utilizando uma resina metade renovável proveniente do óleo de mamona e foi baseado em pesquisas realizadas anteriormente com madeiras tropicais do Norte e Sudeste.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentados os materiais e os métodos utilizados para a produção de painéis aglomerados. Os painéis foram produzidos primeiramente utilizando resíduos de Cumarurana (1ª ETAPA). Em outra etapa (2ª ETAPA) foram produzidos painéis com resíduos de Cumarú e Amapá, fazendo uso do planejamento experimental, com o objetivo de comparar o desempenho de painéis produzidos variando resíduos e densidades dos mesmos.

3.1 Materiais

A Cumarurana cujas características estão listadas no item 2.2.2, o Cumarú no item 2.2.3 e o Amapá no item 2.2.4, foram utilizados para a produção dos painéis aglomerados. Na primeira etapa trabalhou-se somente com a madeira de Cumarurana e esta foi cedida pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Em outra etapa do trabalho foi cedido o Cumarú e o Amapá pela Mil Madeiras Preciosas Ltda, para efeito de comparação.

A resina utilizada neste trabalho é bicomponente à base de mamona, constituída a partir do poliól e de um pré-polímero que a frio polimerizam a mistura, desenvolvido pelo Instituto de Química de São Carlos – USP. Segue abaixo no Quadro 3, os fornecedores dos materiais utilizados neste trabalho:

Quadros 3: Materiais utilizados para a pesquisa e fornecedores.

Material	Fornecedor
Cumarurana	1º Etapa: Instituto de Pesquisas da Amazônia (doação)
Cumaru	2º Etapa: Mil Madeiras Preciosas Ltda (doação)
Amapá	
Poliól 25040 à base de óleo de mamona Pré-Polímero A249	Kehl Indústria Química de São Carlos (doação)

3.2 Métodos

A seguir é apresentada a metodologia para a produção de painéis, a caracterização física e química do resíduo e a caracterização física e mecânica dos painéis.

A preparação dos corpos-de-prova e os ensaios para a determinação das propriedades dos painéis foram feitas de acordo com a norma brasileira NBR 14810-3 (ABNT, 2006) que cita especificações para painéis de alta densidade.

Na 1ª Etapa a quantidade de resíduo e resina empregados nos painéis foram baseados em pesquisas feitas no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM) (BERTOLINI, 2011) com painéis aglomerados na proporção de 15% de resina por peso seco do resíduo, conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Quantidade de resíduos e resina utilizados para confecção dos painéis aglomerados de Cumarurana na 1ª Etapa.

Quantidade de resíduos e % resina	Quantidade de Resina	Total de resina poliuretana
1000 g à 15% resina	50 g de pré-polímero 100 g de poliól	150 g
1300 g à 15% resina	65 g de pré-polímero 130 g de poliól	195 g

Na 2ª Etapa, fez-se o uso de um planejamento experimental variando as proporções de resíduo e resina de acordo com a Tabela 2. Dois planejamentos fatoriais foram montados, ou seja, um utilizando resíduo de Cumaru e outro com resíduo de Amapá.

Tabela 2: Quantidade de resíduos e resina utilizados para confecção dos painéis aglomerados de Cumaru e Amapá na 2ª Etapa.

Quantidade de resíduos (g) e resina (%)	Quantidade de Resina (g)	Total da resina poliuretana
1000 à 10	67,5 de pré-polímero e 67,5 de poliól (*)	135 g
1000 à 15	92,5 de pré-polímero e 92,5 de poliól (*)	185 g
1300 à 12,5	104 de pré-polímero e 104 de poliól (*)	208 g
1500 à 10	101,25 pré-polímero e 101,25 de poliól (*)	202,5 g
1500 à 15	138,75 de pré-polímero e 138,75 de poliól (*)	277,5 g

(*) Foi adicionado 3,5% de resina em cada quantidade de resíduos. Essa quantidade foi adicionada, pois este é um valor estimado de perda de resina no processo de mistura.

A seguir são apresentadas as análises físicas, químicas e mecânicas realizadas nesse trabalho:

3.2.1 Caracterização do resíduo de Cumarurana na 1ª Etapa: Análises físicas e químicas.

As análises físicas e químicas dos resíduos de Cumarurana foram feitas no Instituto de Química de São Carlos (IQSC-SP) e foram baseadas na norma TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry). Para a realização dessas análises foi necessária a pulverização de 50 gramas de resíduo do Cumarurana em pulverizador Marconi MAU 48 (Figura 7a e 7b).

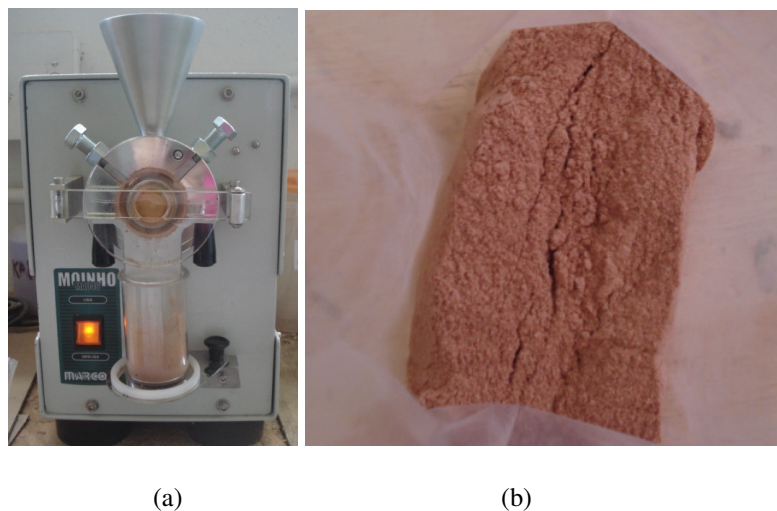


Figura 7: (a) Pulverizador Marconi MAU 48; (b) Material moído a 60 mesh.

Teor de umidade. Pesou-se 1 (um) grama de resíduo pulverizado em balança que é aquecida a 105° C por cerca de 180 minutos. A balança mediu a porcentagem de perda de massa que foi relativa ao teor de umidade do resíduo (Figura 8).

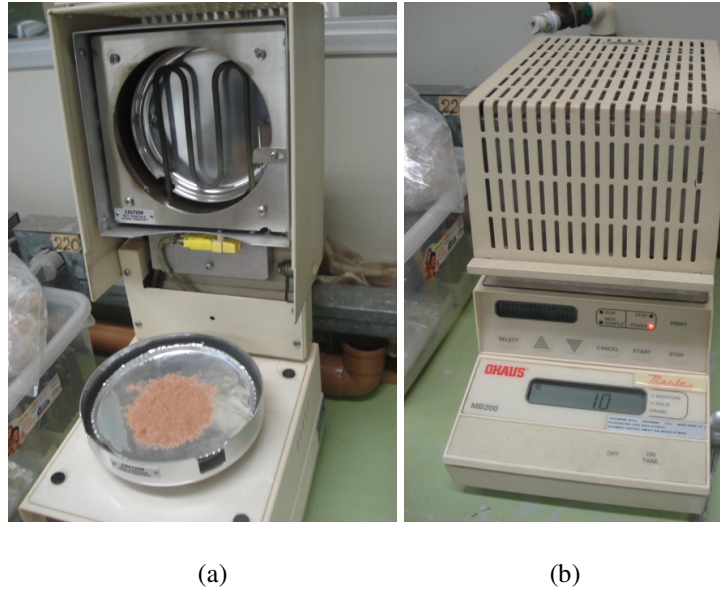


Figura 8: (a) Preparação do material para medição do teor de umidade no equipamento OHAUS MB 200; (b) Medição do peso úmido.

Densidade básica da madeira. Pelo método de medição direta do volume por paquímetro (TRUGILHO *et al*, 1990), as amostras planas (Figura 9b), formando ângulo de 90°, foram analisadas.. As medições foram feitas com paquímetro de precisão 0,001 cm a partir das arestas, a altura, a largura e o comprimento de cada amostra saturada (imersa em água até o teor de umidade máximo). As amostras permaneceram em estufa (Figura 9a) até peso constante. Após atingir peso constante, mediu-se o peso seco e através da Equação 1, calculou-se a densidade básica em g/cm³.

$$\text{Densidade básica } (\rho) = \frac{P_o}{V_{\text{sat}}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

ρ = densidade básica (g.cm⁻³).

P_o = peso do corpo de prova absolutamente seco (g).

$V_{(\text{sat})}$ = volume do corpo de prova saturado (cm³).

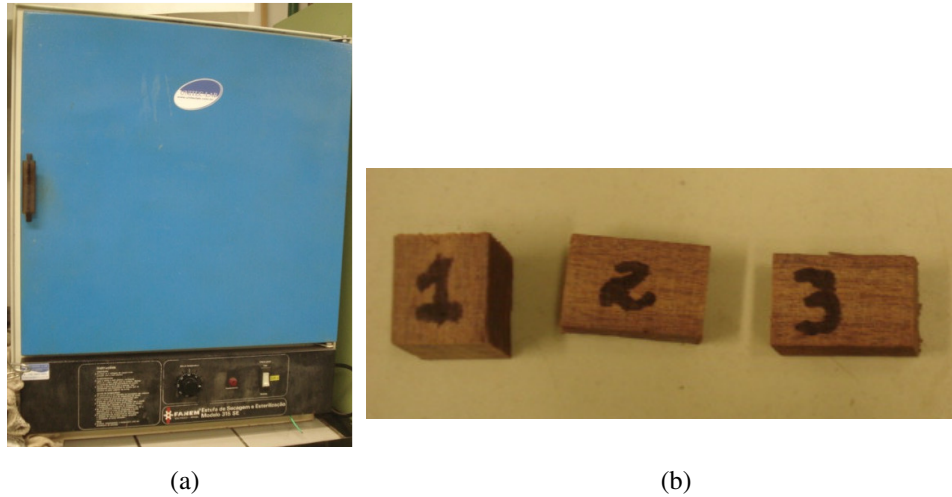


Figura 9: (a) Estufa de secagem e esterilização FANEM, modelo 315 SE; (b) Amostras a serem analisadas para cálculo da densidade básica.

Determinação do teor de extrativos solúveis em solvente orgânico. Em extrator soxhlet (Figura 10b) colocou-se cerca de 10g de material a ser analisado em duplicata (Figura 10a) e a mistura de ciclohexano e etanol com tempo de extração de oito horas. Em seguida, calculou-se o teor de extrativos através da equação 2. Esta análise se baseou na norma TAPPI T204 cm-97.

$$\text{Teor de extrativos (T)} = T_f - T_i \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

T = Teor de extrativos

T_f = Teor de extrativo final (g)

T_i = Teor de extrativo inicial (g)

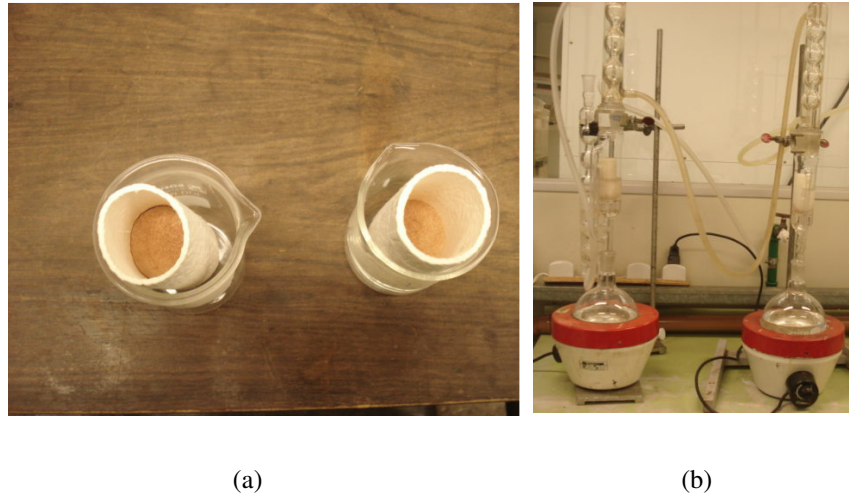


Figura 10: (a) Pesagem das amostras em duplicata para extração soxhlet; (b) Extração em duplicata do resíduo.

Determinação do teor de cinzas. Pesou-se 1 grama de resíduo seco, colocou-se em cadinho previamente tarado e carbonizou-se em mufla (Figura 11a e 11b). Levou-se o cadinho em mufla a 525° C por um período de 4h, resfriou-se em dessecador e pesou-se. Em seguida, calculou-se o teor de cinzas através do peso final menos o peso inicial (Equação 3). Esta análise baseou-se na norma TAPPI T211 om-02.

$$\text{Teor de cinzas (T}_c\text{)} = P_c - P_i \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

T_c = Teor de cinzas (g)

P_f = Peso das cinzas (g)

P_i = Peso inicial da amostra analisada (g)

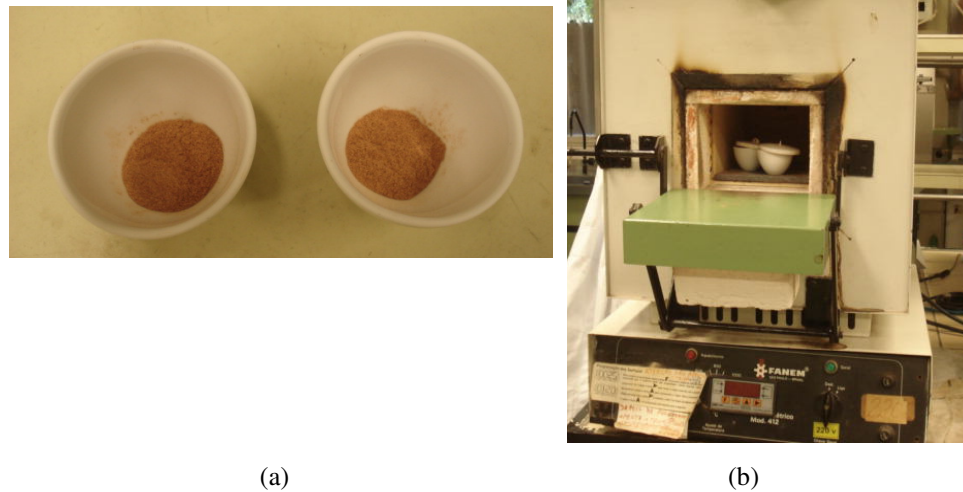


Figura 11: (a) Amostras nos cadinhos para determinação do teor de cinzas; (b) Mufla utilizada nos ensaios para determinação do teor de cinzas.

Determinação do teor de lignina Klason insolúvel. Em um almofariz, colocou-se cerca de 1g de resíduo e 15 mL de H₂SO₄ 72% (Figura 12a) deixou-se sob agitação magnética por um período de 2h (Figura 12b). Após esse tempo, colocou-se a mistura em balão de 1L, adicionou-se 400 mL de água destilada e aqueceu-se em refluxo por um período de 4h (Figura 12c). Resfriou-se e filtrou-se em um cadinho de vidro sinterizado de média porosidade, previamente tarado. Secou-se em estufa a 100° C por 24h e pesou-se em seguida. Logo depois calculou-se o teor de lignina através da Equação 4. Esta análise baseou-se na norma TAPPI T222 om-02 revisado.

$$\text{Teor de lignina Klason (LK)} = P_f - P_i \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

LK = Teor de lignina Klason insolúvel (g)

P_f = Peso final amostra + cadinho (g)

P_i = Peso inicial amostra + cadinho (g)

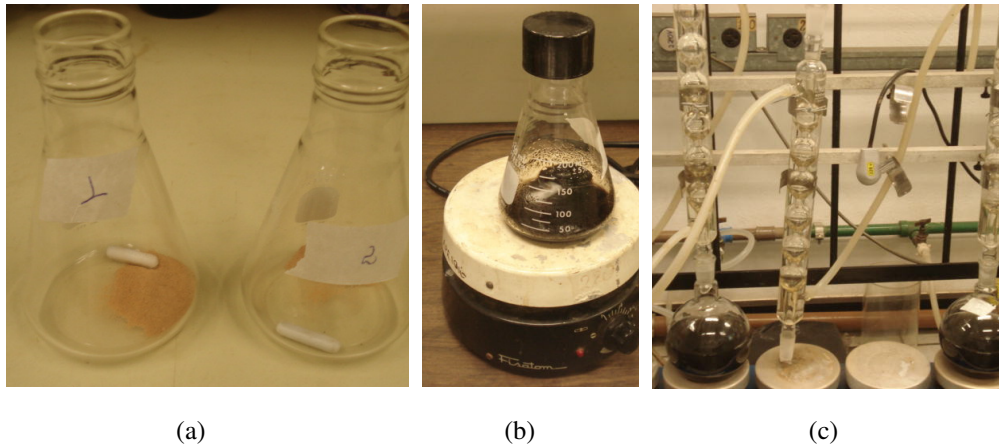


Figura 12: (a) Almofariz com 1g do resíduo; (b) Resíduo com H₂SO₄ 72%; (c) Mistura no balão de 1L com água destilada em refluxo.

Determinação do teor de lignina solúvel. A quantidade de lignina solúvel em meio ácido foi analisada através da espectroscopia na região do ultravioleta (UV/VIS) (Figura 13), em que foram medidas as absorvâncias a 215 e 280 nm do filtrado da hidrólise ácida (obtido na etapa anterior), tomando como branco uma solução de ácido sulfúrico diluído nas mesmas proporções. A concentração de lignina solúvel, em gramas por litro, foi calculada pela Equação 5. Esta análise baseou-se na norma TAPPI T222 om-02 revisado.

$$L_s = \frac{4,53 * A_{215} - A_{280}}{300} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

L_s = Teor de Lignina solúvel

A₂₁₅ = Absorvância a 215 nm (nanômetros)

A₂₈₀ = Absorvância a 280 nm



Figura 13: Espectrofotômetro V-630 Jasco.

Determinação da celulose e hemiceluloses. O teor de polissacarídeos da polpa foi determinado por análise cromatográfica líquida de alto desempenho (HPLC) através do líquido filtrado, obtido na determinação do teor de lignina Klason insolúvel.

Foram empregados como compostos padrões, os seguintes compostos hidrolisados: celobiose, glicose, xilose, arabinose, ácido fórmico, ácido acético, furfural e hidroximetilfurfura (HMF). A solução contendo os hidrolisados é submetida à filtração em membrana SEP PAK C₁₈ (Waters) para separação da lignina solúvel e demais produtos de degradação. As demais condições da análise são:

Açúcares:

- Cromatógrafo líquido: SHIMADZU.
- Detector: Índice de Refração – RID-6A.
- Coluna: Aminex HPX 87H (300 x 7,8 mm BIO-RAD).
- Eluente: H₂SO₄ 0,005 mol/ L.
- Fluxo: 0,6 mL /min.
- Temperatura: 45⁰ C.

Furfural e HMF

- Cromatógrafo líquido – SHIMADZU.
- Detector: UV – 274nm, modelo SPD-10AV.
- Coluna: μBondapakTM C₁₈ (Waters).
- Eluente: solução de acetonitrila / água 1:8 (v:v), contendo ácido acético 1% (v:v).
- Fluxo: 0,8 mL /min.
- Temperatura: ambiente.

3.2.2 Caracterização dos resíduos de Cumaru e Amapá na 2ª Etapa: Análises físicas e químicas.

As análises físicas e químicas dos resíduos de Cumaru e Amapá da 2ª Etapa foram realizados no Instituto de Química de São Carlos (IQSC-SP) e basearam-se nas normas TAPPI. Pulverizou-se 80 gramas de resíduos das duas espécies de madeira em pulverizador Marconi MAU 48 (Figura 14a e 14b).

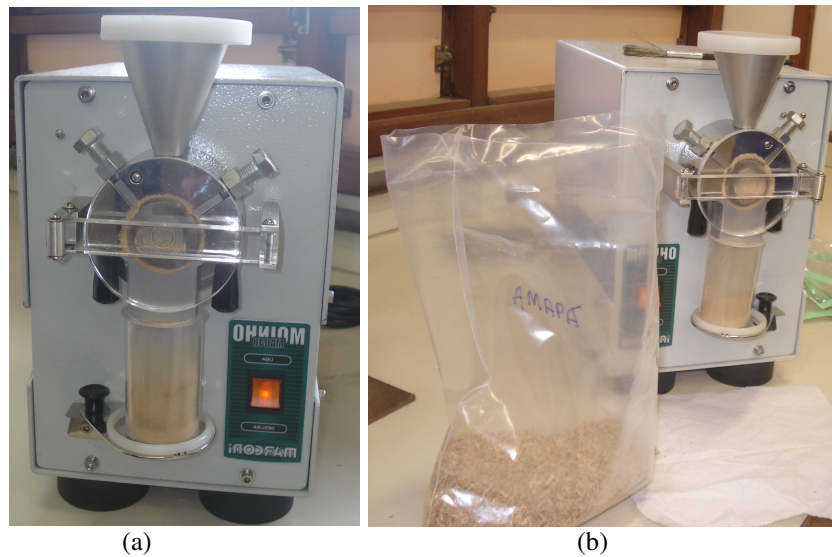


Figura 14: (a) Pulverizador Marconi MAU 48; (b) Material moído a 60 mesh.

Os ensaios físicos de Teor de umidade (Figura 15 a e b) seguiram a mesma metodologia adotada na 1ª Etapa, utilizando um grama de resíduo a 105° C por 180 minutos, em que o equipamento mediu a porcentagem da perda de massa referente ao teor de umidade da amostra analisada.

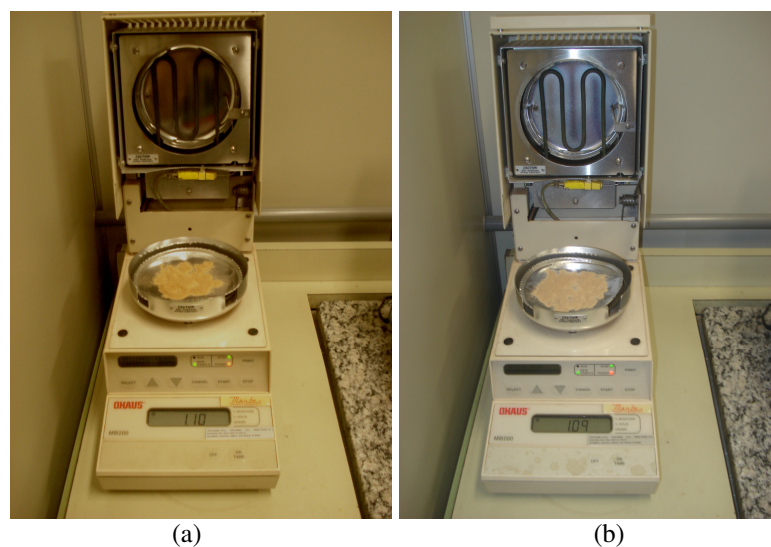


Figura 15: Amostras sendo pesadas para análise do teor de umidade; (a) Cumaru; (b) Amapá.

Os ensaios de densidade básica (Figura 16 a e b) realizaram-se de acordo com o método de medição direta do volume com o auxílio de paquímetro digital Mitutoyo 0,01 mm (Figura 16 c). Após as amostras terem sido saturadas, levou-se à estufa até peso constante, em que através do peso seco calculou-se a densidade básica através da equação 1, mostrada anteriormente no item 3.2.1.

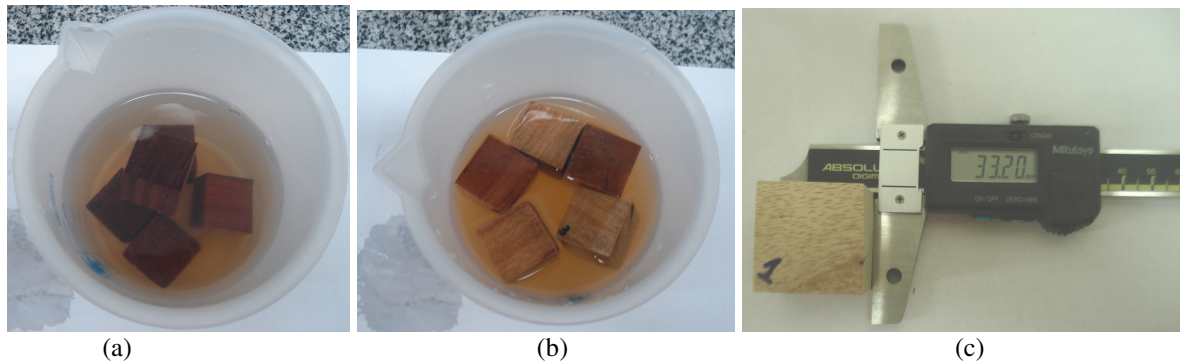


Figura 16: Amostras sendo saturadas e dimensionadas com paquímetro digital para análise da densidade básica; (a) Cumaru; (b) Amapá; (c) Amostras sendo dimensionadas.

Os ensaios químicos foram feitos em triplicata e utilizou-se a mesma metodologia da 1^a Etapa. Para a análise do teor de extrativos solúveis em ciclohexano e etanol, pesou-se 10 gramas de resíduo (Figura 17 a) de madeira em cartuchos secos e tarados. O tempo de extração ocorreu no período de 10 horas (Figura 17 b).

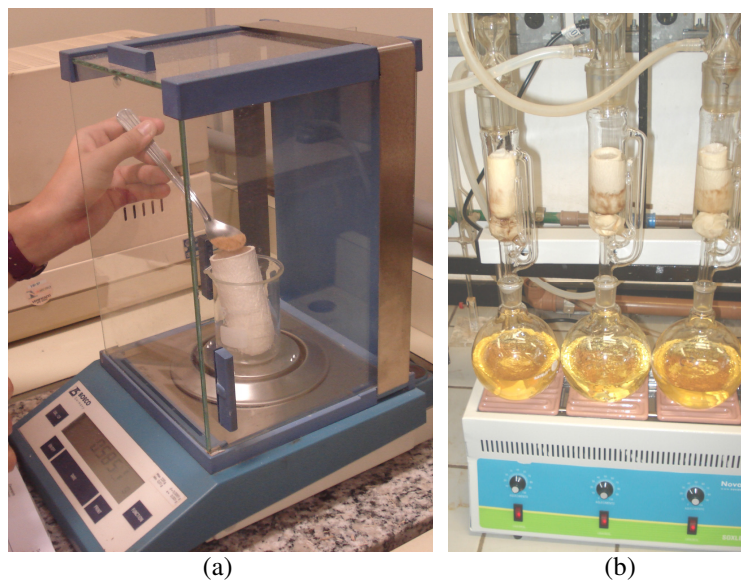


Figura 17: (a) Amostras sendo pesadas para extração em solvente orgânico; (b) Extração em triplicata dos resíduos em solvente orgânico.

A análise do teor de cinzas seguiu a norma TAPPI T 211 om-02. Pesou-se 1 grama de resíduo em cadinhos secos e tarados, logo em seguida levou-os à mufla, os condicionou a uma temperatura de 525°C durante 4 horas (Figura 18 a e b). Após este processo resfriou-se em dessecador e pesou-se. O resultado do teor de cinzas é feito através da diferença de massa inicial e final.

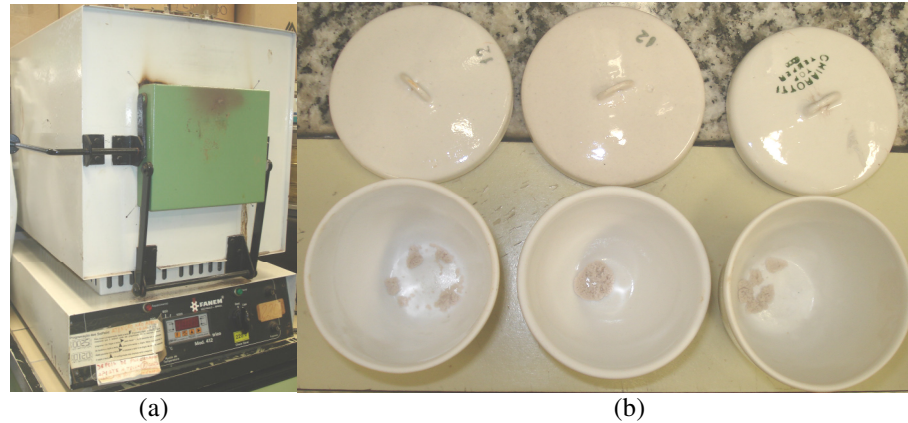


Figura 18: (a) Mufla em que foi feita a queima dos resíduos; (b) Amostras em triplicata dos resíduos após a queima.

As análises de teor de lignina Klason insolúvel foram feitas com 1g de resíduo de madeira e 15 mL de ácido sulfúrico a 72% sob agitação magnética por um período de 2 horas (Figura 19 a). Em seguida, adicionou-se 400 mL de água destilada a mistura em balão de 1L e colocou-se em refluxo por um período de 4 horas (Figura 19 b), resfriou-se e filtrou-se em cadinho de vidro sinterizado de média porosidade, previamente tarado (Figura 19 c). Após isto, levou-se o cadinho à estufa por 48 horas e pesou-se. O teor de lignina insolúvel é a diferença de peso inicial e final.

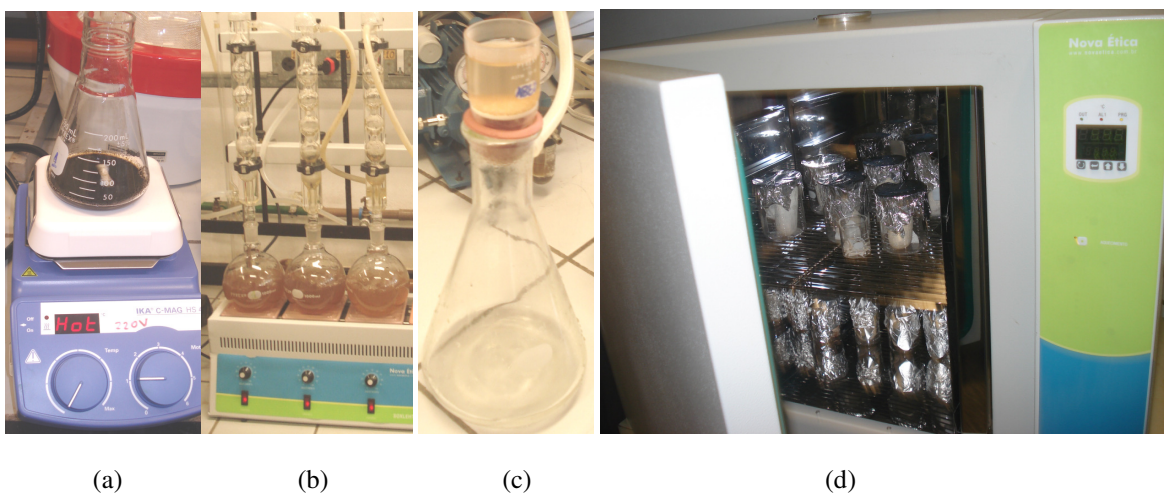


Figura 19: Etapas para a análise do Teor de lignina insolúvel. (a) Amostra de Cumaru sob agitação magnética em ácido sulfúrico a 72%; (b) Amostras em refluxo com a água; (c) Amostra sendo filtrada em cadinho sinterizado de média porosidade; (d) Amostras em estufa.

A determinação do teor de lignina solúvel em meio ácido foi analisada através da espectroscopia na região do ultravioleta (UV/VIS) (Figura 20 c), em que foram medidas as absorvâncias a 215 e 280 nm do filtrado da hidrólise ácida (obtido na etapa anterior), tomando como branco uma solução de ácido sulfúrico diluído nas mesmas proporções (Figura 20 a e b). A concentração de lignina solúvel foi calculada através da Equação 5, citada anteriormente.

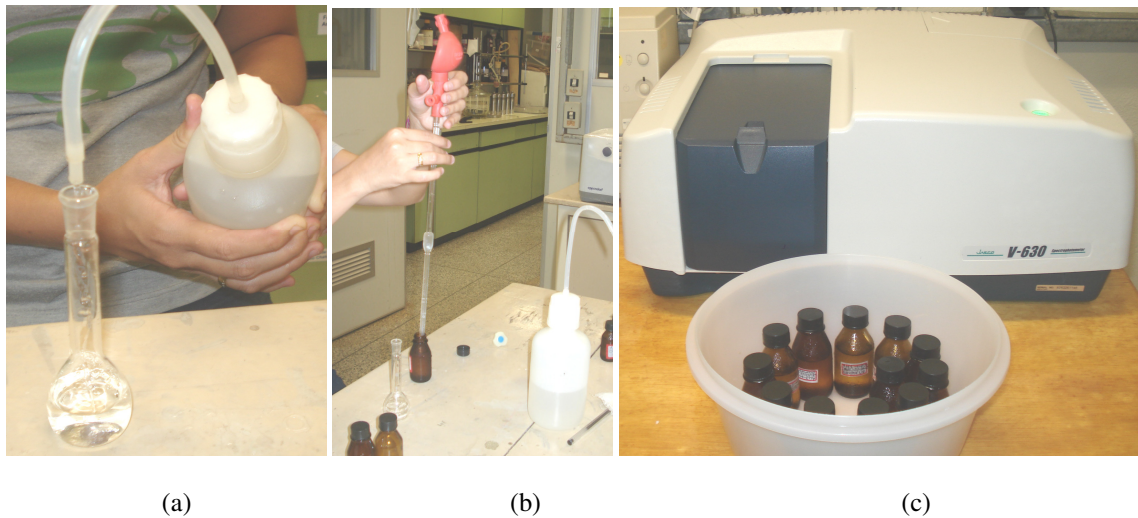


Figura 20: (a) Diluição do filtrado da lignina Klason para análise da lignina solúvel em espectrômetro; (b) Inserção das amostras diluídas em frascos apropriados; (c) Espectrômetro para análise de lignina solúvel.

O teor de polissacarídeos foi determinado por análise cromatográfica (Figura 21 a) do filtrado obtido (Figura 21 b) na determinação do teor de lignina Klason solúvel e utilizado o mesmo método da 1^a. Etapa.

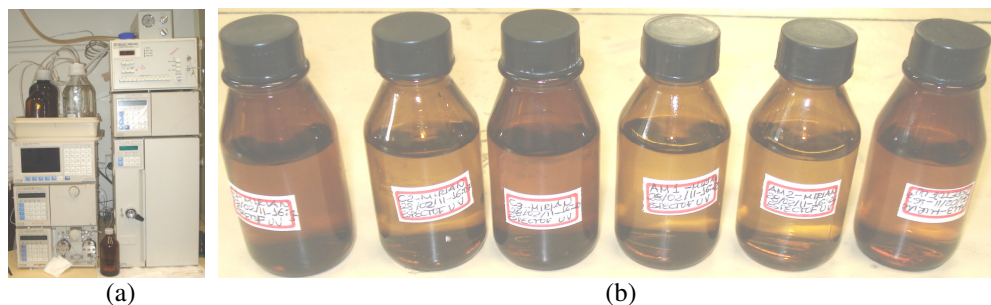


Figura 21: (a) Cromatógrafo para análise de celuloses e hemiceluloses; (b) Amostras dos resíduos para análise cromatográfica.

3.2.3 Produção de placas

Após as caracterizações físicas e químicas dos resíduos, seguiu-se o processo de produção das placas descrito nos itens a seguir:

3.2.3.1 Preparação dos resíduos

Na 1^a ETAPA, as madeiras de Cumarurana foram trituradas no Instituto de Pesquisas da Amazônia e na 2^a ETAPA triturou-se no setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas conforme Figura 22 a, b e c. Os resíduos de Cumarurana picados na 1^a ETAPA foram de 14 quilos e na 2^a ETAPA foram de 48 e 36 quilos de Cumaru e Amapá, respectivamente, feitos em moinho Marconi MA 680 a uma granulometria 40 mesh (0,42 mm de abertura) no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM-USP) (Figura 23 a e b).

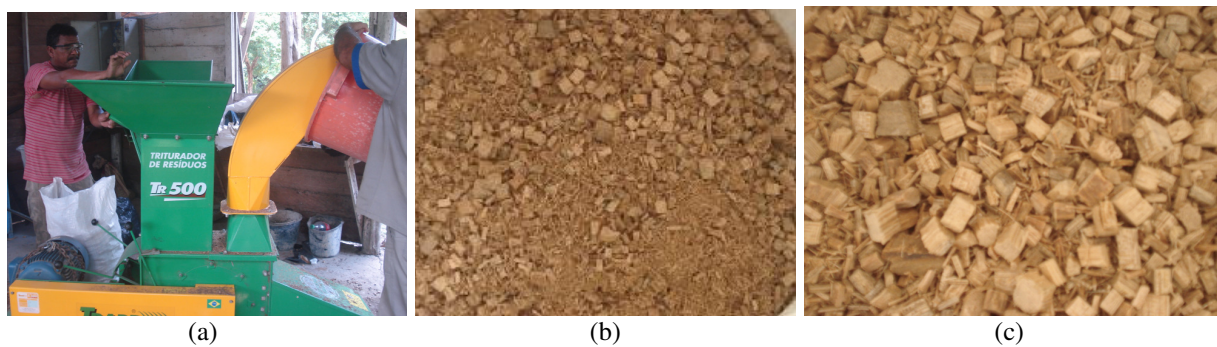


Figura 22: (a) Triturador de resíduos TR 500 (b); resíduos de Cumaru triturados (c); resíduos de Amapá triturados.

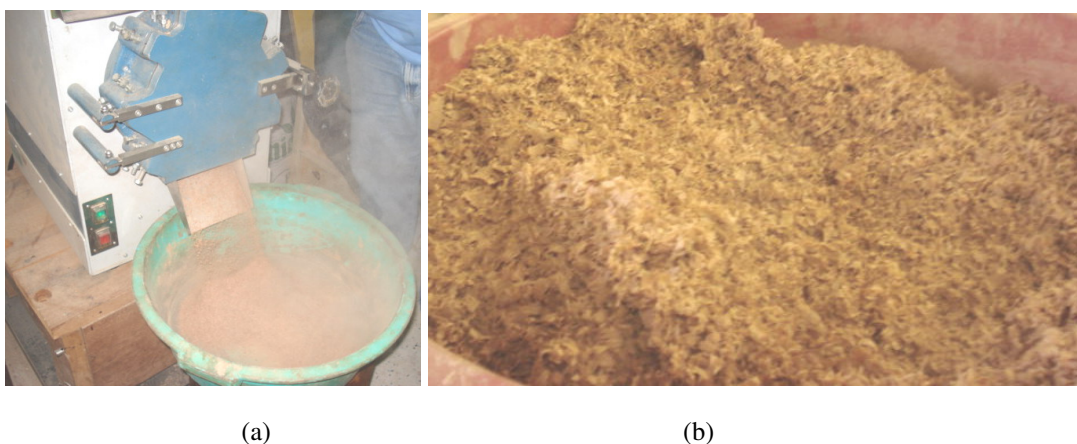


Figura 23: (a) Resíduo sendo moído em Moinho Marconi MA 680; (b) Resíduo moído à 40 mesh.

Os painéis produzidos com resíduos de Cumarurana (1ª ETAPA) foram produzidos com densidades nominais de 0,6250 e 0,8125 g/cm³ e os produzidos com resíduos de Cumaru e Amapá (2ª ETAPA) foram de 0,6250, 0,8125 e 0,9375 g/cm³, respectivamente, obtidos com base no planejamento experimental (FIORELLI *et al*, 2012).

3.2.3.2 Aplicação do adesivo

Na 1ª ETAPA foi utilizada uma proporção de 15% de resina bicomponente à base de mamona (Figura 24 a e b) sobre as partículas, com base no peso seco dessas partículas. Já na 2ª ETAPA as proporções de resina variaram de acordo com um planejamento experimental com ponto central (2²+1).



(a)



(b)

(c)

Figura 24: (a) Aplicação da resina de mamona; (b) Poliól 25040 à base de óleo de mamona; (c) Pré-polímero A249.

3.2.3.3 Formação do colchão

As partículas foram distribuídas uniformemente em uma fôrma de 400 mm x 400 mm, o que é chamado de formação de colchão, e logo em seguida foram conformadas (Figura 25a e 25b). Essa etapa foi de grande importância, pois um painel mal formado pode apresentar variação em suas propriedades, devido à diferença de densidade em sua extensão.

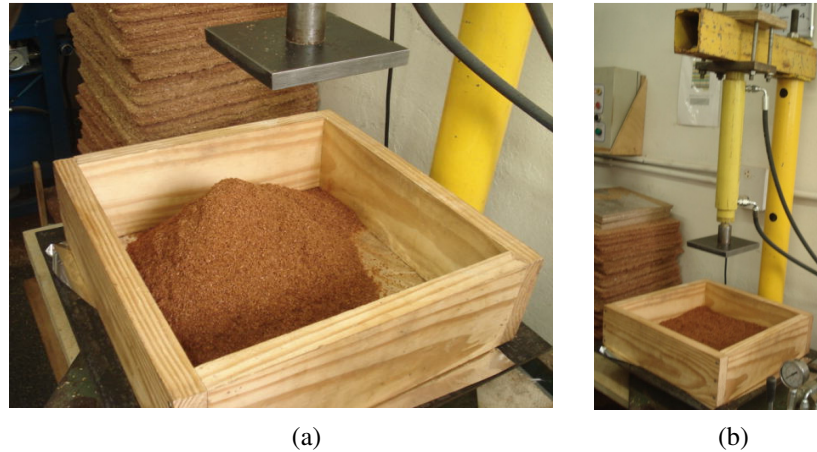


Figura 25: (a) Início da conformação das partículas na fôrma; (b) Partículas conformadas na fôrma.

3.2.3.4 Pré-prensagem

O objetivo da pré-prensagem (Figura 26) é reduzir a altura e melhorar a consistência do colchão, com dimensões previamente definidas. A pressão utilizada foi de aproximadamente 1,0 MPa.



Figura 26: Pré-prensagem das partículas.

3.2.3.5 Prensagem

A temperatura de prensagem foi de $95\pm 5^\circ\text{C}$, para o caso da resina bicomponente de mamona e tempo de 10 minutos, com pressão específica de 5 MPa (Figura 27 a e b);

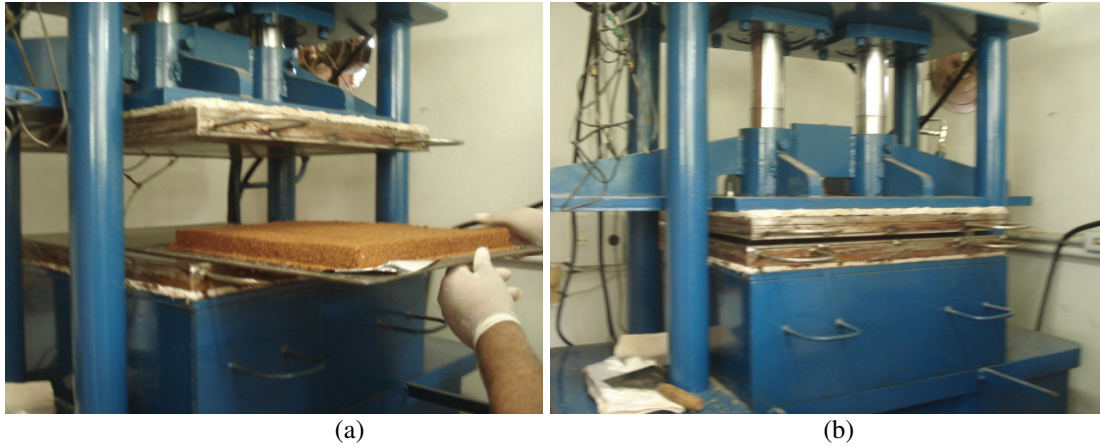


Figura 27: (a) Partículas sendo preparadas para prensagem; (b) Prensagem das partículas de aglomerados.

3.2.3.6 Tempo de Polimerização

Os painéis foram resfriados e acondicionados em local arejado no laboratório logo após a saída da prensa por um período de 48 horas para a polimerização da resina (Figura 28);

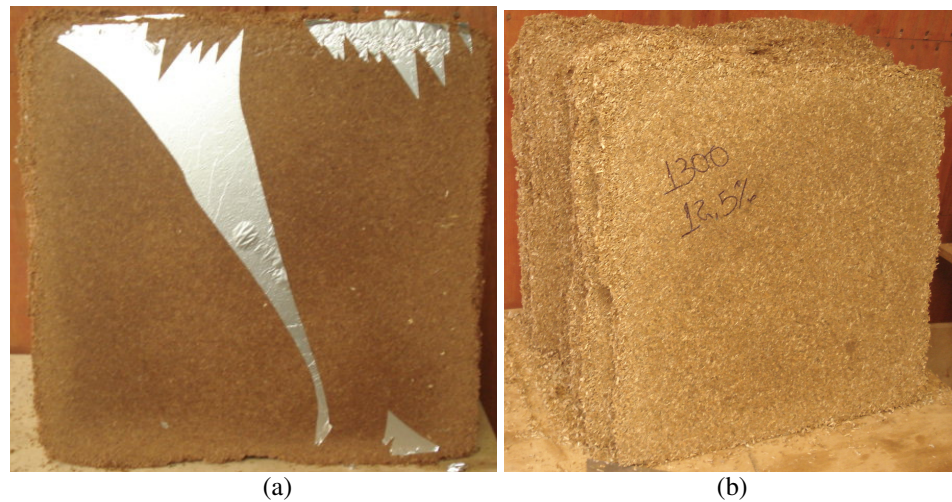


Figura 28: Painéis em processo de cura (a) Cumaru; (b) Amapá.

3.2.3.7 Acabamento

Os painéis foram esquadrejados com serras circulares e o material de borda (resíduo) foi descartado. Logo após, as peças foram lixadas com a finalidade de remover qualquer material não aderido à superfície bem como quaisquer riscos e irregularidades causados pelos pratos da prensa. Após o lixamento, os painéis foram classificados, pré-cortados nas dimensões especificadas para cada teste e armazenados adequadamente (Figura 29 a, b, c, d e e);

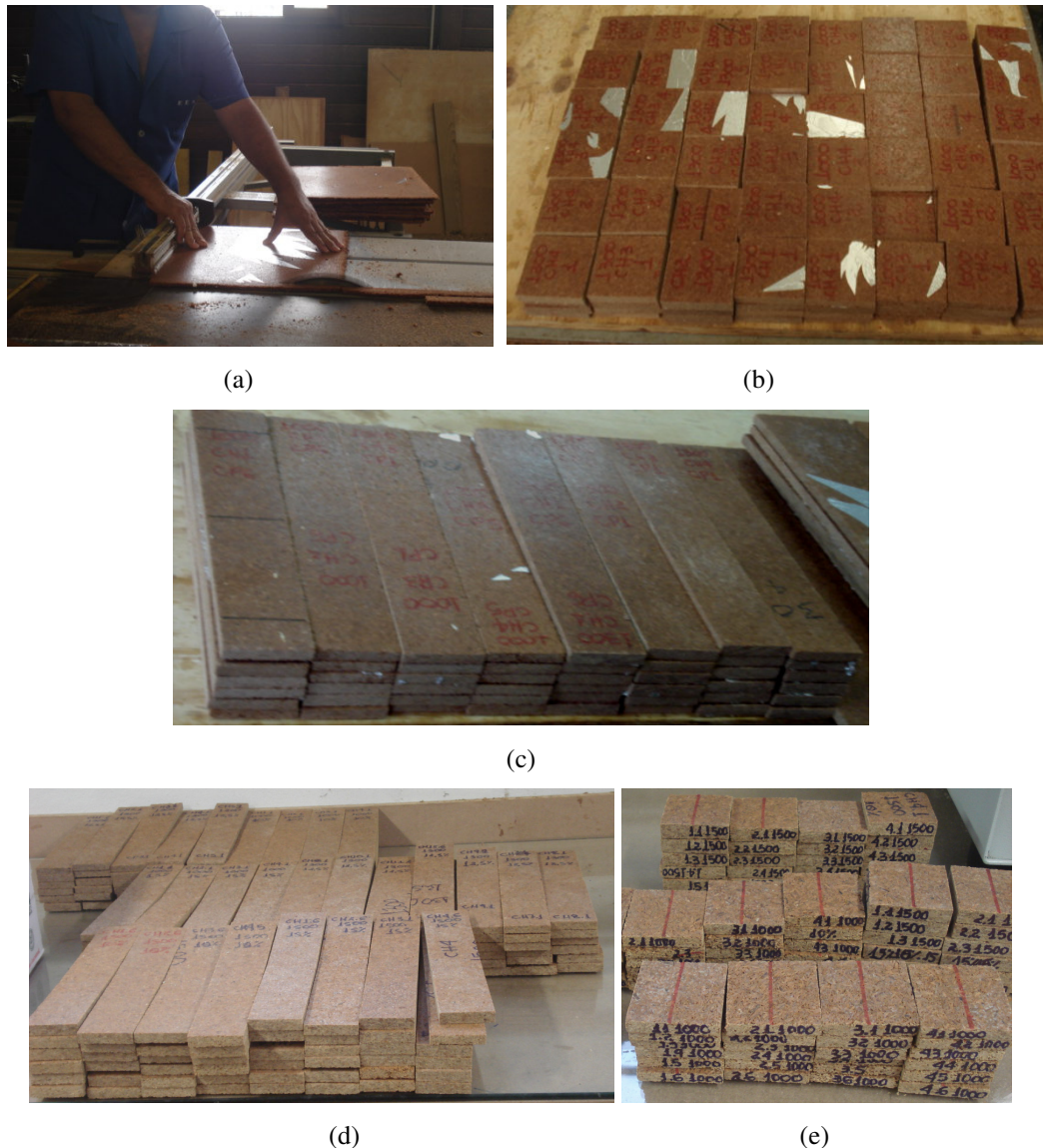


Figura 29: (a) Acabamento dos corpos-de-prova; (b, c, d e e) Corpos-de-prova cortados com as dimensões adequadas para cada teste.

3.2.4 Caracterização dos painéis: Análise física e mecânica.

As análises físicas e mecânicas foram comparadas com norma NBR 14810-3 (2006).

- Testes Físicos.

- *Densidade aparente:* Os valores de densidade foram alcançados por meio da relação massa/ volume (Equação 6). Após os corpos-de-prova de dimensões 50 x 50 mm serem identificados (Figura 30 a), determinou-se a espessura em cinco pontos de cada corpo-de-prova, conforme Figura 30 b, em seguida determinou-se o comprimento e a largura com auxílio de paquímetro digital Mitutoyo (0,01mm) e pesagem em balança analítica (0,01 g).

$$\text{Densidade Aparente (d)} = \frac{m}{v} * 10^6 \quad (\text{Equação 6})$$

Em que $v = L * C * E$

E,

d = densidade do corpo-de-prova (g/cm^3)

m = massa do corpo-de-prova (g)

v = volume do corpo-de-prova (mm^3)

L = Largura do corpo-de-prova (mm)

C = Comprimento do corpo-de-prova (mm)

E = Espessura do corpo-de-prova (mm)

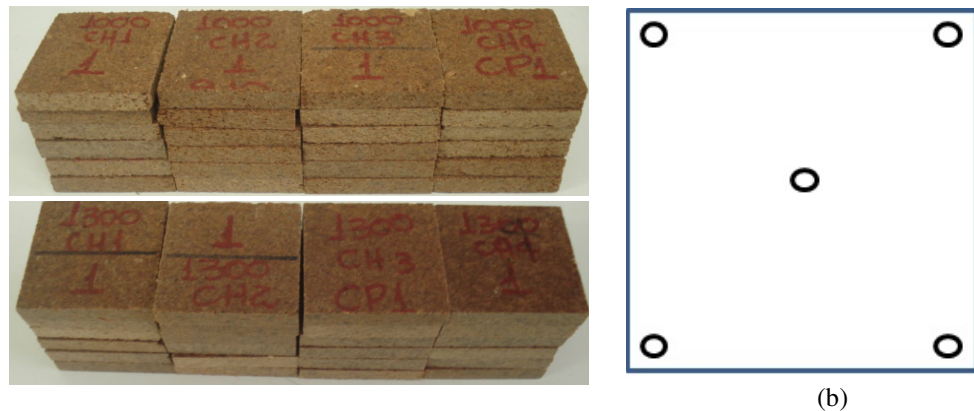


Figura 30: (a) Corpos-de-prova de Cumaru para análise de densidade básica; (b) Pontos de medição nos corpos-de-prova.

- *Razão de Compactação:* É a razão entre a densidade do painel e a densidade da madeira (D_p / D_m). A densidade da madeira e do painel para os cálculos referem-se aos resultados encontrados neste trabalho. Segundo Moslemi (1974) e Maloney (1993), para que ocorra um contato adequado entre as partículas de madeira e formação da ligação adesiva entre elas, a razão da densidade do painel e da madeira utilizada deve estar numa faixa aceitável entre 1,3 e 1,6.

- *Teor de Umidade:* Pesou-se os corpos-de-prova individualmente e anotou-se os dados como massa úmida. Em seguida os corpos-de-prova foram colocados em estufa Marconi MA035 (Figura 31 a e b), com circulação de ar à $105 \pm 3^\circ\text{C}$ (Figura 31 c), em que permaneceram, retirando-se em intervalos de 1 hora para obtenção do peso seco até massa constante.

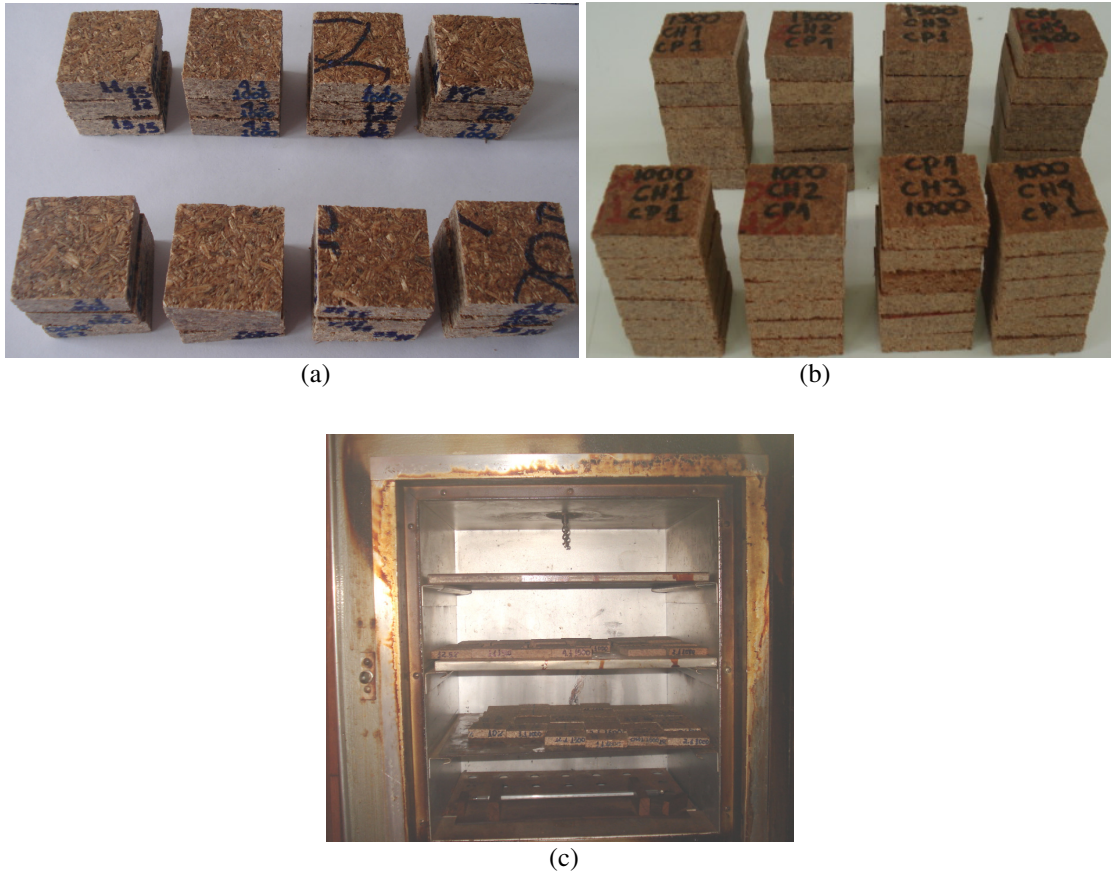


Figura 31: Teor de Umidade. (a) Corpos-de-prova de Amapá; (b) Corpos-de-prova de Cumaru; (c) Corpos-de-prova em estufa.

- *Inchamento e Absorção em água:* Após a identificação dos corpos-de-prova com dimensões de 25 x25 mm foram feitas medidas em relação à espessura no centro da mesma, com o auxílio de um paquímetro digital Mitutoyo 0,01 mm e balança analítica (0,01 g), antes e após imersão em água à 20°C (Figura 32) por períodos de 2 e 24 horas.

Para o cálculo de inchamento da espessura, utilizou-se a equação 7.

$$\text{Inchamento da Espessura (I)} = \frac{E_1 - E_0}{E_0} * 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Em que:

I = Inchamento da espessura (%)

E₁ = Espessura do corpo-de-prova após o período de imersão (mm)

E₀ = Espessura do corpo-de-prova antes da imersão (mm)

Para o cálculo de absorção em água, utilizou-se a Equação 8.

$$\text{Absorção em água (A)} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Em que:

A = Absorção de água (%)

M1 = Massa do corpo-de-prova após imersão (g)

M₀ = Massa do corpo-de-prova antes da imersão (g)



Figura 32: Corpos-de-prova de Amapá e Cumaru imersos em água para testes de absorção e inchamento, respectivamente.

- *Testes Mecânicos*

• **Flexão Estática:** *Módulo de Ruptura (MOR), Módulo de Elasticidade (MOE)* – Os ensaios de módulo de ruptura e elasticidade nos corpos-de-prova com dimensões de 250 x 50 (Figura 33 a) mm foram feitos em uma Máquina Universal de Ensaio AMSLER, capacidade de 250 kN (Figura 33 b e c). Para o cálculo de MOR e MOE, utilizou-se as equações 9 e 10.

$$\text{MOR} = \frac{1,5 * (P * D)}{B * (E)^2} \quad (\text{Equação 9})$$

Em que:

P = Carga da ruptura (N)

D = Distância entre os apoios do aparelho (mm)

B = Largura do corpo-de-prova (mm)

E = Espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova (mm)

$$MOE = \frac{(P1 * D^3)}{d * 4 * B * E^3} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:

P1 = Carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N)

D = Distância entre os apoios do aparelho (mm)

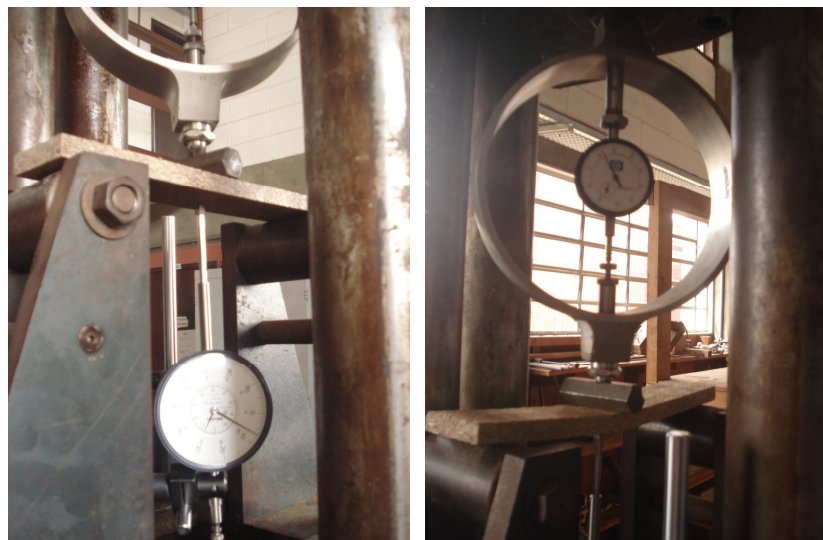
d = Deflexão (mm), correspondente à carga P1

B = Largura do corpo-de-prova (mm)

E = Espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova (mm)



(a)



(b)

(c)

Figura 33: Corpos-de-prova (a) antes; (b) Durante o ensaio de Flexão estática; (c) Após o ensaio, corpo-de-prova rompido.

- *Tração Perpendicular:* Os corpos-de-prova com dimensões 50 x 50 mm foram colados com blocos de eucalipto na superfície com araldite e acondicionados durante 48 horas. Após este período, foram submetidos os corpos-de-prova em uma Máquina Universal

de Ensaio AMSLER com uma velocidade de 4 mm/min (Figura 34). O cálculo de resistência à tração perpendicular é feito através da Equação 11:

$$\text{Tração Perpendicular (TP)} = \frac{P}{S} \quad (\text{Equação 11})$$

Em que:

P = Carga na ruptura (N);

S = Área da superfície do corpo-de-prova (mm²).



Figura 34: Corpos-de-prova (a) antes; (b) Durante o ensaio, corpo-de-prova se rompendo.

- *Arrancamento de Parafuso:* Os corpos-de-prova com dimensões de 150 x 75 mm foram perfurados, com auxílio de uma broca, no centro do corpo-de-prova. Em seguida, introduziu-se o parafuso e acoplou-se ao acessório da Máquina Universal de Ensaio AMSLER (Figura 35). Os ensaios foram feitos a uma velocidade de 15 mm/min. O resultado foi obtido no indicador de cargas.



Figura 35: Corpo-de-prova de Amapá em ensaio de arrancamento de parafuso.

3.2.5 Análise estatística

A relação funcional entre as variáveis numéricas estudadas (resíduo e resina) foram analisadas através da regressão linear com o intuito de verificar se houve interação significativa entre as variáveis x_1 (resíduo) e x_2 (resina) e sua interação x_1x_2 (resíduo e resina) nos níveis estudados. O modelo geral baseado nas análises estatísticas é representado pela Equação 12:

$$y = A + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \delta_{12} x_1x_2 \quad (\text{Equação 12})$$

Em que: y = Variável resposta ou dependente

x_1 e x_2 = Variáveis explicativas (resíduo e resina)

A = Média global

β_1 e β_2 = Parâmetros (valor da variável explicativa no processo)

δ_{12} = Interação (resíduo e resina)

As quantidades de resíduos e resina estudadas na 2ª ETAPA foram escolhidas com base em um planejamento experimental Fatorial 2^2+1 (*Factorial Experimental Design – FED*)(NETO *et al*, 1995), submetidos à análise de variância à 5% e sendo discutidos e analisados através de gráficos de curvas de nível e dos efeitos de cada variável através do teste t e do valor de F, calculado na Análise de Variância (ANOVA).

As condições escolhidas foram baseadas nos resultados encontrados na 1ª ETAPA, ou seja, foi mantido o ponto cujas condições de processo foram 15% de resina e 1000 g de

resíduo, e a partir deste ponto, traçou-se referenciais centrais quanto a quantidade de resíduos e porcentagens de resina a serem utilizados nesse planejamento (Figura 36). Foram feitos 4 corpos-de-prova para cada nível, com exceção do ponto central em que foram realizados 8 corpos-de-prova, total de 24 corpos-de-prova. Esse planejamento estatístico se dará pelos resultados das variáveis explicativas (resíduo, resina e resíduo + resina, respectivamente).

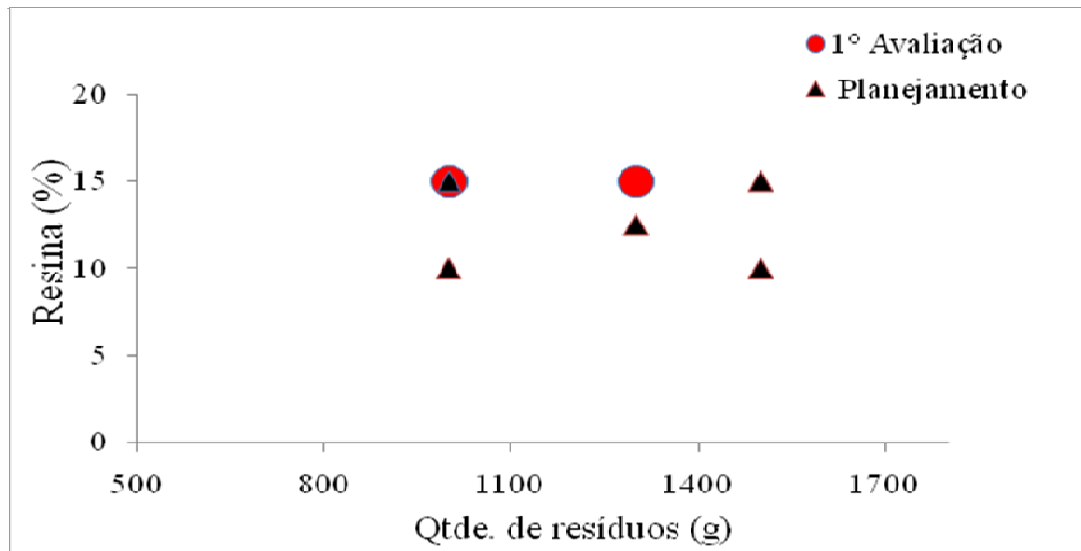


Figura 36: Condições de processo para o planejamento experimental.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados obtidos ao longo do trabalho, incluindo a caracterização dos resíduos de Cumarurana (*dipteryx polyphylla*), Cumaru (*dipteryx odorata*) e Amapá (*brosimum parinariensis*) e também a caracterização dos painéis produzidos.

4.1 Caracterização de Resíduos

4.1.1 Ensaio físicos com os resíduos de Cumarurana

A porcentagem na perda de massa relativa ao teor de umidade do resíduo de Cumarurana foi de 11,1%, massa inicial de 0,99 gramas e porcentagem de sólidos de 88,9%.

A densidade básica da madeira foi realizada em três amostras (Figura 10) com área em torno de 2,56 x 1,96 x 1,52 cm³ e a média das densidades foram calculadas em torno de 0,6759 g/cm³ (Tabela 3). Esse resultado é característico de madeira de média densidade.

Tabela 3: Resultados de densidade básica da Cumarurana.

	CA1	CA2	CA3
Densidade básica (g/cm ³)	0,6799	0,7839	0,5638
Média	0,6759		
Desvio padrão	0,1110		

QUIRINO *et al* (2004), que analisou diversas espécies florestais entre elas, a Cumarurana, encontrou o valor de densidade básica de 0,83 g/cm³ para esta espécie.

A densidade é considerada um parâmetro de maior importância para determinação da qualidade da madeira, pois ela indica a quantidade aproximada de espaços vazios disponíveis para receber líquidos, como por exemplo, os adesivos. E então quanto menor for a densidade, maior será a permeabilidade de sua estrutura, e provavelmente mais forte será sua ligação interfacial entre o adesivo e o material lignocelulósico (MARRA, 1992).

A densidade básica da madeira pode variar em função da taxa de crescimento, local, espaçamento, idade, procedência e espécie e esta variação individual evidencia o potencial de seleção das espécies dentro das procedências para altas taxas de crescimento, aliadas a altas ou baixas densidades da madeira (ROCHA *et al*, 1983). No caso dos resultados encontrados neste trabalho, apresentam-se próximos aos encontrados na literatura.

4.1.2 Ensaio químicos com os resíduos de Cumarurana

4.1.2.1 Teor de cinzas

As análises de teor de cinzas dos resíduos de Cumarurana estudados foram feitos em duplicata e as porcentagens de cinzas foram de 2,39 e 2,29 % (Tabela 4), respectivamente. Essa porcentagem é o teor inorgânico existente no resíduo da madeira.

Tabela 4: Resultados do teor de cinzas da Cumarurana.

	CA1	CA2
Teor de cinzas (g) (%)	0,912 (2,39)	0,908 (2,29)
Média (g) (%)	0,910 (2,34)	
Desvio padrão	0,003	

O teor de cinzas encontrado na Cumarurana foram superiores aos de Souza *et al.* (2009), que utilizou como base para suas análises de cinzas a norma ASTM e cujas espécies analisadas foram *Duckeodendron cestroides* (pupunharana) (Db: 0,70 g/cm³) e *Qualea homosepala* (mandioqueira) (Db: 0,75 g/cm³), madeiras tropicais de média densidade, que apresentaram um teor de cinzas de 0,27% e 1,82%, respectivamente.

Segundo Klock *et al.* (2005), madeiras de zonas temperadas apresentam teor de cinzas entre 0,2 - 0,5% e madeiras de zonas tropicais apresentam, mais freqüentemente valores mais altos e que podem conter até 5% de teor de cinzas. Os resultados de teor de cinzas na espécie Cumarurana apresentou uma média de 2,34% dentro da faixa citada pelo autor anteriormente.

4.1.2.2 Extrativos orgânicos

A análise do teor de extrativos foi feita em duplicata. Os resultados de teor de extrativos orgânicos solúveis no ciclohexano/etanol com a Cumarurana foram de 0,736 e 0,658 g (Tabela 5), respectivamente.

Tabela 5: Resultados de teor de extrativos orgânicos da Cumarurana.

	CA1	CA2
Teor de extrativos orgânicos (g) (%)	0,736 (8,17)	0,658 (7,29)
Média (g) (%)	0,697 (7,73)	
Desvio padrão	0,039	

A quantidade de extrativos presentes em folhosas está na faixa de 2 – 4%, podendo chegar a valores superiores a 10% na madeira de espécies de regiões tropicais (KLOCK *et al*, 2005). Os teores de extrativos encontrados foram em torno de 7 a 8% nas duas amostras analisadas.

4.1.2.3 Lignina Klason (insolúvel) e solúvel

A porcentagem de lignina Klason em ácido sulfúrico 72% foi determinada em duplicata. Os resultados são apresentados na tabela 6:

Tabela 6: Resultados de teor de Lignina Klason Cumarurana (CA1 e CA2).

	CA1	CA2
Teor de lignina Klason (g) (%)	0,373 (36,67)	0,369 (36,48)
Média (g) (%)	0,371 (36,58)	
Desvio padrão	0,002	

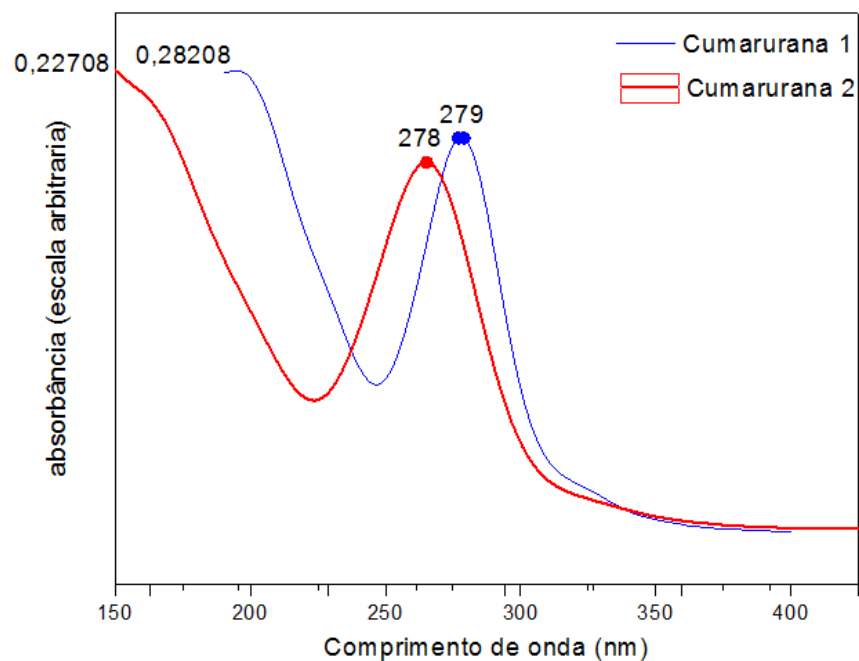
Segundo Klock *et al*, (2005) a lignina ocorre entre 15 a 35% de seu peso e é o terceiro componente mais importante da madeira. De acordo com Iwakiri (2005), as propriedades químicas da madeira mais importantes na colagem de madeiras são os extrativos, o pH e o teor de cinzas, porém, Brown *et al* (1952) concluiu em suas pesquisas que as forças de coesão e adesão das fibras aumentam com o decréscimo do conteúdo de lignina.

A quantidade de lignina solúvel analisada por espectroscopia na região do ultravioleta (UV/VIS), em que foram medidas as absorvâncias a 215 e 280 nm deram resultados de 0,008 g/L e 0,006 g/L, respectivamente, nas amostras em duplicata, Tabela 7.

Tabela 7: Resultados de teor de Lignina Solúvel Cumarurana (CA1 e CA2).

	CA1	CA2
Teor de lignina Solúvel (g/L) (%)	0,008 (0,74)	0,006 (0,59)
Média (g/L) (%)	0,007 (0,66)	
Desvio padrão	0,001	

De modo geral, analisando a Figura 37 da análise espectrofotométrica feita com a Cumarurana observa-se que os espectros apresentaram características de lignina, com absorvância máxima em 279 nm (FENGEL *et al*, 1984).

**Figura 37: Análise em espectrofotômetro de ultravioleta detectado nas amostras em duplicata de Cumarurana.**

Experimentos realizados por Fernandes (2005) concluem que a presença de lignina na madeira retarda a degradação fotoquímica da celulose e este comportamento é explicado pela alta capacidade que a lignina possui de absorver a luz UV e também pela sua grande capacidade de auto-oxidação.

O teor de lignina encontrado no presente estudo é significativo e conclui-se que o percentual de lignina obtido acima do citado em literatura teve influência nas forças de coesão e adesão das fibras da madeira comprometendo a resistência mecânica do compósito.

4.1.2.4 Teor de Celulose e Hemiceluloses

A análise cromatográfica líquida de alto desempenho mostrou que os resíduos de *dipteryx polyphylla* contêm os seguintes teores de celuloses e hemiceluloses em sua composição, conforme mostrado na Tabela 8:

Tabela 8: Resultados de teores de celulose e hemiceluloses da Cumarurana.

	CA1	CA2	Média	Desvio padrão
% Celulose*	44,70	45,08	44,89	0,26
% Hemiceluloses **	16,90	14,20	15,55	1,91

(*) (celobiose, glicose, ácido fórmico, furfural), (**) (ácido glucourônico, xilose, arabinose, ácido acético, furfural)

Os resultados de celulose obtidos apresentaram-se em conformidade com o estabelecido por Klock *et al*, (2005) indicando que a porcentagem de celulose em madeiras folhosas é em torno de 45% e o encontrado foi de 44,9%. Porém, a porcentagem de hemiceluloses encontradas neste estudo foi menor em comparação ao proposto por Klock *et al* (2005), que cita 30% para madeiras folhosas.

Por outro lado, quantidades extremamente altas de hemiceluloses podem resultar em um decréscimo das propriedades de resistência à tração e ao estouro do painel, não devido ao efeito de ligação, mas possivelmente devido à diminuição da resistência da fibra individual, em decorrência do decréscimo do grau médio de polimerização do sistema (KLOCK *et al*, 2005).

Os resultados de hemiceluloses obtidos neste trabalho, abaixo da literatura, podem ter influenciado na resistência das fibras de madeira, pois conforme Wikberg & Maunu (2004), a função das hemiceluloses são de proporcionar suporte mecânico às fibras de celulose.

4.2 Ensaios físicos com os resíduos de Cumarú e Amapá

Antes de iniciar a produção dos painéis, foi feita a verificação do teor de umidade nos resíduos de Cumarú. Conforme Maloney (1989), a umidade das partículas tem elevada importância na produção dos painéis e deve situar-se em torno de 5%. As partículas mais úmidas colaboram para um aumento da umidade do colchão, o que pode levar à formação de grande quantidade de vapor. Este fato pode causar inconvenientes na formação dos painéis,

pois como a pressão é maior nas superfícies e no centro, o vapor tende a deslocar-se para o miolo do painel e na abertura da prensa, sua descompressão pode causar um estouro do painel.

Já as partículas mais secas, abaixo de 5%, possuem pouca elasticidade e não se unem bem, concorrendo para má adesão entre suas superfícies e o adesivo. KLOCK *et al* (2005) afirma que não é comum analisar amostras completamente secas, devido a possíveis mudanças na sua estrutura e composição que acontecem durante a secagem e a dificuldade de pesagem de amostras sem a absorção de umidade do ambiente.

Assim é importante estabelecer a umidade ideal das partículas de tal modo que permita uma plasticidade das partículas suficiente para uma perfeita colagem.

Conforme análise feita no resíduo, o teor de umidade inicial encontrado foi de 10,2%, massa inicial de 0,98 gramas e percentual de sólidos de 89,8%. Então, para reduzir o teor de umidade foi feita a secagem ao ar livre e sol, controlando diariamente o teor de umidade, até atingir a umidade mínima requerida para a produção dos painéis. A análise de teor de umidade no resíduo de Cumaru feita após a secagem foi de 5,6 %, massa inicial de 1,08 gramas e porcentagem de sólidos de 94,4%.

A análise de teor de umidade nos resíduos de Amapá foi de 8,9%, massa inicial de 1,01 gramas e porcentagem de sólidos de 91,1%. A madeira Amapá conforme Richter *et al* (2009) apresenta características de média densidade. E por ser uma madeira mais leve, permite maior compressibilidade e área de partículas maior para um mesmo peso, o que resulta em um melhor contato entre elas, conseqüentemente, numa melhor colagem (HILLIG, 2000).

A densidade básica foi calculada utilizando das madeiras foram feitas com 3 corpos-de-prova de dimensões em torno de 3x3x3 cm³, cujos resultados são apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Resultados da densidade básica Cumaru (C1 a C3) e Amapá (A1 a A3).

	C1	C2	C3	A1	A2	A3
Densidade básica (g/cm³)	0,868	0,855	0,872	0,535	0,558	0,539
Média	0,865			0,544		
Desvio padrão	0,008			0,012		

Os dados obtidos com a densidade básica do Cumaru foram próximos de Gonzaga (2006) característico de madeira de alta densidade. Já a madeira de Amapá, cuja característica é de media densidade, apresentou resultado próximo ao encontrado por Lima (2011).

Maloney (1993) afirma que as espécies com densidade de até 0,55 g/cm³ são as mais adequadas para produção de painéis de partículas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6, considerada faixa ideal para o processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final. A densidade da madeira Amapá condiz com a citação acima e seus resultados de RC alcançaram resultados variando de 1,3 a 1,6.

4.2.1 Ensaios químicos com os resíduos de Cumaru e Amapá

4.2.1.1 Teor de cinzas

Os ensaios foram feitos em triplicata e seguindo os mesmos procedimentos das análises anteriores. Os resultados encontrados da espécie Cumaru e Amapá encontram-se na tabela 10:

Tabela 10: Resultados do ensaio de teor de cinzas Cumaru e Amapá.

	C1	C2	C3	A1	A2	A3
Teor de cinzas (g) (%)	1,017 (1,79)	1,007 (1,82)	1,003 (1,55)	1,004 (2,11)	1,005 (1,67)	1,004 (2,02)
Média (g) (%)	1,009 (1,72)			1,004 (1,93)		
Desvio padrão	0,007			0,000		

SILVA *et al*, (2009) que analisou a madeira Cumaru, mas utilizando a norma ASTM 1102-56, encontrou valores de 0,3% para teor de cinzas, abaixo dos valores encontrados neste trabalho. Os resultados encontrados por SOUZA *et al* (2009) com espécies de média densidade como *Duckeodendron cestroides* e *Qualea homosepala* apresentaram valores inferiores a madeira estudada Amapá. Isso pode ser devido à temperatura utilizada no ensaio, 600° C, causando maior degradação do material.

Conforme Klock *et al* (2005), citado anteriormente, madeiras de zonas tropicais apresentam, mais freqüentemente valores mais altos e podem conter até 5% de teor de cinzas. E os resultados de cinzas obtidos com Cumaru e Amapá foram mais baixos que o citado por Klock *et al* (2005) com média de 1,72% e 1,93%, respectivamente.

4.2.1.2 Extrativos orgânicos

Os resultados do teor de extrativos orgânicos foram feitos em triplicata. O resultado apresenta-se na tabela 11:

Tabela 11: Resultados do teor de extrativos orgânicos Cumaru e Amapá.

	C1	C2	C3	A1	A2	A3
Teor de extrativos orgânicos (g) (%)	2,466 (17,83)	2,673 (19,73)	2,318 (17,41)	1,225 (9,84)	2,119 (15,59)	1,080 (8,15)
Média (g) (%)	2,486 (18,32)			1,475 (11,19)		
Desvio padrão	0,178			0,563		

Verificou-se que os resultados de teor de extrativos do Cumaru apresentaram-se maiores que o de Amapá. As porcentagens de extrativos do Cumaru foram em média 18% e na espécie Amapá apresentou resultados em torno de 11%.

De acordo com Iwakiri *et al*, (2012), a influência dos extrativos na polimerização e cura do adesivo é relatada por vários pesquisadores. Os extrativos podem afetar as reações de polimerização da resina, influenciando na qualidade dos painéis produzidos (LIMA *et al*, 2007). MARRA (1992) afirma que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem resultando em baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas.

4.2.1.3 Lignina Klason (insolúvel) e solúvel

As análises de lignina insolúvel foram feitas em triplicata. A lignina insolúvel encontrada nos resíduos de Cumaru apresentou média de 0,659 g com desvio padrão de 0,005. Os resíduos de Amapá apresentaram média de 0,710 g e desvio padrão de 0,002, conforme apresentados na tabela 12:

Tabela 12: Resultados do teor de lignina Klason Cumaru (C1, C2 e C3) e Amapá (A1, A2 e A3).

	C1	C2	C3	A1	A2	A3
Teor de lignina Klason (g) (%)	0,665 (34,01)	0,656 (34,52)	0,657 (34,33)	0,710 (29,33)	0,707 (29,35)	0,712 (29,20)
Média (g) (%)	0,659 (34,29)			0,710 (29,29)		
Desvio padrão	0,005			0,002		

Os teores de lignina insolúvel e solúvel encontradas neste trabalho não foram significativos a ponto de prejudicarem a adesão entre a madeira e o adesivo. BROWN *et al* (1952) demonstraram através de suas análises, que as forças de coesão e adesão das fibras aumentam com o decréscimo do conteúdo de lignina. Este fato reforça a tese de que a adesão entre madeira e adesivo está relacionada com ligações químicas e demonstra ser um fenômeno que ocorre diferentemente ao longo das camadas da parede celular.

As análises químicas de lignina solúvel analisadas por espectroscopia na região ultravioleta com amostras de Cumaru e Amapá foram feitas em triplicata e nos comprimentos de 215 e 280 nm apresentaram uma média de 0,014 g/L (1,43%) e 0,006 g/L (0,63%), respectivamente, conforme mostra Tabela 13.

Tabela 13: Resultados do teor de lignina Solúvel Cumaru (C1, C2 e C3) e Amapá (A1, A2 e A3).

	C1	C2	C3	A1	A2	A3
Teor de lignina Solúvel (g/L) (%)	0,013 (1,28)	0,015 (1,53)	0,014 (1,49)	0,007 (0,74)	0,006 (0,58)	0,005 (0,57)
Média (g/L) (%)	0,014 (1,43)			0,006 (0,63)		
Desvio padrão	0,001			0,001		

Os resíduos de Cumaru apresentaram maior teor de lignina solúvel que o Amapá.

Os maiores picos com Cumaru aconteceram na região de 205 e 278 nm e suas absorbâncias podem ser verificadas na Figura 38. Devido a algum erro no programa, não foi possível mostrar o nível da curva da 3ª amostra da espécie Cumaru.

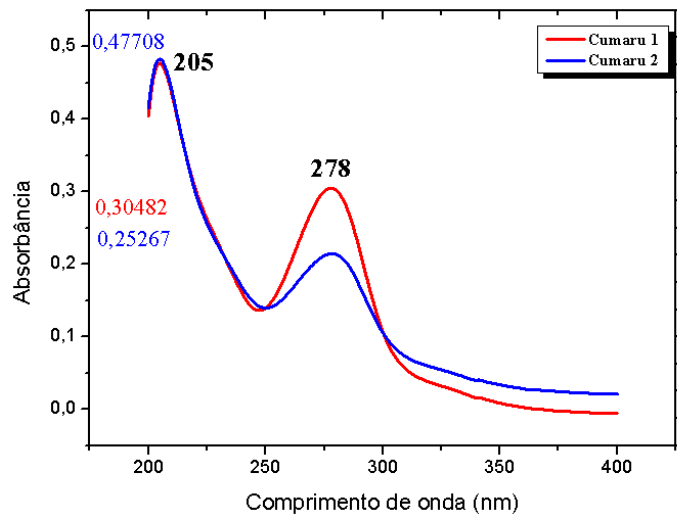


Figura 38: Análise em espectrofotômetro de ultravioleta detectado nas amostras.

O conteúdo de lignina solúvel encontrado nos resíduos de Cumaru não teve influência negativa nas propriedades mecânicas dos painéis. A adesão entre a madeira e o adesivo está relacionada a forças mecânicas e químicas e que não só a adesão mecânica é suficiente para explicar a resistência das juntas coladas de madeira (BROWN *et al*, 1952).

Seus maiores picos foram no comprimento de onda de 205 e 278 nm e suas absorvâncias podem ser verificadas na Figura 39.

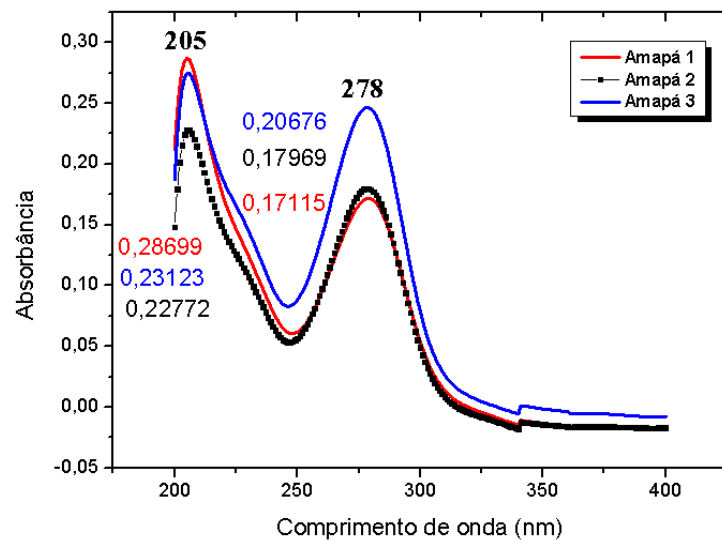


Figura 39: Análise em espectrofotômetro de ultravioleta detectado nas amostras em triplicata da espécie Amapá.

4.2.1.4 Teor de Celulose e Hemiceluloses – Cumaru e Amapá

Os teores de celulose e hemiceluloses encontrados através da análise cromatográfica de alto desempenho estão mostrados na tabela 14.

Tabela 14: Resultados de teores de celulose e hemiceluloses do Cumaru.

	C1	C2	C3	Média	Desvio padrão
% Celulose*	45,76	48,42	46,21	46,79	1,42
% Hemiceluloses**	11,15	12,10	11,33	11,53	0,50

(*) (celobiose, glicose, ácido fórmico, furfural), (**) (ácido glucourônico, xilose, arabinose, ácido acético, furfural)

A porcentagem de celulose obtidas nesta análise com resíduos de Cumaru estão de acordo com que Klock *et al*, (2005), ou seja, para composições médias de madeiras folhosas.

A celulose possui alta resistência à tração e é insolúvel na maioria dos solventes. As moléculas de celulose tendem a formar pontes de hidrogênio intramoleculares (entre unidades de glucose da mesma molécula) e esta interação é responsável por certa rigidez das cadeias unitárias (D'ALMEIDA In: SENAI & IPT, 1988).

O teor de hemiceluloses encontrado nos resíduos de Cumaru apresentou média de 11,53%, abaixo do valor citado por Klock *et al* (2005) de 30% e Gonzaga (2006) que cita o teor de hemiceluloses de 20% a 28% nos tecidos das folhosas.

As análises cromatográficas de alta resolução com resíduos de Amapá são mostradas na Tabela 15 e apresentaram uma média de teor de celuloses e hemiceluloses de 50,97% e 12,32%, respectivamente.

Tabela 15: Resultados de teores de celulose e hemiceluloses do Amapá.

	A1	A2	A3	Média	Desvio padrão
% Celulose*	53,05	51,32	48,54	50,97	2,28
% Hemiceluloses **	12,57	12,45	11,93	12,32	0,34

(*) (celobiose, glicose, ácido fórmico, furfural), (**) (ácido glucourônico, xilose, arabinose, ácido acético, furfural)

O teor de celulose e hemiceluloses encontradas nos resíduos de Amapá foram maiores aos encontrados com resíduos de Cumaru. KLOCK *et al* (2005) afirma que o teor de celulose em folhosas varia de $45 \pm 2\%$, e os resíduos de Amapá apresentaram resultados superiores. Já o teor de hemiceluloses, o Amapá apresentou média de 12%, valor inferior ao citado por Klock *et al*, (2005).

4.3 Caracterização dos Painéis de Cumarurana

4.3.1 Ensaio físicos

4.3.1.1 Densidade aparente

A norma ABNT 14810-2 (2006) especifica que a densidade aparente em painéis aglomerados acima de $0,80 \text{ g/cm}^3$ são considerados painéis de alta densidade.

Os resultados de densidade aparente nos painéis de Cumarurana, tanto para painéis de 1000 g quanto para painéis a 1300 g apresentaram características de alta densidade, conforme apresentado na Figura 40.

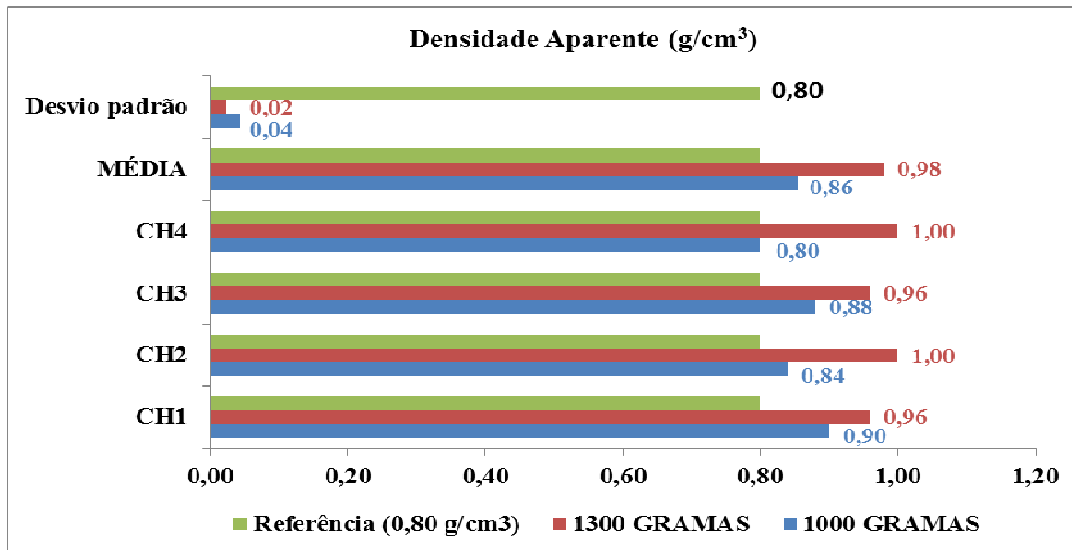


Figura 40: Resultado comparativo da densidade aparente nos painéis de Cumarurana.

A densidade aparente obtida com os painéis de Cumarurana foi superior à densidade básica da madeira que apresentou características de média densidade. Segundo Mitlin (1968) as partículas de madeira devem ser comprimidas de tal forma que se obtenha uma densidade do painel ao menos 5% maior que a densidade da madeira que lhe deu origem, para conseguir propriedades mínimas aceitáveis. A densidade aparente obtida foi maior que 5% da densidade básica da madeira (5% Db: 0,710 g/cm³).

4.3.1.2 Razão de compactação (RC)

Os resultados da Tabela 16 apresentaram-se na faixa aceitável indicada por Mitlin (1986).

Tabela 16: RC dos painéis de Cumarurana.

Densidade do painel de Cumarurana	(D _M) (g/cm ³)	D _P (g/cm ³)	RC
1000 g	0,6759	0,858	1,3
1300 g		0,978	1,4

Os resultados mostram que a densidade básica da madeira de média densidade com painéis de alta densidade favoreceu uma RC numa faixa aceitável por Moslemi (1974) e Maloney (1993). CLOUTIER (1998) afirma que uma densidade mais baixa da madeira promove uma RC mais elevada e, por conseguinte, uma maior superfície de contato entre as partículas em comparação a uma madeira de densidade mais alta.

4.3.1.3 Teor de umidade

A média do teor de umidade nos painéis aglomerados com 1000 gramas foi de 7,4%, acima do valor médio obtido para os painéis com 1300 gramas de 6,6% (Figura 41).

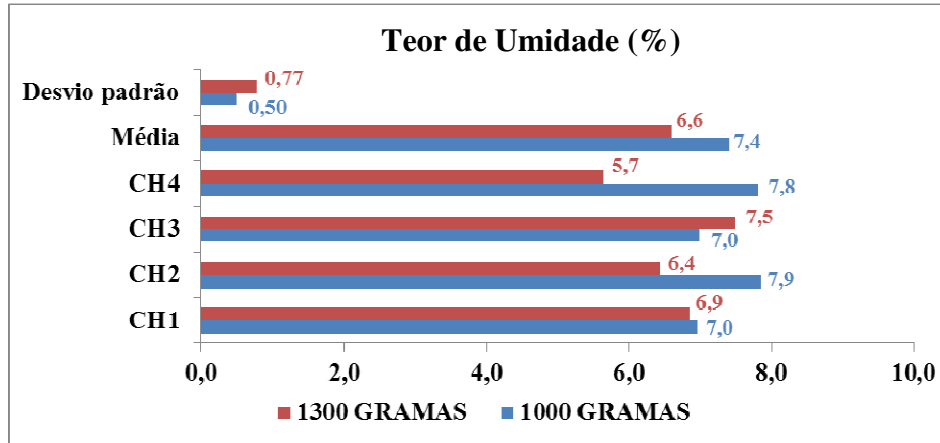


Figura 41: Teor de Umidade nos painéis de Cumarurana.

Silva *et al* (2008) diz que se o teor de umidade das partículas estiver alto é necessário secá-las até atingir um teor de umidade de 3 a 6 %, pois, o uso de partículas com alto teor de umidade inicial, pode resultar em umidade final acima do recomendado e como consequência ocorrer a formação de bolhas durante a prensagem. Apesar do teor de umidade inicial das partículas encontrado ter sido de 11,1%, não havendo secagem antes da fabricação dos painéis, verificou-se que não houve a formação de bolhas durante o processamento dos painéis e o teor de umidade nos painéis apresentaram valores de 7,4 e 6,6%, respectivamente. Portanto, a umidade não influenciou no produto final.

4.3.1.4 Inchamento em água

As análises de inchamento no período de 2 horas foram satisfatórias, não ultrapassando o máximo recomendado pela norma ABNT 14810-2 (2006) que é de 8%. Os painéis de 1000 g atingiram uma média de 1,7% e os painéis de 1300 g de 4,6%, conforme mostra Figura 42.

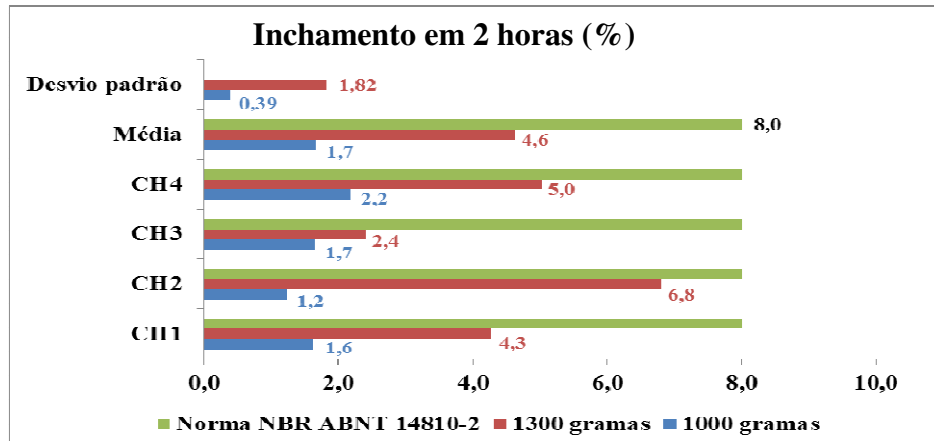


Figura 42: Resultados dos testes de Inchamento em 2 horas com painéis de Cumarurana.

A causa da maior taxa de inchamento provavelmente deve-se a maior densificação do painel. IWAKIRI *et al*, (2012), que trabalhou com várias espécies de madeiras tropicais da Amazônia, entre elas o *Scleronema micranthum* (Cardeiro) (Db: 0,70 g/cm³) e o *Ocotea sp.* (Louro) (Db: 0,65 g/cm³), utilizando a resina uréia-formaldeído, obtiveram resultados de inchamento em espessura em 2 horas de 5,71% e 4,01%, respectivamente. Seus resultados foram superiores aos encontrados com a Cumarurana a 1000 g e próximo ao encontrado com painéis a 1300 g.

O inchamento dos painéis a 1000 g em 24 h tiveram uma média de 6,7% (Figura 43). Já os painéis com 1300 g tiveram uma média de inchamento de 9,6%. Os resultados de inchamento em 24 h foram inferiores aos de Iwakiri (2012) que obtiveram valores médios de 14,70% com o Cardeiro e 10,97% com o Louro.

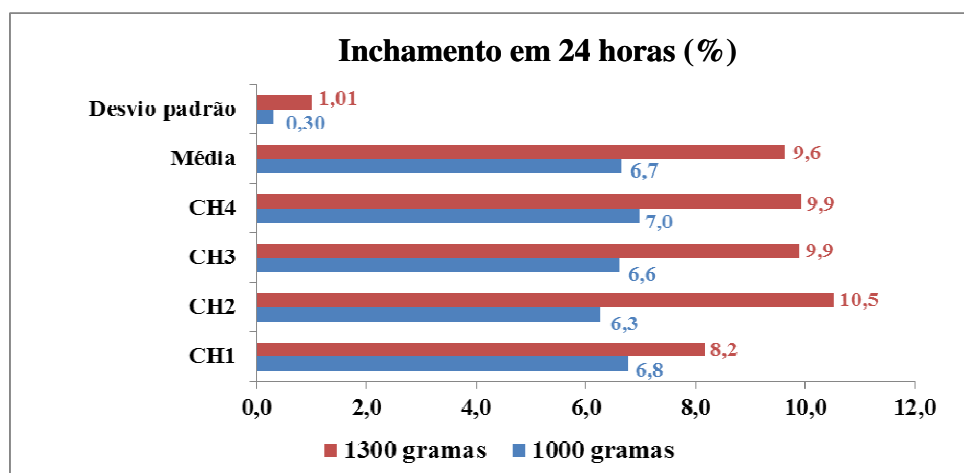


Figura 43: Resultados dos testes de Inchamento em 24 horas com painéis de Cumarurana.

Segundo Brito (1995) o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis. Essa propriedade pode ser afetada pela espécie da madeira, geometria das partículas, densidade dos painéis, teor de resina, eficiência na aplicação da resina e condições de prensagem.

Fazendo-se uma comparação com os resultados da Figura 42 e 43, observou-se que os painéis de 1000 g e 1300 g obtiveram aumento no inchamento em 24 horas na mesma proporção, de 2,9% e conforme Iwakiri *et al* (2010), painéis mais densos, seu inchamento higroscópico é maior e os painéis evoluíram para maiores taxas de inchamento.

4.3.1.5 Absorção em água

Nas análises de absorção de água em 2 horas, verificou-se que os painéis com 1000 g absorveram mais água que os painéis de 1300 g, com média de 3,9% (Figura 44). A média dos resultados de absorção de água dos painéis de 1300 gramas foi de 2,2%. A norma NBR ABNT 14810-2 (2006) não cita especificação para absorção em água.

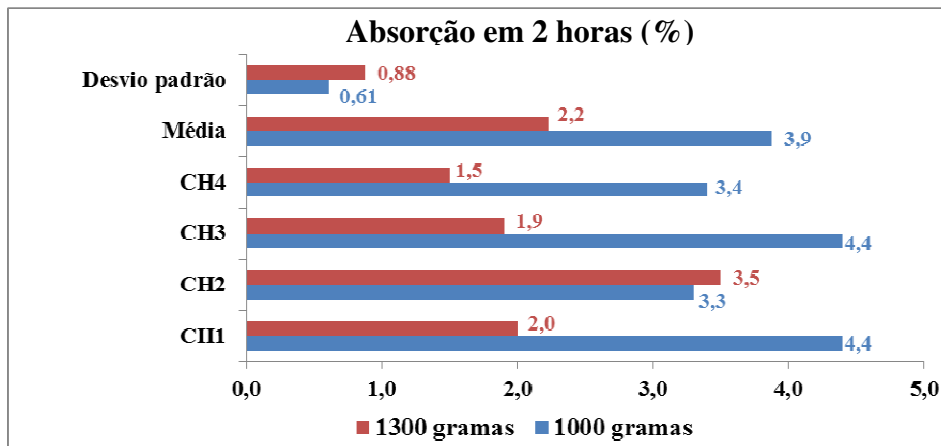


Figura 44: Resultado de Absorção de Água em 2 horas nos painéis de Cumarurana.

VITAL *et al* (1974) concluíram que painéis com maior razão de compactação (1,6) apresentaram menor absorção de água quando comparado à painéis com menor razão de compactação (1,2). Eles atribuíram a redução da porosidade e aumento na quantidade de material lenhoso, como prováveis causas da menor taxa de absorção de água.

Os resultados de absorção de água em 24 horas com os painéis de 1000 gramas (Figura 45) apresentaram média de 10,3%, enquanto que os painéis a 1300 gramas indicam menor valor de absorção, com 7,9%.

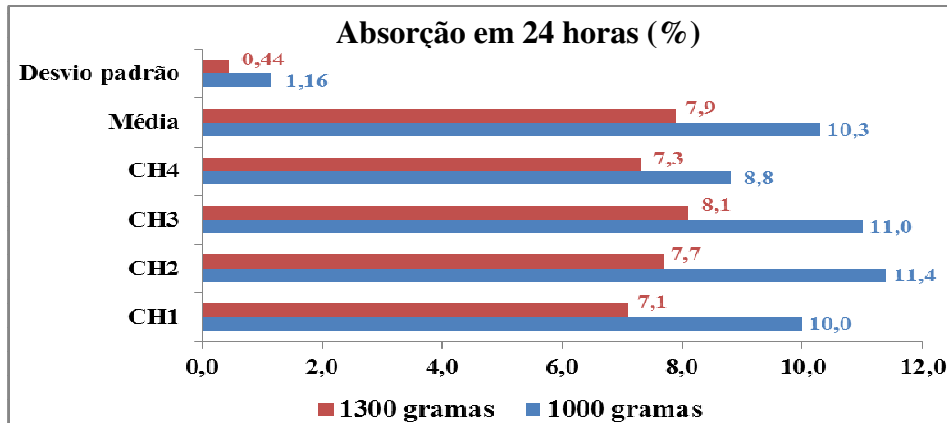


Figura 45: Resultado de absorção de água em 24 horas nos painéis de Cumarurana.

Os resultados de absorção de água nesta pesquisa comprovam as conclusões de Vital *et al* (1974). A razão de compactação com painéis de 1000 gramas foi de 1,3 e apresentaram maior taxa de absorção, enquanto os painéis de 1300 gramas com maior razão de compactação apresentaram a menor taxa de absorção.

4.4 Ensaios mecânicos preliminares

4.4.1 Módulo de Ruptura (MOR)

O MOR é uma propriedade importante na determinação de aplicabilidade do aglomerado como componente estrutural. Os ensaios de ruptura das amostras com 1000 e 1300 g de resíduos de Cumarurana (Figura 46) não atingiram a especificação mínima da norma NBR ABNT 14810-2 (2006), que cita o mínimo 18,0 MPa. Os resultados com painéis de 1000 g e 1300 g apresentaram média de 6,95 MPa e 11,50 MPa respectivamente.

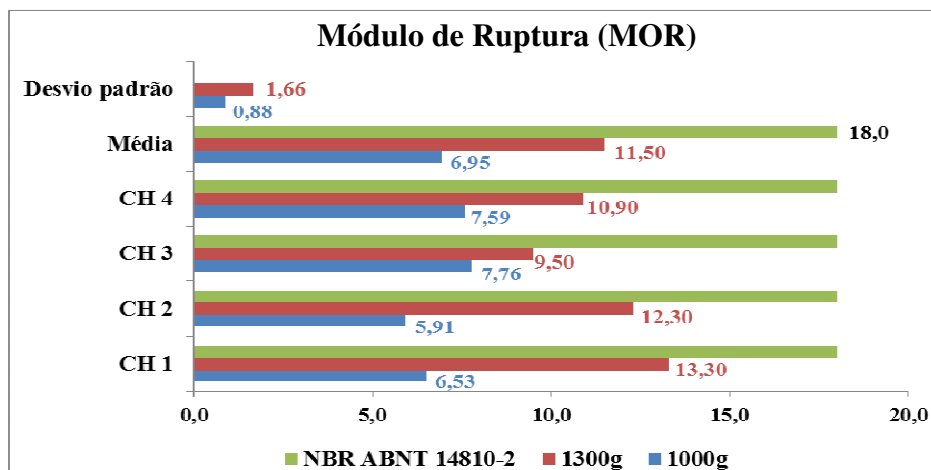


Figura 46: Resultados das análises de MOR nos painéis de Cumarurana.

O valor máximo encontrado no MOR com 1300 gramas foi a amostra CH1 com 13,3 MPa de resistência, 26,11 % menor que o especificado pela norma NBR ABNT 14810-2 (2006). Esta baixa resistência à ruptura pode ser causada pelo excesso de resina que foi utilizada, fazendo com que predomine uma matriz polimérica frágil e sem resistência a forças de tração (CALLISTER, 2002).

De acordo com Azambuja *et al* (2006) que produziram painéis aglomerados com resíduos de *Manilkara huberi* (Maçaranduba) ($\text{Db: } 0,83 \text{ g/cm}^3$), provenientes da região norte do Brasil mais precisamente do Pará e Maranhão, juntamente com 12% de resina uréia-formaldeído em função da massa seca, apresentaram uma média de MOR de 13,46 MPa, resultados maiores aos encontrados com painéis de Cumarurana.

CHOW e REDMOND (1981), afirmam que uma alta umidade relativa do ar e conseqüentemente alto teor de umidade de equilíbrio do painel resultam em redução da densidade do painel o que diminui o MOR. Verificou-se que os painéis de 1000 g de Cumarurana apresentaram teor de umidade mais alto (7,4%) e sua densidade aparente menor que os painéis de 1300 g (6,6%), resultando deste modo em baixas propriedades de MOR.

4.4.2 Módulo de Elasticidade (MOE)

A norma NBR ABNT 14810-2 (2006) não cita especificação para MOE. Verifica-se na Figura 47 que os resultados com painéis de Cumarurana em ambas as densidades foram abaixo do especificado, dando médias de 840 MPa e 1511 MPa, respectivamente.

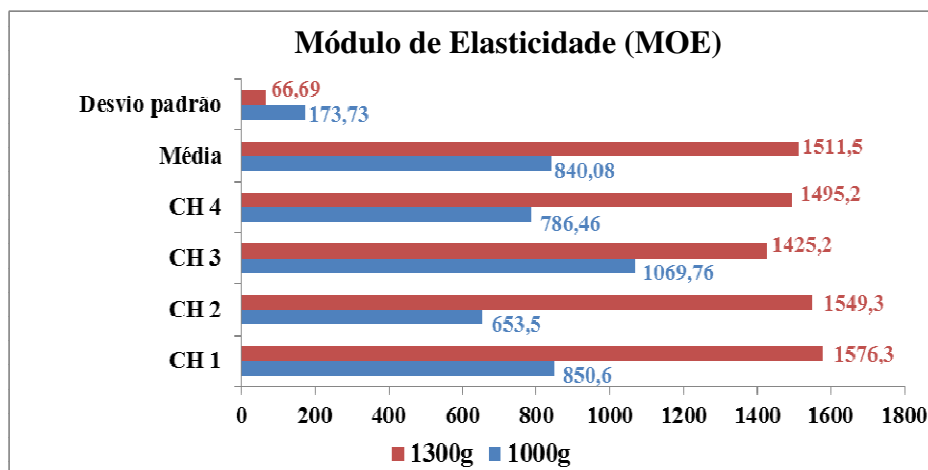


Figura 47: Resultado do MOE nos painéis de Cumarurana.

Fazendo uma comparação com Azambuja *et al* (2006), a média do MOE com painéis de *Manilkara huberi*, foi de 2316 MPa, valor maior que o encontrado neste trabalho.

Comparando com os resultados de Iwakiri *et al.* (2012), o *Scleronema micranthum* e o *Ocotea sp.*, apresentaram MOE de 2651 MPa e 3232 MPa, respectivamente, valores maiores aos encontrados nos painéis de Cumarurana.

CHOW E REDMOND (1981) afirmam que esses resultados provavelmente estão relacionados com o alto teor de umidade do painel, resultando em redução da densidade e consequentemente diminuição do MOE.

Segundo Klock (2000), embora o módulo de elasticidade não ofereça informações completas e reais sobre o comportamento de determinado material, pode-se concluir que valores altos de MOE indicam alta resistência e baixa capacidade de deformação do material, qualificando-o para fins estruturais. Porém os resultados encontrados mostram valores de MOE abaixo de outras espécies com densidades básicas próximas.

4.4.3 Arrancamento de Parafuso na Face

A norma NBR ABNT 14810-2 (2006) não cita especificação para arrancamento de parafuso na face para a espessura do painel estudado.

Os testes de Arrancamento de Parafuso na Face com amostras de 1000 g de resíduo de Cumarurana atingiram média de 387,9N e os painéis de 1300 g uma média de 617,1 N, conforme mostra Figura 48.

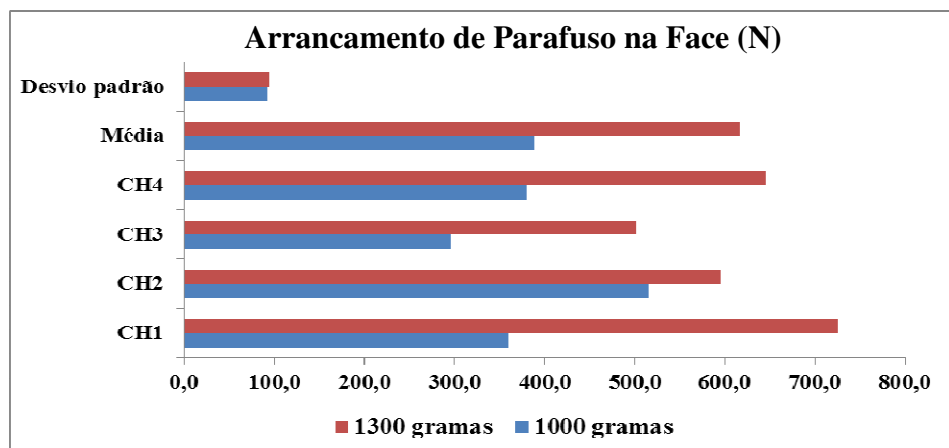


Figura 48: Resultado de Arrancamento de Parafuso na Face nos painéis de Cumarurana.

Segundo Kelly (1977), a umidade excessiva do painel interfere na reação química de polimerização da resina, e isso ocorre nas camadas mais internas do painel e assim que os pratos aquecidos da prensa tocam o material, há a transferência de calor entre as camadas e a umidade das camadas superficiais, mais aquecidas, migra para o interior do painel, menos aquecido, o que dificulta o processo de cura da resina. Isto pode ser a causa da baixa

resistência mecânica à ruptura, à elasticidade e ao arrancamento de parafuso na face dos painéis de Cumarurana.

De acordo com as afirmações de Chow e Redmond (1981) e Kelly (1977), conclui-se que a observação de Silva *et al* (2008) deveria ter sido levada em consideração antes da produção dos painéis.

4.4.4 Adesão interna ou Tração Perpendicular

Os resultados de Adesão Interna nos painéis de Cumarurana apresentaram resultados satisfatórios de acordo com os requisitos normativos da NBR ABNT 14810-2 (2006) que cita Tração Perpendicular mínima de 0,40 MPa. Os painéis a 1000 g apresentaram média de 0,82 MPa e os painéis a 1300 g 1,08 MPa (Figura 49).

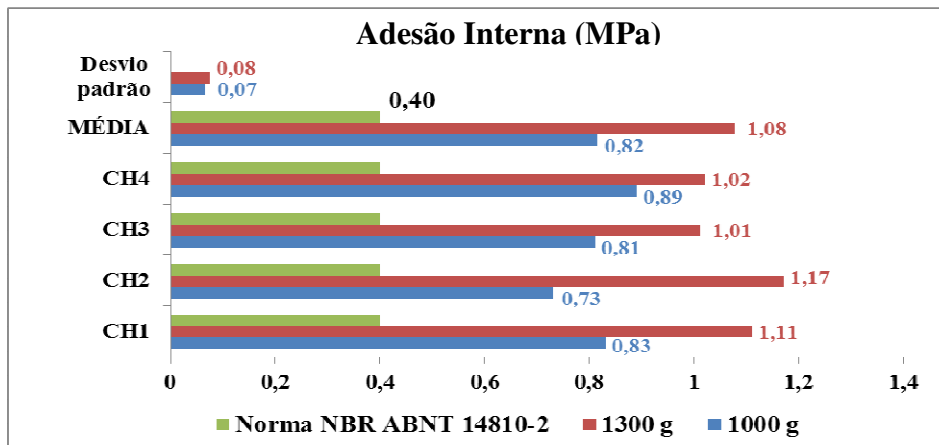


Figura 49: Resultado dos testes de Adesão Interna (Tração Perpendicular) nos painéis de Cumarurana.

Os resultados de tração perpendicular de Azambuja *et al* (2006) apresentaram uma média de 0,43 MPa, valor abaixo dos encontrados nos painéis de Cumarurana.

4.5 Planejamento experimental - Ensaios físicos dos painéis de Cumarú e Amapá na 2ª Etapa

As condições de processo utilizadas nesta 2ª Etapa são representadas na Tabela 17.

Tabela 17: Fatores e níveis de planejamento fatorial 2^2+1 .

	Nível inferior (-1)		Ponto central (0)	Nível Superior (+1)	
Quantidade de resíduos (g)	1000		1300	1500	
Quantidade de resina (%)	10	15	12,5	10	15

4.5.1 Painéis de Cumaru

4.5.1.1 Densidade aparente

Os resultados nos painéis de Cumaru apresentaram características de alta densidade. Os painéis produzidos com 1500 g de resíduos a 10 e 15% (Tabela 18) tenderam para maiores valores de densidade aparente, provavelmente por ter apresentado uma alta razão de compactação.

Tabela 18: Média das densidades aparente dos painéis de Cumaru.

Amostras	Condições de processo		Densidade aparente (g/cm ³)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	0,82 ± 0,09
2	1000	15	0,82 ± 0,10
3	1300	12,5	0,97 ± 0,09
4	1500	10	1,00 ± 0,05
5	1500	15	1,01 ± 0,08

As análises estatísticas foram obtidas através do programa *Statistica 6.0* e os resultados desta análise, com 95% de confiança, são apresentados na Tabela 19. Os efeitos individuais dos fatores resíduo e resina, bem como sua interação são determinadas pelos resultados do teste t, que apresentou um coeficiente de correlação $R^2 = 0,88$.

Analisando os resultados do planejamento estatístico, verifica-se que a variável resíduo foi significativa a 95% de confiança ($p < 0,05$), enquanto a variável resina e a interação entre elas não foram significativas ($p > 0,05$). O efeito da resina e interação foram baixos (0,0025 g/cm³ e 0,0045 g/cm³), com probabilidade de 87% e 77%, respectivamente, não sendo significativo no modelo.

Tabela 19: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – densidade aparente Cumaru; $R^2 = 0,88$ II.

	<i>efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	0,9358	0,0062	151,1165	0,0000
(1) Resíduo	0,1845	0,0152	12,1628	0,0000
(2) Resina	0,0025	0,0152	0,1648	0,8707
Interação	0,0045	0,0152	0,2966	0,7698

Fazendo uma análise conjunta dos coeficientes de regressão através da Análise da variância ANOVA (Tabela 20) mostra que o teste F calculado (147,93) foi maior que o valor de F tabelado ($F_{0,95;1,22} = 4,30$), nas condições de processo estudadas. Então os regressores são conjuntamente significantes a 5%.

Tabela 20: Resultados na ANOVA^V para a variável densidade aparente Cumaru com $R^2=0,88$.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}	p
Regressão	0,1362	1	0,1362	147,9341	0,0000
Resíduos	0,0000	1	0,0000	0,0272	
Falta de ajuste	0,0001	1	0,0001	0,0880	
Erro Puro	0,0184	20	0,0009		
Total SS	0,1547	23			

$F_{0,95;1,22} = 4,30$;

^It(1) – Distribuição de *Student*

^{II} R^2 – Coeficiente de correlação entre duas variáveis que são as respostas observadas e os valores previstos pelo modelo (NETO *et al.*, 1995).

^{III} SS – soma quadrática é a soma de quadrados de desvios.

^{IV} df – grau de liberdade que de forma geral, pode-se calculá-lo pela diferença: $df =$ número de valores aleatórios – número de relações existentes entre esses valores.

^V ANOVA – análise de variância é um teste estatístico que visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente.

^{IV} F e p – teste F e p , respectivamente, usados para analisar se os fatores são significativos para determinadas condições de contorno.

As curvas de nível da Figura 50 indicam que a densidade aparente adquire valores mais altos com o aumento na quantidade de resíduos, no intervalo dos níveis dos fatores estudados. As curvas de nível foram obtidas como o modelo matemático dos efeitos das variáveis da Tabela 20, com adequada correlação ($R^2 = 0,88$).

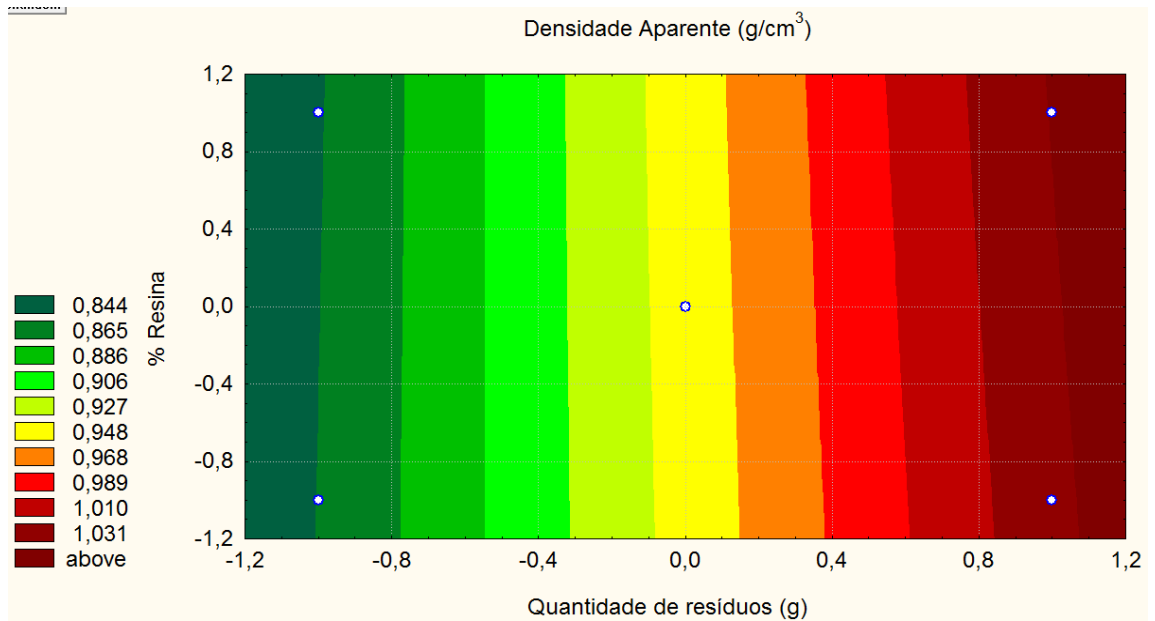


Figura 50: Curvas de nível para a variável resposta densidade aparente dos painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

Através do modelo matemático é possível definir uma equação (Equação 13) para a densidade aparente em função das variáveis de processo, resíduo e resina que é aplicável dentro do intervalo dos níveis das variáveis de processo estudadas. Os coeficientes que aparecem na equação são a metade dos efeitos calculados (Tabela 19), isso ocorre devido à mudança de -1 e +1 (nível mínimo e nível máximo) ao longo dos eixos.

$$\text{Densidade aparente} = 0,9358 + 0,0922 * \text{Resíduo} + 0,0012 * \text{Resina} + 0,0022 * \text{Resíduo} * \text{Resina} \text{ (Equação 13)}$$

4.5.1.2 Razão de Compactação (RC)

De acordo com afirmações de Moslemi (1974) e Maloney (1993), para haver uma boa RC a faixa aceitável de razão de densidade entre painel e madeira, deve estar entre 1,3 e 1,6. Os painéis com RC abaixo do mencionado, painéis de 1000 g a 10% e 15% apresentaram propriedades mecânicas inferiores, de acordo com o exposto pelos autores. Porém, os painéis de 1300 g e 1500 g (Tabela 21) apresentaram RC abaixo da faixa citada, no entanto apresentaram resultados mecânicos aceitáveis.

Vital (1973) afirma que em painéis comerciais a razão de compactação é sempre maior que 1, pois durante a prensagem torna-se necessário comprimir as partículas de forma a produzir uma boa união com o mínimo de adesivo, além de reduzir os espaços interiores e

irregularidades da superfície do painel. Os painéis a 1000 g de densidade não se incluem na afirmação do autor citado acima, pois apresentaram RC abaixo de 1.

Tabela 21: RC dos painéis aglomerados de Cumaru.

Densidade dos painéis	D _M (g/cm ³)	D _P (g/cm ³)	RC
1000 g a 10%	0,8633	0,825	0,95
1000 g a 15%		0,822	0,95
1300 g a 12,5%		0,974	1,13
1500 g a 10%		1,005	1,16
1500 g a 15%		1,012	1,17

Segundo Mendes (2001) partículas de espécies de madeiras mais densas, quando compactadas durante a prensagem, produzem uma baixa RC, prejudicando as propriedades do painel, necessitando assim, alterar outras variáveis do processo, como o aumento da resina, o que pode aumentar o custo da produção.

Os dados de RC encontrados com painéis de Cumaru foram maiores aos resultados obtidos por Iwakiri *et al* (2012) com a espécie Piquiarana (Db: 0,90 g/cm³) (RC = 1,02), porém apresentaram-se abaixo do citado por Moslemi (1974) e Maloney (1993).

Os resultados do tratamento estatístico para a variável resposta RC são apresentados na Tabela 22. Verificou-se que o efeito resíduo foi significativo ($p < 0,05$) a 95% de confiança. Porém, os efeitos das variáveis resina e interação não foram significativos no modelo estudado.

Tabela 22: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável resposta – RC Cumaru; R²= 0,87^{II}.

	Efeito	Desvio	$t(20)^I$	p
Média Global	1,0817	0,0076	141,5392	0,0000
(1) Resíduo	0,2150	0,0187	11,4854	0,0000
(2) Resina	0,0050	0,0187	0,2671	0,7921
Interação	0,0050	0,0187	0,2671	0,7921

A Análise de Variância conjunta (ANOVA), representada na Tabela 23 indica que o valor do F calculado (131,91) foi maior que o F tabelado (4,30). Esses resultados representam que as

variáveis foram conjuntamente significativas ao nível de 95% de confiança e seu grau de correlação $R^2 = 0,87$ foi bom.

Tabela 23: Resultados na ANOVA^V para a variável RC Cumaru com $R^2=0,87$.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}	p
Regressão	0,1849	1	0,1849	131,9144	0,0000
Resíduos	0,0001	1	0,0001	0,0713	
Falta de ajuste	0,0001	1	0,0001	0,0713	
Erro Puro	0,0280	20	0,0014		
Total SS	0,2131	23			

O tratamento estatístico indica que a resina não foi significativa ($p > 0,05$) e as curvas de nível da Figura 51 indicam que a resina não interfere significativamente na variável resposta e a RC adquire maior valor com quantidades de resíduos maiores, nas condições estudadas. Isto está relacionado a densidade aparente do painel, ou seja, painel com alta densidade apresenta alta RC.

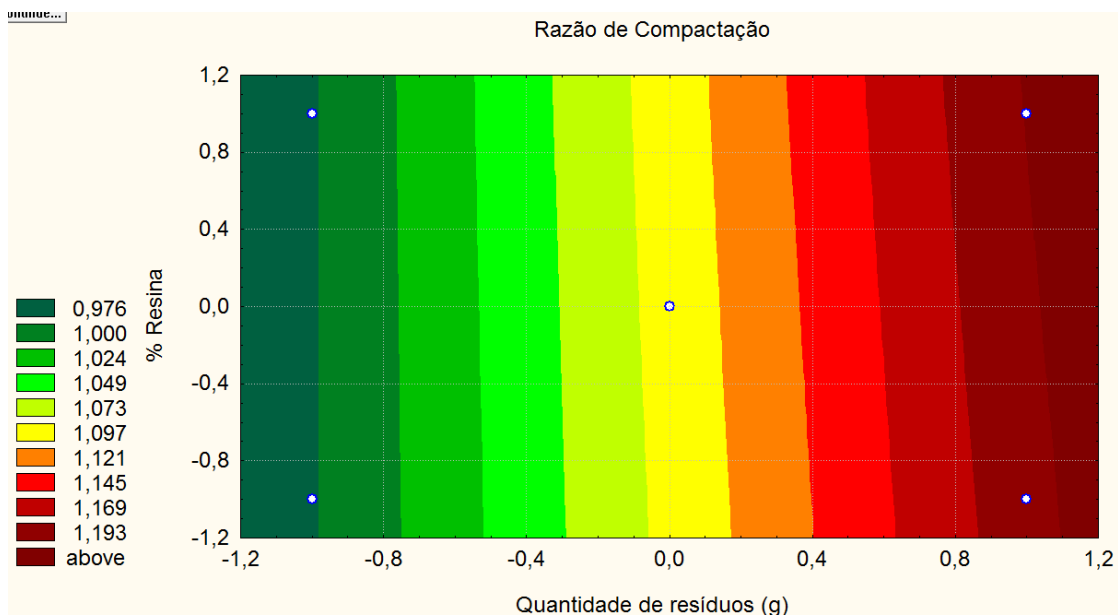


Figura 51: Curvas de nível para a variável resposta RC dos painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

O modelo matemático para a RC em função das variáveis de processo, resíduo e resina, é dado pela Equação 14 e é aplicável dentro do intervalo das variáveis de processo estudadas.

Razão de compactação = $1,0817 + 0,1075 \cdot \text{Resíduo} + 0,0025 \cdot \text{Resina} + 0,0025 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina}$
(Equação 14)

4.5.1.3 Teor de Umidade

O Teor de Umidade nos painéis de Cumaru a 1000 e 1500 g (Tabela 24) apresentaram resultados próximos, em torno de 5-6%, com exceção dos painéis de 1300 g que apresentaram teor de umidade de 7,4%.

Tabela 24: Média do teor de umidade dos painéis de Cumaru.

Amostras	Condições de processo		Teor de umidade (%)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	5,91 ± 0,24
2	1000	15	5,36 ± 0,35
3	1300	12,5	7,45 ± 0,49
4	1500	10	5,97 ± 0,23
5	1500	15	5,29 ± 0,17

Os resultados do tratamento estatístico, para a variável resposta Teor de Umidade são apresentados e determinados pelos testes t e F (Tabela 25 e 26, respectivamente).

O efeito negativo das variáveis resíduo e resina indicam que o aumento de ambas as partes acarretará em uma diminuição do teor de umidade. A interação das duas variáveis tem efeito negativo sobre o teor de umidade. Seus efeitos não foram significativos ($p > 0,05$), nestas condições de processo

Tabela 25: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – teor de umidade Cumaru; $R^2 = 0,81$ ^{II}.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	6,2387	0,1915	32,5730	0,0000
(3) Resíduo	-0,0049	0,4691	-0,0106	0,9916
(4) Resina	-0,6190	0,4691	-1,3194	0,2019
Interação	-0,0599	0,4691	-0,1279	0,8995

A Análise de Variância conjunta (ANOVA) através do teste F (Tabela 26) mostra que o valor de F calculado (0,00) foi menor que o F tabelado (4,30), apresentando um grau de correlação de $R^2 = 0,81$. Este resultado não foi significativo a 95% de confiança.

Tabela 26: Resultados na ANOVA^V para a variável teor de umidade Cumaru com $R^2=0,81$.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,0001	1	0,0001	0,0001
Resíduos	1,5326	1	1,5326	1,5326
Interação	0,0144	1	0,0144	0,0163
Erro	17,6079	20	0,8804	
Total SS	19,1551	23		

A representação da curva de nível (Figura 52) indica que painéis com maiores porcentagens de resina apresentam menor teor de umidade, o que provavelmente está relacionado com a resina poliuretana do óleo da mamona que apresenta características de hidrofobicidade.

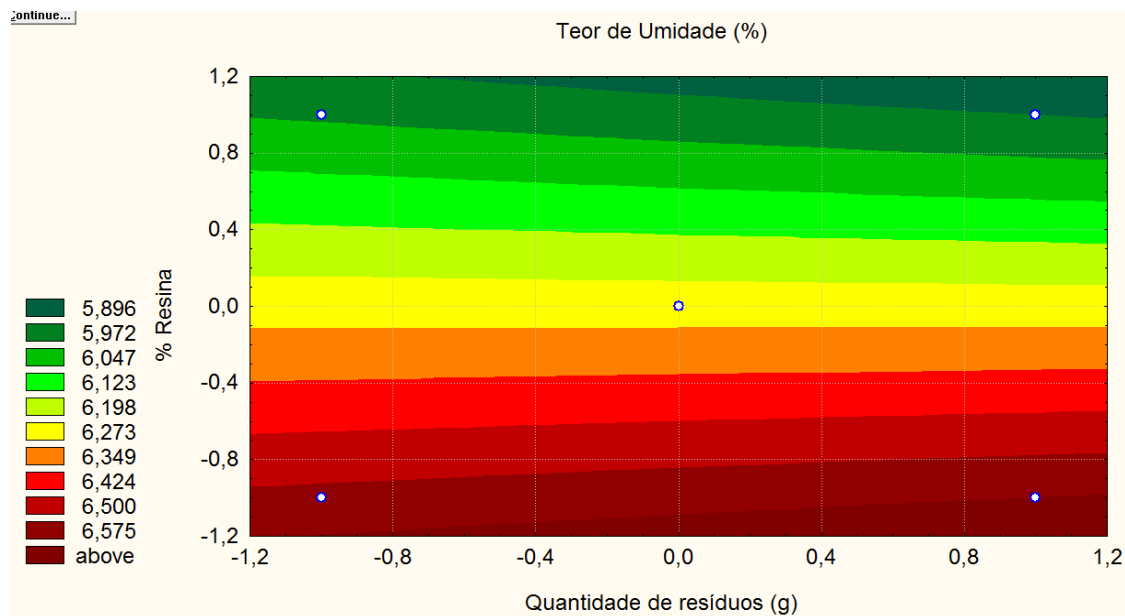


Figura 52: Curvas de nível para a variável resposta teor de umidade painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

O modelo matemático para o teor de umidade em função das variáveis de processo, resíduo e resina, é dado pela Equação 15 e é aplicável dentro do intervalo das variáveis de processo estudadas.

Teor de umidade = $6,2387 - 0,00245 \cdot \text{Resíduo} - 0,003095 \cdot \text{Resina} - 0,02995 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina}$
(Equação 15)

4.5.1.4 Inchamento de Espessura em água 2 e 24 horas

O inchamento de espessura representa o somatório das variações em espessura devido às liberações das tensões de compressão impostas aos painéis durante a prensagem e do inchamento das partículas de madeira (KELLY, 1977). E segundo Brito (1995) é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional nos painéis.

Os resultados de inchamento em água 2 e 24 horas são mostrados na Tabela 27. O resultado de inchamento em 2 horas com painéis de Cumaru foi satisfatório conforme norma NBR ABNT 14810-2 (2006) que cita inchamento máximo de 8%. Os resultados encontrados com painéis de Cumaru em 2 horas foram menores ao encontrado por IWAKIRI *et al* (2012) com a espécie Piquiarana de 5,56%. A norma brasileira NBR ABNT 14810-2 não cita especificação para inchamento de espessura em 24 horas.

Tabela 27: Média do inchamento em água 2 e 24 horas dos painéis de Cumaru.

Amostras	Condições de processo		Inchamento 2 horas (%)	Inchamento 24 horas (%)
	Resíduo (g)	Resina (%)		
1	1000	10	0,73 ± 0,23	4,05 ± 0,28
2	1000	15	0,77 ± 0,33	2,71 ± 0,78
3	1300	12,5	0,95 ± 1,01	3,46 ± 0,96
4	1500	10	0,58 ± 0,18	2,61 ± 0,36
5	1500	15	0,70 ± 1,91	2,11 ± 0,82

Os efeitos individuais das variáveis resíduo e resina sobre o inchamento de espessura em 2 horas são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – inchamento de espessura em água 2 horas Cumarú; $R^2 = 0,19^{II}$.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	0,7813	0,0269	28,9675	0,0000
(1) Resíduo	-0,1077	0,0661	-1,6306	0,1186
(2) Resina	0,0792	0,0661	1,1987	0,2446
Interação	0,0461	0,0661	0,6977	0,4934

Analisando os efeitos das variáveis, verifica-se que a variável resíduo apresenta sinal negativo, indicando que com o aumento da massa de resíduo há uma diminuição no inchamento em 2 horas. O teste t indica que as variáveis do processo, resíduo e resina e interação não foram significativas ($p > 0,05$) a 95% de confiança. O grau de correlação $R^2 = 0,19$ indica que a relação linear entre as duas variáveis é baixa.

A partir do teste F (Tabela 29), pode-se notar que o valor de F calculado ($F=2,66$) foi menor do que o valor de F tabelado ($F_{0,95; 1,22} = 4,30$) para 95% de confiança. Este resultado permite concluir que não há diferenças significativas no inchamento de espessura em 2 horas.

Tabela 29: Resultados na ANOVA^V para a variável inchamento em água 2 horas Cumarú com $R^2=0,19$.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,0464	1	0,0464	2,6587
Resíduos	0,0251	1	0,0251	1,4370
Interação	0,0085	1	0,0085	0,4868
Erro	0,3492	20	0,0175	
Total SS	0.4292	23		

O modelo matemático do inchamento de espessura em 2 horas em função das variáveis de processo, resíduo e resina é mostrado na Equação 16.

Inchamento em 2 h = $0,7813 - 0,05385 \cdot \text{Resíduo} + 0,0396 \cdot \text{Resina} + 0,02305 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina}$
(Equação 16)

A curva de nível de inchamento em 2 horas (Figura 53) indica que a maior taxa de inchamento tende para porcentagem de resinas maiores e resíduo menores.

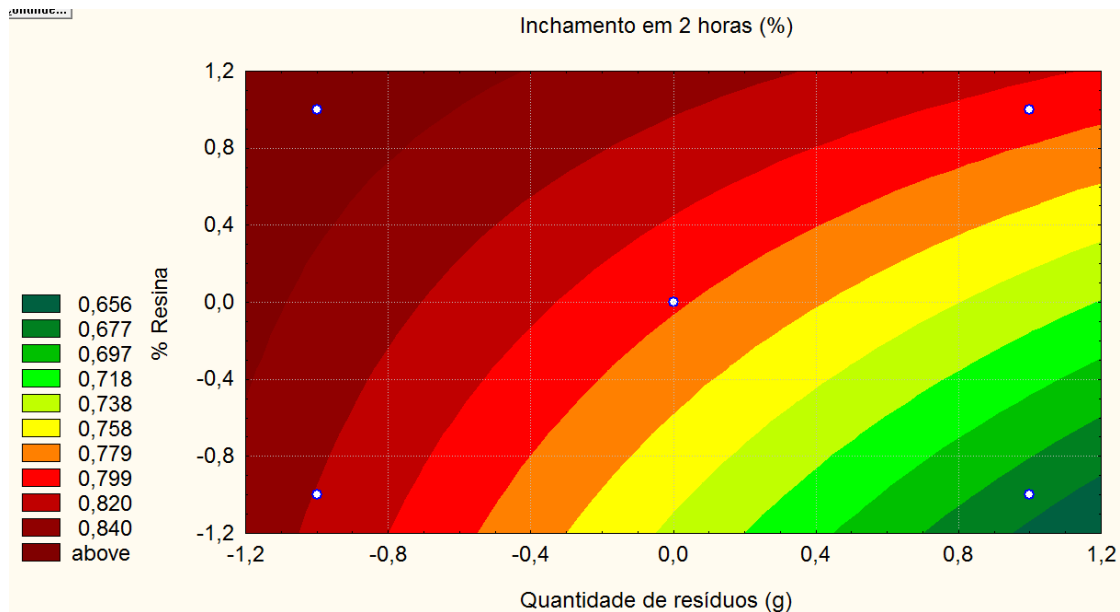


Figura 53: Curvas de nível para a variável resposta inchamento em 2 horas em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

Os resultados do tratamento estatístico, com 95% de confiança, para a variável resposta inchamento de espessura em 24 horas, são mostrados na Tabela 30. O efeito individual do fator resíduo e resina foram negativos, indicando que aumentando a massa de resíduo e porcentagem de resina há uma diminuição no inchamento em 24 horas. O efeito interação indica que aumentando o resíduo e a resina na mesma proporção há uma diminuição no inchamento. O teste t indica que todas as variáveis explicativas individuais deste tratamento foram significativas ($p < 0,05$). Os efeitos das variáveis apresentaram um grau de correlação de $R^2 = 0,82$ ao nível de 95% de confiança.

Tabela 30: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – inchamento em água 24 horas Cumaru; $R^2 = 0,82$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	3,0685	0,0617	49,6976	0,0000
(1) Resíduo	-1,0205	0,1512	-6,7475	0,0000
(2) Resina	-0,9205	0,1512	-6,0863	0,0000
Interação	0,4185	0,1512	2,7671	0,0119

Estes resultados podem ser confirmados na Tabela 31, através da análise de variância (ANOVA). O valor do teste F calculado ($F = 45,52$) foi maior que o F tabelado ($F_{0,95; 1,22} = 4,30$), indicando que esta análise foi significativa.

Tabela 31: Resultados na ANOVA^V para a variável inchamento em água 24 horas Cumaru com $R^2=0,82$.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	4,1657	1	4,1657	45,5295
Resíduos	3,3893	1	3,3893	37,0437
Interação	0,7006	1	0,7006	7,6570
Erro	1,8299	20	0,0915	
Total SS	10,0854	23		

O modelo matemático da variável resposta inchamento em 24 horas nos painéis de Cumaru, nos intervalos do processo estudadas é mostrado na Equação 17.

Inchamento em 24 h = $3,0685 - 0,5102 \cdot \text{Resíduo} - 0,4602 \cdot \text{Resina} + 0,2092 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina}$
(Equação 17)

A representação do gráfico da Equação 16, na forma de curva de nível indica que um inchamento de espessura em 24 h maior pode ser obtido quando são utilizados menor quantidade de resíduo e resina como pode ser observado na Figura 54. Este modelo é válido dentro das condições de processo estudadas com 95% de confiança. Isto pode estar relacionado com a RC, ou seja, quanto maior a RC menor o inchamento.

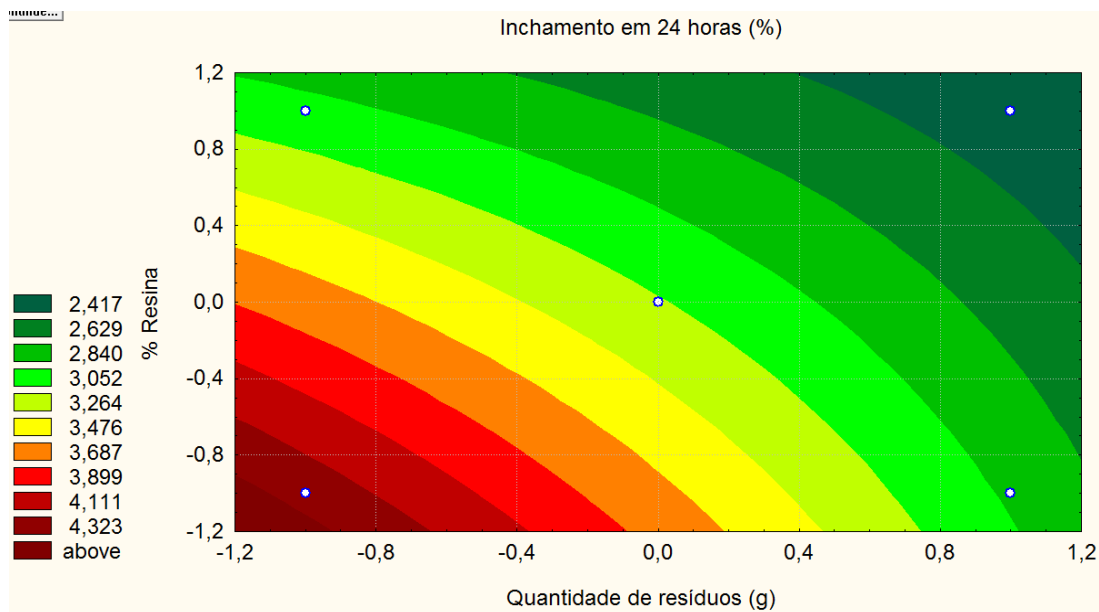


Figura 54: Curvas de nível para a variável resposta inchamento em 24 horas em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

4.5.1.5 Absorção em água 2 e 24 horas

Os resultados de absorção de água em 2 e 24 h obtidos com painéis de Cumaru são mostrados na Tabela 32. Os painéis de Cumaru apresentaram valores de 1-2% de absorção de água em 2 h, resultados menores ao encontrado por Iwakiri *et al* (2012) com a Piquiarana de 11,83%. A absorção em 24 horas variou de 4 a 7%, valores também menores aos encontrados com a Piquiarana (Iwakiri *et al*, 2012) (28,30%). A baixa absorção nos painéis estudados provavelmente deve-se ao tipo de resina utilizado que tem propriedades hidrofóbicas.

Tabela 32: Média da absorção em água 2 e 24 horas dos painéis de Cumaru.

Amostras	Condições de processo		Absorção 2 horas (%)	Absorção 24 horas (%)
	Resíduo (g)	Resina (%)		
1	1000	10	2,44 ± 0,29	7,72 ± 0,80
2	1000	15	2,25 ± 0,82	6,02 ± 1,55
3	1300	12,5	1,84 ± 0,39	6,15 ± 1,33
4	1500	10	1,93 ± 0,49	6,00 ± 1,47
5	1500	15	2,11 ± 0,95	4,39 ± 1,07

Os efeitos estimados das variáveis de processo, resíduo, resina e interação, podem ser vistos na Tabela 33. Os efeitos de resíduo e resina negativos indicam que o aumento destas variáveis nesta proporção causa uma diminuição na absorção em 2 horas dos painéis aglomerados.

Tabela 33: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – absorção em 2 horas Cumaru; $R^2=0,48$ ^{II}.

	Efeito	Desvio	$t(20)^I$	p
Média Global	2,0688	0,0356	58,0931	0,0000
(1) Resíduo	-0,3256	0,0872	-3,7323	0,0013
(2) Resina	-0,0021	0,0872	-0,0245	0,9807
Interação	0,1879	0,0872	2,1544	0,0436

Os resultados do teste t indicam que a variável resíduo e a interação foram significativas no experimento ($p < 0,05$), enquanto a variável individual resina não foi significativa ($p > 0,05$) a 95% de confiança.

Estes resultados podem ser confirmados pelo teste F (Tabela 34), em que nota-se que o valor de F calculado ($F = 13,93$) foi maior que o valor de F tabelado ($F_{0,95; 1,22} = 4,35$), indicando que a regressão foi significativa.

Tabela 34: Resultados na ANOVA^V para a variável absorção em água 2 horas Cumaru com $R^2=0,48$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,4240	1	0,4240	13,9300
Resíduos	0,0000	1	0,0000	0,0006
Interação	0,1413	1	0,1413	4,6413
Erro	0,6087	20	0,0913	
Total SS	1,1740	23		

O modelo matemático que representa os efeitos estimados da Tabela 33 pode ser visto na Equação 18.

$$\text{Absorção em 2 h} = 2,0688 - 0,1628 \cdot \text{Resíduo} - 0,00105 \cdot \text{Resina} + 0,09395 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina} \quad (\text{Equação 18})$$

A representação do gráfico da Equação 18 pode ser vista na Figura 55, na forma de curvas de nível. Nota-se que a maior absorção em água por 2 horas tende para quantidade de resíduos e resinas menores.

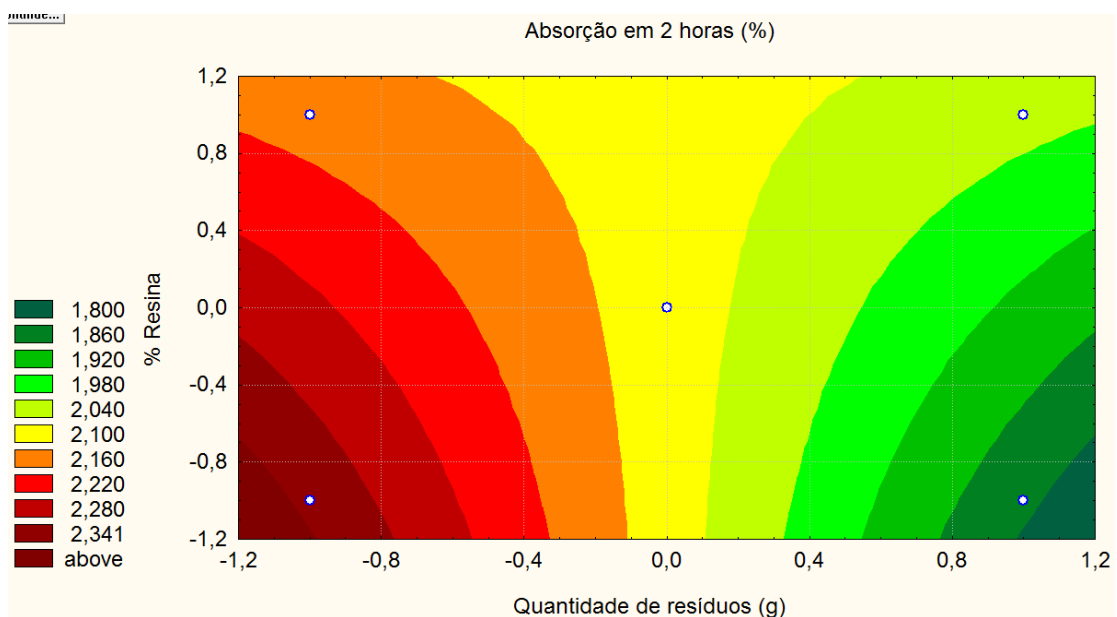


Figura 55: Curvas de nível para a variável resposta absorção em 2 horas em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

A análise dos resultados apresentados na Tabela 35, obtidos no teste de absorção em 24 horas, observa-se que os efeitos estimados das variáveis de processo resíduo e resina negativos significam que, aumentando estas variáveis nas proporções encontradas a absorção em 24 horas tende a diminuir.

Analisando os resultados do teste p, foi possível verificar que as variáveis de processo: resíduo e resina foram significativas ($p < 0,05$) no nível de 95% de confiança, com grau de correlação de $R^2 = 0,99$. Porém, a variável interação não foi significativa ($p > 0,05$) no processo estudado.

Tabela 35: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – absorção em 24 horas Cumarú; $R^2=0,99$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	6,0737	0,0129	470,8618	0,0000
(1) Resíduo	-1,6763	0,0316	-53,0523	0,0000
(2) Resina	-1,6610	0,0316	-52,5697	0,0000
Interação	0,0438	0,0316	1,3864	0,1809

O valor do teste F na análise de variância (Figura 36) confirma a significância obtida com as variáveis de processo, resíduo e resina. O valor de F calculado ($F = 2814,54$) foi maior que o valor de F tabelado ($F_{0,95; 1,22} = 4,30$), indicando que a regressão foi significativa com esta variável de resposta e com os intervalos analisados.

Tabela 36: Resultados na ANOVA^V para a variável absorção em água 24 horas Cumarú com $R^2=0,99$ II.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	11,2394	1	11,2394	2814,5499
Resíduos	11,0359	1	11,0359	2763,5715
Interação	0,0077	1	0,0077	1,9221
Erro	0,0799	20	0,0040	
Total SS	22,3629	23		

Através dos efeitos estimados das variáveis explicativas do processo, obteve-se o modelo matemático na Equação 19.

$$\text{Absorção 24h} = 6,0737 - 0,8381 \cdot \text{Resíduo} - 0,8305 \cdot \text{Resina} + 0,0219 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina} \text{ (Equação 19)}$$

As curvas de nível da variável resposta absorção em 24 horas em painéis de Cumaru mostrada na Figura 56 indicam que amostras com quantidades menores de resíduo e resina absorvem mais água que em outros intervalos estudados.

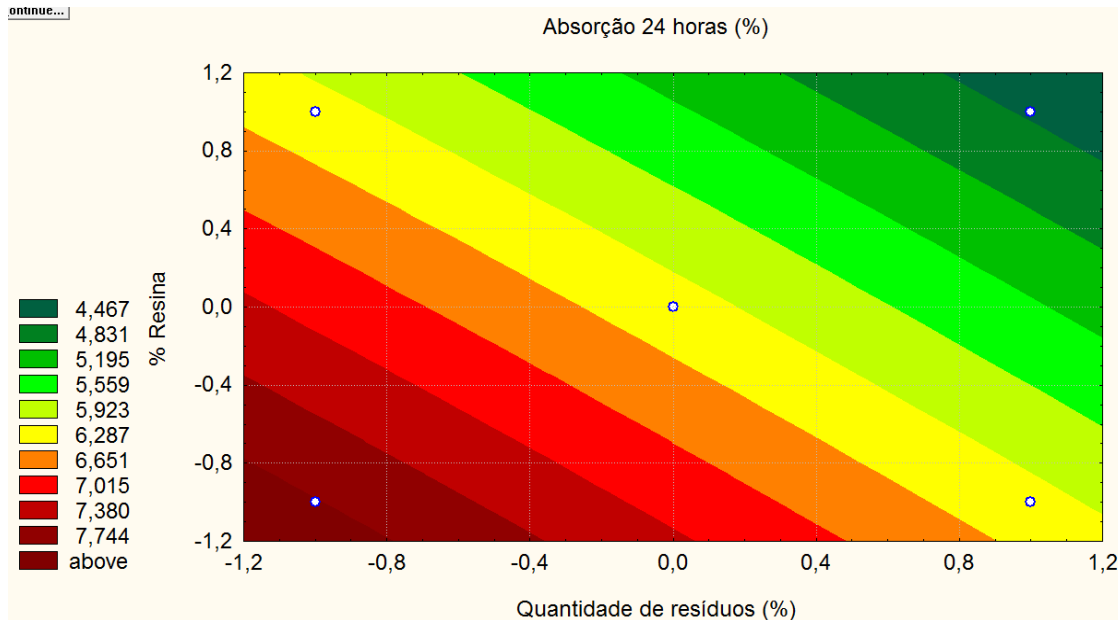


Figura 56: Curvas de nível para a variável resposta absorção em 24 horas em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

Os resultados obtidos através das curvas de nível, confirmam o que Vital *et al* (1974) concluíram em seu trabalho, ou seja, que painéis com menor razão de compactação tendem a absorver mais água devido a apresentarem maior quantidade de poros e menor quantidade de material lenhoso.

4.5.1.6 Módulo de Ruptura (MOR)

Na tabela 37 estão apresentados os valores médios de MOR em painéis de Cumaru. Verifica-se que todos os resultados obtidos apresentam-se superiores ao mínimo recomendado pela norma NBR ABNT 18810-2 (2006) para Módulo de Ruptura que é 18,0 MPa, com exceção para os painéis de 1000 g a 10%, que não atenderam o mínimo especificado, apresentado resultados de 14,3 MPa.

Tabela 37: Média do MOR dos painéis de Cumaru.

Amostras	Condições de processo		MOR (MPa)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	14,3 ± 1,71
2	1000	15	19,5 ± 4,59
3	1300	12,5	23,6 ± 3,03
4	1500	10	20,2 ± 3,37
5	1500	15	28,3 ± 3,98

Os efeitos individuais das variáveis resíduo e resina sobre a variável resposta MOR são apresentados na Tabela 38. Verifica-se através dos resultados do teste t que as variáveis do processo resíduo e resina foram significativas ($p < 0,05$). Já o coeficiente de interação não foi significativo a 95% de confiança com probabilidade de 7,63%.

O efeito positivo das variáveis individuais, resíduo e resina indicam que aumentando a massa do resíduo e a porcentagem de resina há o aumento do MOR.

Tabela 38: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – MOR Cumaru; $R^2=0,89$ ^{II}.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	21,5901	0,3195	67,5769	0,0000
(1) Resíduo	7,3530	0,7826	9,3957	0,0000
(2) Resina	6,6285	0,7826	8,4699	0,0000
Interação	1,4627	0,7826	1,8691	0,0763

A análise de variância conjunta (ANOVA) pode ser verificada na Tabela 39. Nota-se que o valor de F calculado (88,27) foi maior que o valor de F Tabelado ($F_{0,95;1;22} = 4,30$), indicando que a análise de variância foi significativa no nível de 95% e grau de correlação $R^2 = 0,89$.

Tabela 39: Resultados na ANOVA^V para a variável MOR Cumaru com $R^2=0,89$ II.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	216,2664	1	216,2664	88,2798
Resíduos	175,7480	1	175,7480	71,7402
Interação	8,5585	1	8,5585	3,4936
Erro	48,9957	20	2,4498	
Total SS	449,5687	23		

O modelo matemático mostrado na Equação 20 é em função das variáveis de processo resíduo e resina e aplicado dentro do intervalo dos níveis das variáveis de processo estudadas.

$$\text{MOR} = 21,5901 + 3,6765 * \text{Resíduo} + 3,3142 * \text{Resina} + 0,7313 * \text{Resíduo} * \text{Resina} \quad (\text{Equação 20})$$

Os ensaios de MOR nos painéis de Cumaru apresentaram melhor desempenho que os painéis de Cumarurana realizados na 1ª Etapa do trabalho.

A Figura 57 é a representação gráfica da Equação 20, na forma de curvas de nível. Verifica-se que a tendência para maior MOR encontra-se em painéis com maior quantidade de resina, resíduo e conseqüentemente em painéis com maior RC.

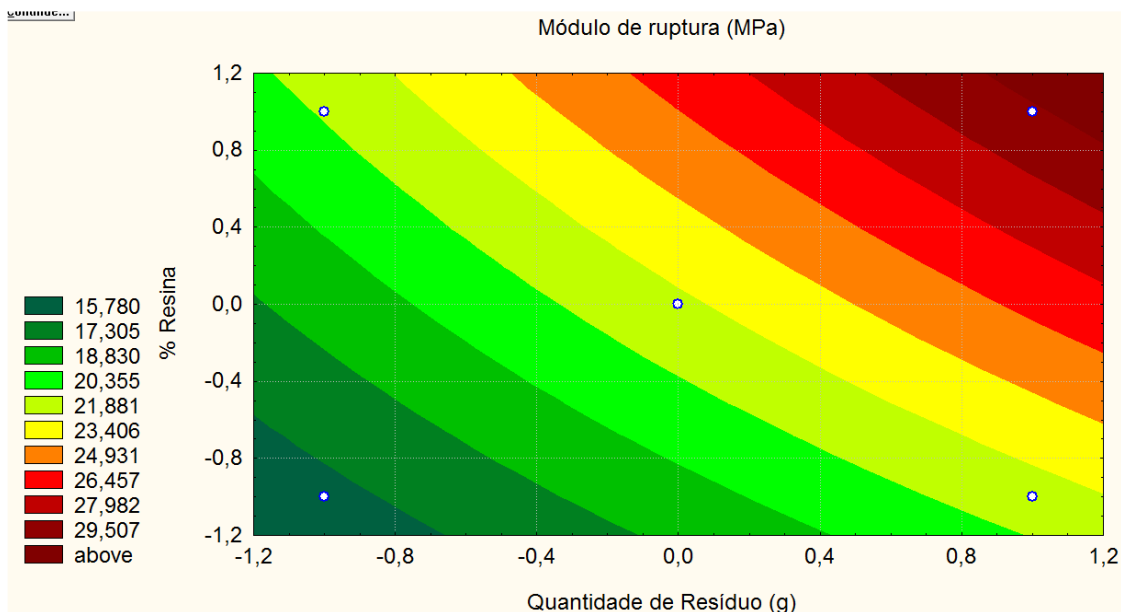


Figura 57: Curvas de nível para a variável resposta MOR em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

4.5.1.7 Módulo de Elasticidade (MOE)

Os valores médios de MOE, encontrados em painéis de Cumaru são mostrados na Tabela 40. A norma NBR ABNT 14810-2 (2006) não cita especificação para MOE. Comparando os resultados com a norma estrangeira americana, verifica-se que somente os painéis a 1300 e 1500 g apresentaram-se acima da especificação mínima exigida por esta norma que é de 2400 MPa.

Tabela 40: Média do MOE dos painéis de Cumaru.

Amostras	Condições de processo		MOE (N)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	1933 ± 210,9
2	1000	15	2174 ± 441,2
3	1300	12,5	2712 ± 347,0
4	1500	10	2709 ± 614,4
5	1500	15	2987 ± 314,3

Os resultados apresentados no presente trabalho foram próximos aos apresentados por Iwakiri *et al*, (2012), cujos resultados médios para a espécie Piquiarana foram 2389,0 MPa.

Os efeitos estimados individuais das variáveis resíduo e resina sobre o MOE são apresentados na Tabela 41. Analisando os resultados do teste t, verificou-se que as variáveis resíduo e resina foram significantes ($p < 0,05$) ao nível de 95%, enquanto, que a interação não foi significativa ($p > 0,05$). O efeito individual do resíduo positivo indica que aumentando a massa de resíduo há um aumento de 794,21 MPa no MOE e o efeito individual da resina indica que aumentando a porcentagem de resina há um aumento de 260,08 MPa . O grau de correlação da análise experimental foi de $R^2=0,88$.

Tabela 41: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – MOE Cumaru; $R^2= 0,88$ ^{II}.

	Efeito	Desvio	$t(20)^I$	p
Média Global	2538,4024	27,5857	92,0186	0,0000
(1) Resíduo	794,2146	67,5710	11,7538	0,0000
(2) Resina	260,0799	67,5710	3,8490	0,0010
Interação	18,5816	67,5710	0,2750	0,7861

Estes resultados podem ser confirmados através do teste F da Análise de Variância conjunta (ANOVA), mostrados na Tabela 42, em que nota-se que o valor de F calculado ($F = 138,15$) foi maior que o valor de F tabelado ($F_{0,95; 1,22} = 4,30$) nas condições de processo estudadas.

Tabela 42: Resultados na ANOVA^V para a variável MOE Cumaru com $R^2=0,88$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	2523107,4822	1	2523107,4822	138,1514
Resíduos	270566,1655	1	270566,1655	14,8147
Interação	1381,1071	1	1381,1071	0,0756
Erro	365267,0771	20	0,0756	
Total SS	3160321,8321	23		

O modelo matemático que representa os efeitos estimados das variáveis dependentes e que gera o gráfico das curvas de níveis, representado na Figura 58, é apresentado na Equação 21.

$$MOE = 2538,4024 + 397,1073 * \text{Resíduo} + 130,0399 * \text{Resina} + 9,2908 * \text{Resíduo} * \text{Resina} \text{ (Equação 21)}$$

A representação na forma de curvas de nível em painéis de Cumaru indica que para maiores quantidades de resíduos maiores serão os resultados no MOE, nos níveis estudados.

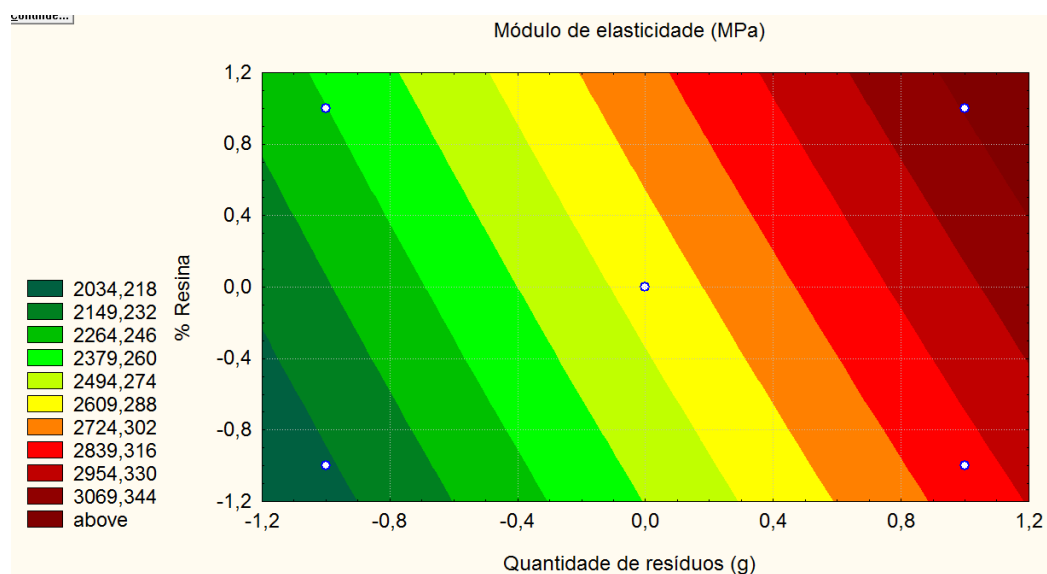


Figura 58: Curvas de nível para a variável resposta MOE em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

4.5.1.8 Arrancamento de parafuso

A Tabela 43 apresenta os resultados da análise de Arrancamento de Parafuso nos painéis de Cumaru. Não há especificação normativa NBR ABNT 14810-2 (2006) para a espessura do painel estudado, mas seus resultados foram satisfatórios para a maioria dos painéis analisados, pois apresentaram resultados superiores ao mínimo recomendado para painéis com espessura maiores aos estudados neste trabalho, com exceção para os painéis a 1000g a 10%, que apresentou valor de 437 N.

Tabela 43: Média do arrancamento de parafuso dos painéis de Cumaru.

Amostras	Condições de processo		Arrancamento de parafuso (N)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	437 ± 43,3
2	1000	15	1050 ± 492,9
3	1300	12,5	1552 ± 394,2
4	1500	10	2025 ± 418,8
5	1500	15	2662 ± 441,8

Os resultados do tratamento estatístico, com 95% de confiança, para a variável resposta Arrancamento de Parafuso, são mostrados na Tabela 44. Os efeitos das variáveis individuais dos fatores resíduo, resina e interação foram significativos ($p < 0,05$) para essas condições de processo e apresentou um grau de correlação satisfatório de $R^2=0,99$.

Tabela 44: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – arrancamento de parafuso Cumaru; $R^2 = 0,99$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	1546,5278	0,8784	1760,6684	0,0000
(1) Resíduo	1600,0000	2,1516	743,6425	0,0000
(2) Resina	624,9999	2,1516	290,4854	0,0000
Interação	12,4999	2,1516	5,8097	0,0000

A partir do resultado do teste F (Tabela 45) nota-se que o valor de F calculado ($F=553004,23$) é maior que o F tabelado ($F_{0,95;1,22} = 4,30$), para 95% de confiança, indicando que as variáveis do processo foram conjuntamente significantes.

Tabela 45: Resultados na ANOVA^V para a variável arrancamento de parafuso Cumaru com $R^2=0,99$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	10240000,0000	1	10240000,0000	553004,2394
Resíduos	1562500,0000	1	1562500,0000	84381,7504
Interação	625,0000	1	625,0000	33,7527
Erro	370,3407	20	18,5170	
Total SS	11803495,3407	23		

A equação 22 representa o modelo obtido em função das variáveis de processo resíduo e resina, aplicado dentro do intervalo dos níveis das variáveis de processo estudadas.

$$\text{Arrancamento de Parafuso} = 1546,5278 + 800 \cdot \text{Resíduo} + 312,499 \cdot \text{Resina} + 6,2499 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina}$$

(Equação 22)

As curvas de nível da Figura 59 mostram que valores mais altos de arrancamento de parafuso tendem para quantidades de resíduos e resinas maiores, ou seja, empregando-se a porcentagem de resina a 15% e mantendo-se a quantidade de resíduos em 1500 g.

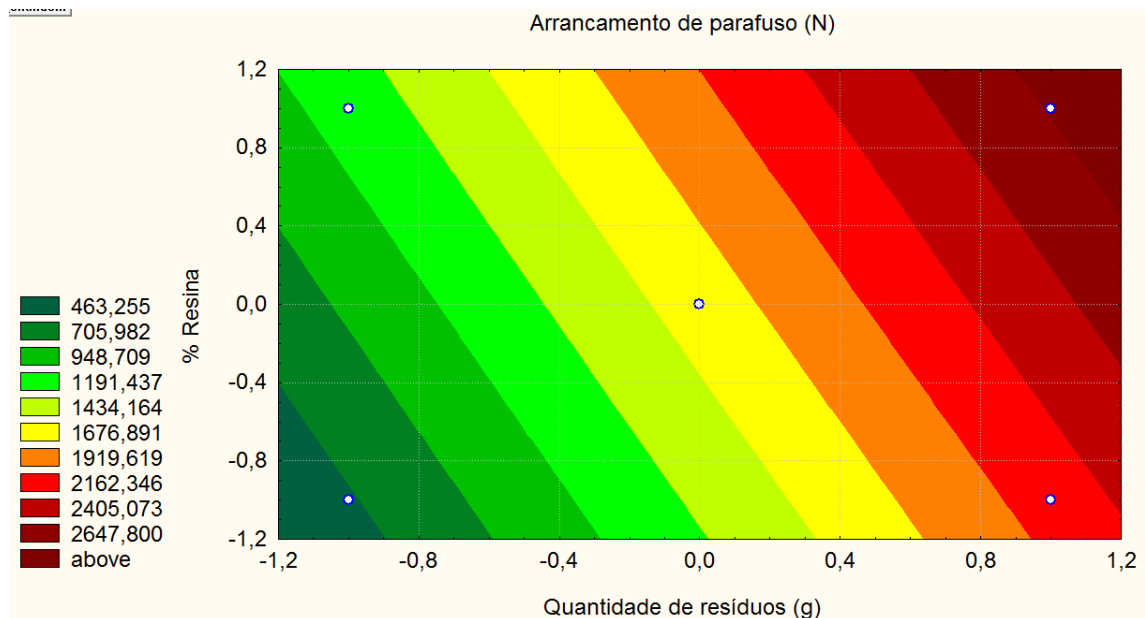


Figura 59: Curvas de nível para a variável resposta arrancamento de parafuso em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

4.5.1.9 Adesão Interna

Os resultados das análises de Adesão Interna nos painéis de Cumaru são apresentados na Tabela 46. Os painéis analisados obtiveram bons resultados e apresentaram valores superiores ao mínimo (0,40 MPa) recomendado pela norma NBR ABNT 14810-2 (2006).

Tabela 46: Média de Adesão Interna dos painéis de Cumaru.

Amostras	Condições de processo		Adesão Interna (MPa)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	1,73 ± 0,17
2	1000	15	1,77 ± 0,58
3	1300	12,5	1,92 ± 0,35
4	1500	10	1,71 ± 0,39
5	1500	15	1,77 ± 0,15

Os resultados do tratamento estatístico, a 95% de confiança, para a variável resposta Adesão Interna são mostrados na Tabela 47. Os efeitos individuais dos fatores resíduo, resina e interação não foram significativos ($p > 0,05$) ao nível de 95% de confiança. O efeito negativo do resíduo indica que aumentando a quantidade de resíduo há uma diminuição na variável resposta Adesão Interna com probabilidade de 82%.

Tabela 47: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – adesão interna Cumaru; $R^2 = 0,069$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	1,8048	0,0182	99,0847	0,0000
(1) Resíduo	-0,0099	0,0446	-0,2219	0,8266
(2) Resina	0,0516	0,0446	1,1565	0,2611
Interação	0,0139	0,0446	0,3115	0,7586

A partir do teste F (Tabela 48), pode-se notar que o valor de F calculado ($F=0,05$) foi menor que o valor de F tabelado ($F_{0,95; 1,22} = 4,30$). Seu grau de correlação foi $R^2=0,069$ indicando que não houve significância conjunta entre as variáveis analisadas de Adesão Interna.

Tabela 48: Resultados na ANOVA^V para a variável adesão interna Cumaru com $R^2=0,069$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,0004	1	0,0004	0,0492
Resíduos	0,0106	1	0,0106	1,3375
Interação	0,0008	1	0,0008	0,0970
Erro	0,1592	20	0,0080	
Total SS	0,1711	23		

As curvas de nível da Figura 60 mostram que existe uma tendência para valores mais altos de adesão interna a maiores porcentagens de resina. Isso indica que a porcentagem de resina utilizada no intervalo de níveis investigados teve influência sobre a adesão interna, mas não foi significativa estatisticamente.

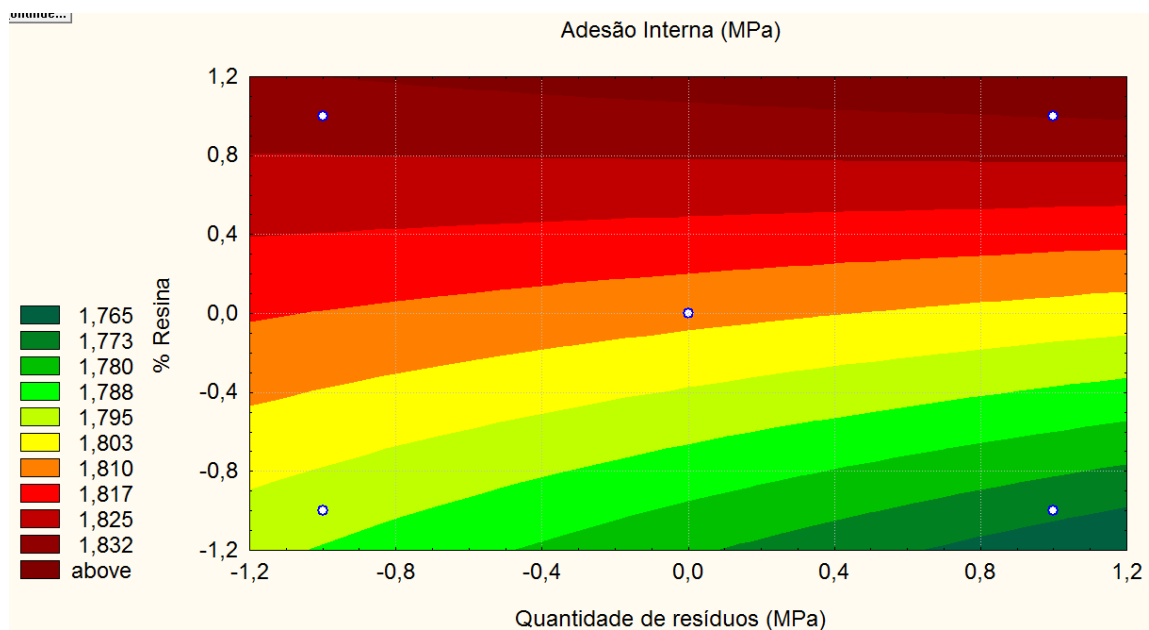


Figura 60: Curvas de nível para a variável resposta adesão interna em painéis de Cumaru. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

4.5.2 Painéis de Amapá

4.5.2.1 Densidade Aparente

Os painéis de Amapá apresentaram um aumento na densidade aparente (Tabela 49). Esse aumento gradativo é devido ao incremento feito na quantidade de resíduos e resina nas amostras, consequentemente, havendo uma maior densificação dos painéis.

Tabela 49: Média das densidades aparente dos painéis de Amapá.

Amostras	Condições de processo		Densidade aparente (g/cm ³)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	0,752 ± 0,75
2	1000	15	0,825 ± 0,82
3	1300	12,5	0,891 ± 0,89
4	1500	10	0,894 ± 0,89
5	1500	15	0,925 ± 0,92

As curvas de contorno da Figura 61 indicam que as densidades aparentes em painéis de Amapá tendem para maiores quantidades de resíduos e resinas.

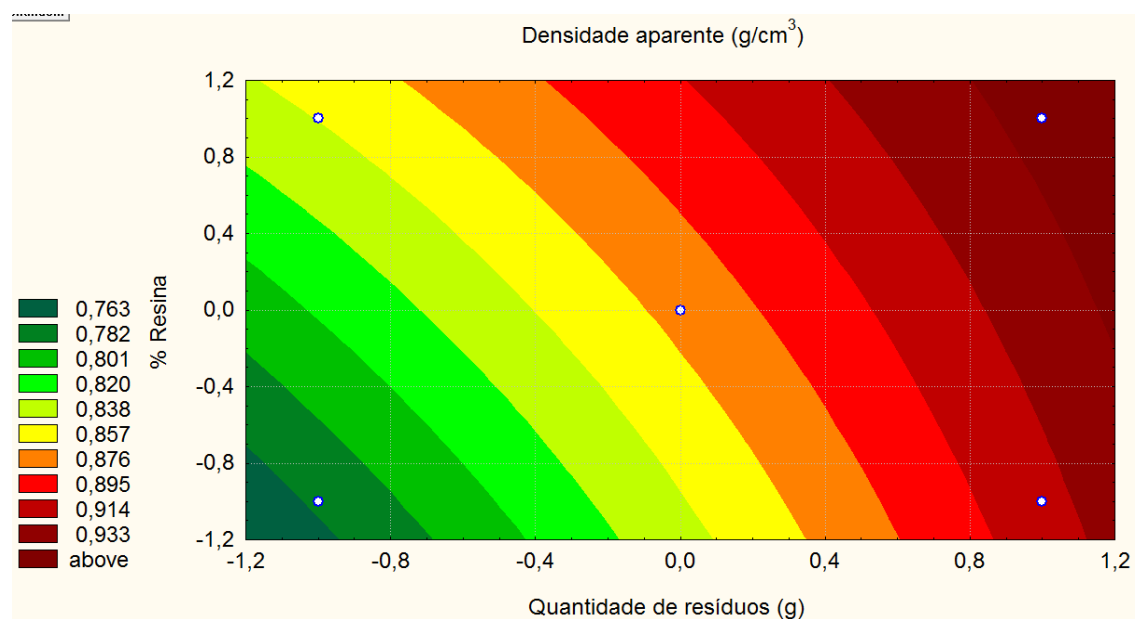


Figura 61: Curvas de nível para a variável resposta densidade aparente dos painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

Analisando os dados estatísticos da Tabela 50, por meio dos efeitos de resíduo e resina para a densidade aparente através do teste t, foi possível verificar que as variáveis de processo investigadas foram significativas ($p < 0,05$) ao nível de 95% de confiança, porém o teste evidenciou que o coeficiente da interação não foi significativo ($p > 0,05$). O efeito negativo indica que aumentando ambas as variáveis do processo na mesma proporção há a diminuição da densidade aparente de $0,0209 \text{ g/cm}^3$, com probabilidade de 6,71%. O efeito negativo da interação indica que variando a quantidade de resíduo e resina, a densidade aparente diminui $0,0209 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 50: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – densidade aparente Amapá; $R^2 = 0,88$ ^{II}.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	<i>t (20)^I</i>	<i>p</i>
Média Global	0,8630	0,0044	194,9318	0,0000
(1) Resíduo	0,1210	0,0108	11,1579	0,0000
(2) Resina	0,0520	0,0108	4,7951	0,0001
Interação	-0,0209	0,0108	-1,9365	0,0671

Análise de variância conjunta (ANOVA) é mostrada na Tabela 51. Através do teste F, verifica-se que o valor de F calculado ($F = 124,49$) foi maior que F tabelado ($F_{0,95;1,20} = 4,30$), indicando que a regressão conjunta foi significativa a 95% de confiança e seu coeficiente de correlação foi $R^2 = 0,88$.

Tabela 51: Resultados na ANOVA^V para a variável densidade aparente Amapá com $R^2 = 0,88$.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,0586	1	0,0586	124,4983
Resíduos	0,0108	1	0,0108	22,9932
Interação	0,0018	1	0,0018	3,7500
Erro	0,0094	20	0,0005	
Total SS	0,0805	23		

A densidade aparente encontrada por LIMA (2011), em painéis com esta mesma espécie, mas utilizando 8% de resina uréia formaldeído, apresentaram resultados de $0,682 \text{ g/cm}^3$, valores menores ao encontrado com painéis de Amapá.

O modelo matemático para a densidade aparente, em função das variáveis de processo, resíduo e resina, nas condições estudadas, é dado pela Equação 23, a seguir:

$$\text{Densidade aparente} = 0,8630 + 0,0605 * \text{Resíduo} + 0,026 * \text{Resina} - 0,01045 * \text{Resíduo} * \text{Resina} \quad (\text{Equação 23})$$

4.5.2.2 Razão de Compactação (RC)

Os resultados de RC obtidos nos painéis de Amapá (Tabela 52) variaram de 1,36 a 1,68. Pode-se constatar que maior quantidade de resíduo e resina resulta em valores superiores de razão de compactação. Seus resultados apresentaram valores maiores que os valores encontrados nos painéis de Cumaru.

Tabela 52: RC dos painéis aglomerados de Amapá.

Densidade dos painéis	DM (g/cm ³)	DP (g/cm ³)	RC
1000 g a 10%	0,551	0,752	1,36
1000 g a 15%		0,825	1,50
1300 g a 12,5%		0,891	1,62
1500 g a 10%		0,894	1,62
1500 g a 15%		0,925	1,68

LIMA (2011) encontrou valores de razão de compactação com painéis de Amapá de 1,6, valores próximos aos encontrados com painéis de 1300 g e 1500 g neste estudo.

Os efeitos das variáveis resíduo e resina sobre a variável resposta Razão de Compactação são apresentados na Tabela 53. Os resultados do teste t indicam que as variáveis individuais, resíduo e resina foram significativas ($p < 0,05$) a 95% de confiança, mas sua interação não apresentou significância no modelo estudado apresentando valor de $p > 0,05$. O efeito negativo da interação indica que a variação do resíduo e resina na mesma proporção causa uma diminuição na razão de compactação de 0,04 com probabilidade de 6,71%.

Tabela 53: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – RC Amapá; $R^2=0,87$ ^{II}.

	<i>efeito</i>	<i>Desvio</i>	<i>t (20)^I</i>	<i>p</i>
Média Global	1,5667	0,0084	185,7838	0,0000
(1) Resíduo	0,2200	0,0206	10,6507	0,0000
(2) Resina	0,1000	0,0206	4,8412	0,0000
Interação	-0,0400	0,0206	-1,9365	0,0671

Analisando os resultados conjuntamente através da Análise de Variância (ANOVA) representada na Tabela 54, verifica-se que o valor de F calculado (F calculado = 113,43) apresentou-se maior que valor de F tabelado (F tabelado = 4,30) indicando que a análise conjunta das variáveis do processo foi significativa a 95% de confiança, com grau de correlação $R^2 = 0,87$.

Tabela 54: Resultados na ANOVA^V para a variável RC Amapá com $R^2=0,87$.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,1936	1	0,1936	113,4375
Resíduos	0,0400	1	0,0400	23,4375
Interação	0,0064	1	0,0064	3,7500
Erro	0,0341	20	0,0017	
Total SS	0,2741	23		

As curvas de nível da Figura 62 mostram que existe uma tendência para valores mais altos de RC em amostras com maior quantidade de resíduos.

Segundo Matos (1988), a umidade do painel juntamente com a temperatura proporciona uma maior plasticização da madeira, conseqüentemente, oferecendo menor RC do painel. No caso dos painéis de Amapá, a umidade dos painéis influenciou na RC, pois verifica-se através dos resultados que painéis mais úmidos apresentaram RC altos.

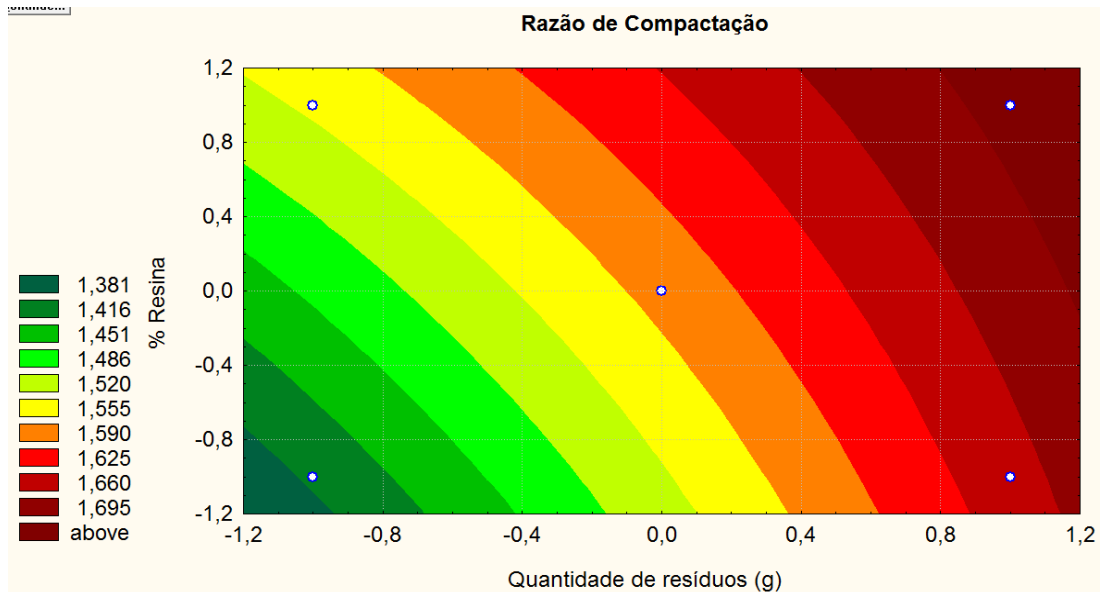


Figura 62: Curvas de nível para a variável resposta Razão de Compactação dos painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

Na Equação 24 é mostrado o modelo matemático para Razão de Compactação em função das variáveis do processo estudadas.

$$\text{Razão de Compactação} = 1,5667 + 0,1100 \cdot \text{Resíduo} + 0,05 \cdot \text{Resina} - 0,02 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina} \quad (\text{Equação 24})$$

4.5.2.3 Teor de Umidade

As análises de Teor de umidade nos painéis de Amapá estão apresentadas na Tabela 55.

Tabela 55: Média do teor de umidade dos painéis de Amapá.

Amostras	Condições de processo		Teor de umidade (%)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	7,58 ± 0,24
2	1000	15	7,66 ± 0,35
3	1300	12,5	7,45 ± 0,49
4	1500	10	8,04 ± 0,23
5	1500	15	8,20 ± 0,17

Verifica-se que o Teor de Umidade nos painéis de Amapá variou entre 7,6 e 8,2%, conforme verifica-se na Tabela 55.

Os resultados do tratamento estatístico, com 95% de confiança, para a variável resposta Teor de Umidade nos painéis de Amapá, são apresentados na Tabela 58, determinados pelos testes t e F (Tabela 56 e 57, respectivamente). Analisando os resultados do teste t, verificou-se que a variável resíduo foi significativa ($p < 0,05$), enquanto as variáveis individuais resina e interação não foram significativas ($p > 0,05$). O coeficiente de correlação obtido neste planejamento foi de 0,52, considerado baixo, indicando que não há relação linear entre as duas variáveis.

Tabela 56: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – teor de umidade Amapá; $R^2 = 0,52$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(1)^I$	<i>p</i>
Média Global	7,7307	0,0444	174,2315	0,0000
(1) Resíduo	0,4953	0,1087	4,5570	0,0002
(2) Resina	0,1208	0,1087	1,1118	0,2794
Interação	0,0428	0,1087	0,3940	0,6977

Analisando os resultados de variância conjunta (ANOVA) (Figura 57) verificou-se através do teste F, que o valor de F calculado ($F = 20,76$) foi maior que o F tabelado ($F_{0,95;1,22} = 4,30$) nas condições de processo estudadas, indicando que a correlação conjunta das variáveis analisadas no modelo foi significativa a 95% de confiança.

Tabela 57: Resultados na ANOVA^V para a variável teor de umidade Amapá com $R^2 = 0,52$.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,9812	1	0,9812	20,7663
Resíduos	0,0584	1	0,0584	1,2361
Interação	0,0073	1	0,0073	0,1553
Erro	0,9450	20	0,0472	
Total SS	1,9919	23		

Na equação 25 é apresentado o modelo matemático para o Teor de Umidade da madeira Amapá em função das variáveis de processo: resíduo e resina.

$$\text{Teor de umidade} = 7,7307 + 0,2476 * \text{Resíduo} + 0,0604 * \text{Resina} + 0,0214 * \text{Resíduo} * \text{Resina} \quad (\text{Equação 25})$$

O gráfico das curvas de nível do Teor de umidade nos painéis de Amapá (Figura 63) mostra que existe uma tendência para valores mais altos de umidades em porcentagens de resíduo maiores, no intervalo dos níveis dos fatores. Isto pode estar relacionado à característica higroscópica da madeira (tropical), ou seja, maiores quantidade de madeiras implicariam em maior quantidade de umidade.

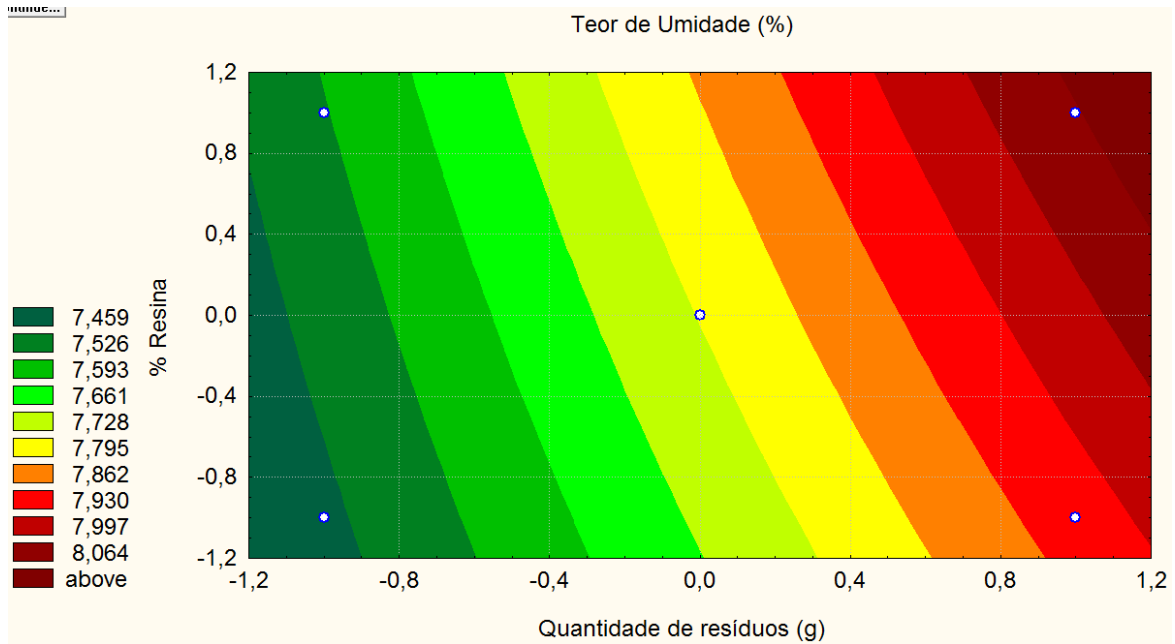


Figura 63: Curvas de nível para a variável resposta Teor de Umidade painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

4.5.2.4 Inchamento de Espessura em água 2 e 24 horas

Os resultados de inchamento de espessura em 2 e 24 horas nos painéis de Amapá são mostrados na Tabela 58. A norma NBR ABNT 14810-2 (2006) cita especificação de Inchamento de Espessura máxima somente em 2 horas que é de 8%. O Inchamento de Espessura nos painéis de Amapá em 2 horas não ultrapassaram o máximo permitido pela norma NBR ABNT 14810-2.

Os valores encontrados para inchamento em 2 horas de 2-4% apresentaram-se menores aos resultados de Lima (2011) que obteve valores de inchamento de espessura de 13,29% e com relação ao Inchamento de Espessura em 24 horas os painéis de Amapá apresentaram resultados menores que Lima (2011) mostrando-se satisfatórios.

Tabela 58: Média do inchamento de espessura em água 2 e 24 horas dos painéis de Amapá.

Amostras	Condições de processo		Inchamento 2 horas (%)	Inchamento 24 horas (%)
	Resíduo (g)	Resina (%)		
1	1000	10	2,56 ± 0,52	10,15 ± 1,97
2	1000	15	2,88 ± 1,46	8,27 ± 1,12
3	1300	12,5	3,25 ± 1,26	9,36 ± 2,15
4	1500	10	4,63 ± 2,04	11,45 ± 2,91
5	1500	15	2,58 ± 0,53	6,72 ± 1,23

Os resultados do tratamento estatístico com a variável resposta Inchamento de Espessura são mostrados na Tabela 59. Através do teste t, verifica-se que as variáveis resíduo, resina e interação foram significativas ($p < 0,05$) a 95% de confiança e seu grau de correlação $R^2 = 0,99$ indica que as variáveis do processo apresentaram linearidade com relação a variável resposta. O efeito negativo da variável individual resina indica que aumentando a porcentagem de resina há uma diminuição do inchamento em 2 horas. O efeito negativo da variável interação indica que o aumento de ambas as variáveis na mesma proporção há a diminuição no inchamento em 2 horas.

Tabela 59: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – inchamento em água 2 horas Amapá; $R^2=0,99$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	3,1946	0,0094	339,6898	0,0000
(1) Resíduo	0,8829	0,0230	38,3291	0,0000
(2) Resina	-0,8706	0,0230	-37,7935	0,0000
Interação	-1,1875	0,0230	-51,5485	0,0000

A Análise de Variância conjunta (ANOVA) é representada na Tabela 60. O valor de F calculado ($F = 1469,124$) apresentou resultado maior que o F tabelado ($F_{0,95;1;22} = 4,30$), indicando que a regressão foi significativa com grau de correlação de 0,99.

Tabela 60: Resultados da ANOVA^V para a variável inchamento em água 2 horas Amapá com $R^2=0,99$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	3,1184	1	3,1184	1469,124
Resíduos	3,0318	1	3,0318	1428,346
Interação	5,6403	1	5,6403	2657,252
Erro	0,0424	20	0,0021	
Total SS	11,8329	23		

O modelo matemático da variável resposta Inchamento em 2 horas nos painéis de Amapá é mostrado na Equação 26.

$$\text{Inchamento em 2h} = 3,1946 + 0,4414 \cdot \text{Resíduo} - 0,4353 \cdot \text{Resina} - 0,5937 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina} \quad (\text{Equação 26})$$

As curvas de nível da Figura 64 foram obtidas com o modelo matemático dos efeitos das variáveis da Tabela 59 mostram que existe uma tendência para valores mais baixos de inchamento em 2 horas para porcentagem de resina maior, no intervalo de níveis dos fatores estudados. Este resultado provavelmente está relacionado às propriedades hidrofóbicas apresentadas pela resina ou ainda em relação a RC dos painéis. Painéis de alta densidade (1500 g a 10%) e RC alto tendenciarão para maior valor de inchamento em 2 horas.

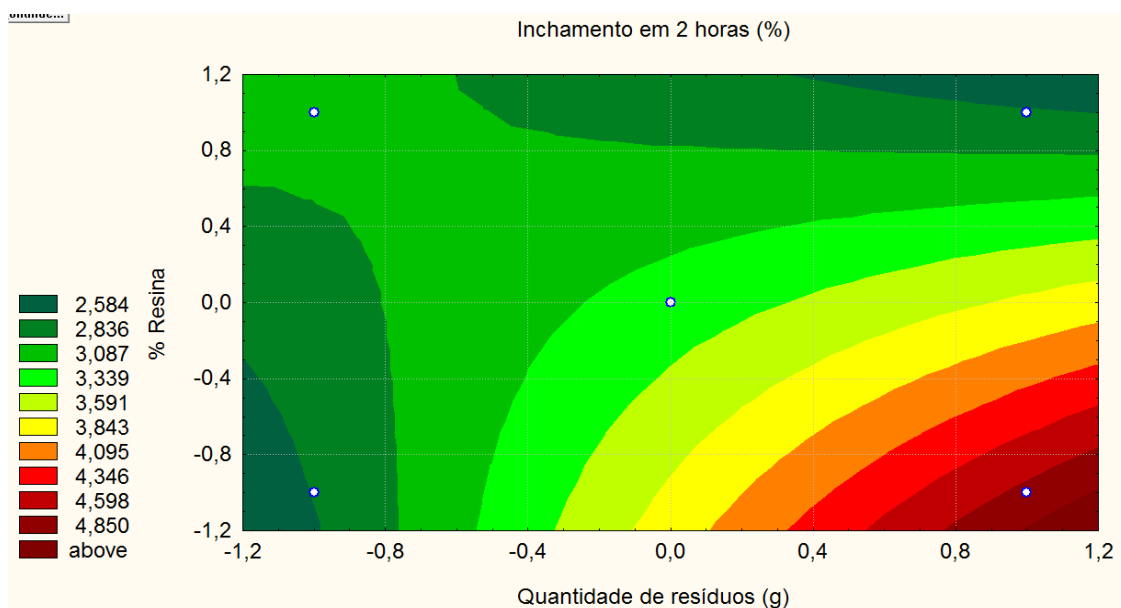


Figura 64: Curvas de nível para a variável resposta inchamento em 2 horas em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

O tratamento estatístico com a variável resposta Inchamento de Espessura em água 24 horas é representado na Tabela 61. Analisando o teste t, verifica-se que todas as variáveis individuais do processo foram significativas ($p < 0,05$) a 95% de confiança.

Tabela 61: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – inchamento em água 24 horas Amapá; $R^2=0,99$ ^{II}.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	9,2175	0,0223	413,0782	0,0000
(1) Resíduo	-0,1268	0,0546	-2,3199	0,0310
(2) Resina	-3,3112	0,0546	-60,5811	0,0000
Interação	-1,4245	0,0546	-26,0629	0,0000

Os resultados da Análise de Variância conjunta (ANOVA) estão representados na Tabela 62. O valor de F calculado ($F= 5,38$) foi maior que o valor do F tabelado ($F= 4,30$), com 95% de confiança, indicando que esta regressão foi significativa.

Tabela 62: Resultados na ANOVA^V para a variável inchamento em água 24 horas Amapá com $R^2=0,99$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,0643	1	0,0643	5,3818
Resíduos	43,8575	1	43,8575	3670,0714
Interação	8,1174	1	8,1174	679,2755
Erro	0,2390	20	0,0119	
Total SS	52,2782	23		

O modelo matemático que representa o intervalo dos níveis avaliados através dos efeitos estimados está representado na Equação 27.

$$\text{Inchamento em 24 h} = 9,2175 - 0,0634 * \text{Resíduo} - 1,6556 * \text{Resina} - 0,7122 * \text{Resíduo} * \text{Resina} \quad (\text{Equação 27})$$

As curvas de nível da Figura 65, obtidas através da Equação 20 e com grau de correlação de $R^2= 0,99$, mostram que o inchamento em 24 horas tende a serem maiores com porcentagens de resina menores.

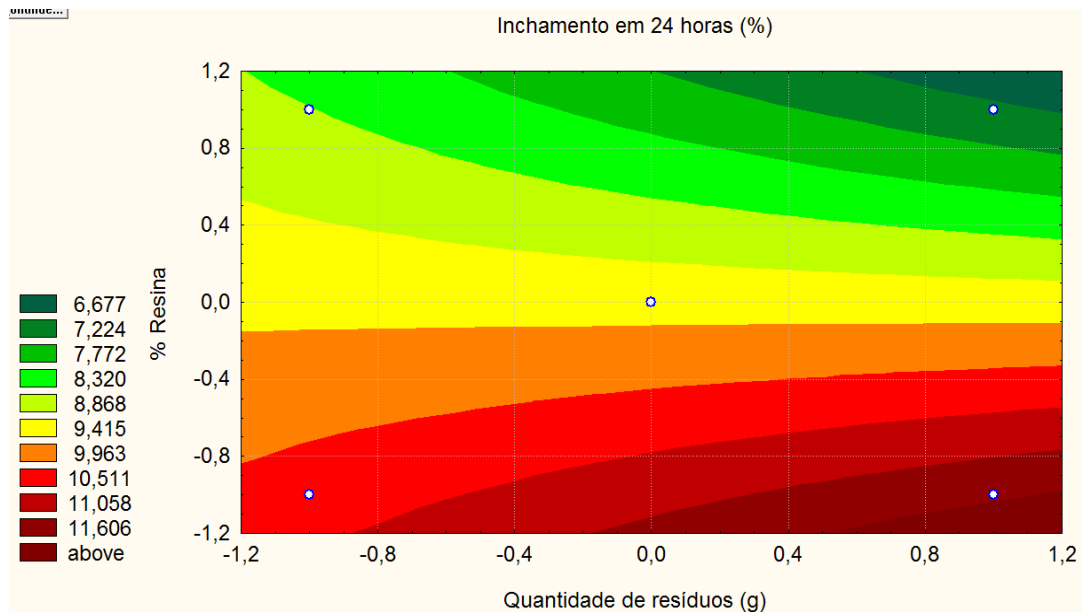


Figura 65: Curvas de nível para a variável resposta inchamento em 24 horas em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

KAWAI E SASSAKI (1993), afirma que em termos de estabilidade dimensional, o inchamento de espessura em painéis de média densidade é maior com o aumento na RC e menor para painéis de baixa densidade, independentemente da espécie utilizada e da RC. Porém, a análise das curvas de nível mostram que a maior taxa de inchamento em 24 horas tendenciou para painéis com razão de compactação menores (1000 g a 10%) e compactação maiores (1500 g a 10%), o que provavelmente está relacionado com a interação das propriedades da resina utilizada e a interação física entre resíduo e resina, ou seja, o resíduo de madeira que tem propriedades hidrofílicas (tendência de absorver água) e a resina que tem propriedades hidrofóbicas (tendência de repelir água) se unem no Inchamento em 24 horas através de uma dilatação dos poros havendo o maior inchamento.

4.5.2.5 Absorção de água em 2 e 24 horas

Na Tabela 63 são apresentados os valores médios de absorção em água 2 e 24 horas em painéis de Amapá.

Tabela 63: Média da absorção em água 2 e 24 horas dos painéis de Amapá.

Amostras	Condições de processo		Absorção 2 horas (%)	Absorção 24 horas (%)
	Resíduo (g)	Resina (%)		
1	1000	10	9,839 ± 1,33	31,275 ± 3,38
2	1000	15	5,198 ± 0,32	18,163 ± 1,73
3	1300	12,5	6,087 ± 1,05	19,789 ± 3,37
4	1500	10	7,004 ± 1,77	22,215 ± 4,51
5	1500	15	5,139 ± 1,13	15,963 ± 2,27

Os resultados de absorção em 2 horas deram em torno de 5 a 9%. Comparando com Lima (2011) que trabalhou com a mesma espécie, mas utilizando a resina uréia-formaldeído, seus resultados foram superiores (48,39%). Isto pode ser um indicativo de que a resina uréia-formaldeído absorve mais água que a resina poliuretana à base de mamona.

Já os resultados de absorção em 24 horas apresentaram resultados em torno de 15-31%, valores próximos aos encontrados por Lima (2011) que apresentaram uma média de 20,58% de absorção em 24 horas.

A análise dos efeitos estimados para a variável resposta absorção em 2 horas é apresentada na Tabela 64. Verifica-se que o efeito resíduo e resina foram negativos, indicando que o aumento destas variáveis acarretará em uma diminuição na absorção em 2 horas dos painéis aglomerados de Amapá. Analisando os resultados do teste t, verificou-se que as variáveis resíduo, resina e interação foram significativas ($p < 0,05$) a 95% de confiança e seu grau de correlação de 0,96 foi bom para o modelo estudado.

Tabela 64: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – absorção em 2 horas Amapá; $R^2=0,96$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	6,5589	0,0747	87,8333	0,0000
(1) Resíduo	-1,4471	0,1829	-7,9116	0,0000
(2) Resina	-3,2536	0,1829	-17,7876	0,0000
Interação	1,3880	0,1829	7,5883	0,0000

A Análise de Variância conjunta apresentada na Tabela 65 mostra que o valor de F calculado ($F = 0,00$) foi menor que o valor de F tabelado ($F_{0,95;1,22} = 4,30$). Este resultado indica que as variáveis do processo em conjunto não foram significativas a 95% de confiança.

Tabela 65: Resultados na ANOVA^V para a variável absorção em água 2 horas Amapá com $R^2=0,96$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	8,3770	1	8,3770	0,0000
Resíduos	42,3442	1	42,3442	0,0000
Interação	7,7064	1	7,7064	0,0000
Erro	2,6766	20	0,1338	
Total SS	61,1042	23		

As curvas de nível da variável resposta absorção em 2 horas são mostradas na Figura 66. Observa-se que a absorção em 2 horas tendenciou para quantidades de resíduos e resina menores, ou seja, painéis com RC mais baixo absorveram mais água. Este resultado confirma o que Vital *et al* (1974) concluiu em suas análises.

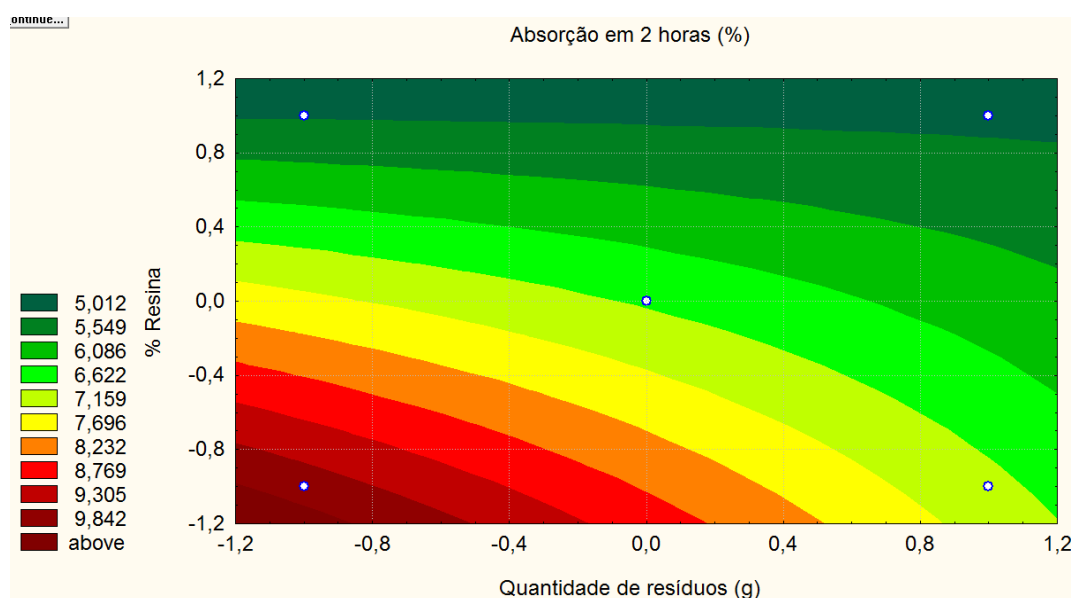


Figura 66: Curvas de nível para a variável resposta absorção em 2 horas em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

O modelo matemático que representa os níveis de intervalos estudados para a variável resposta absorção em 2 horas é representado pela Equação 28:

$$\text{Absorção em 2 horas} = 6,5589 - 0,7235 * \text{Resíduo} - 1,6268 * \text{Resina} + 0,6940 * \text{Resíduo} * \text{Resina} \text{ (Equação 28)}$$

O tratamento estatístico da variável resposta Absorção em 24 horas em painéis de Amapá é apresentado na Tabela 66. Verifica-se que os efeitos das variáveis resíduo e resina apresentaram-se negativos, indicando que o aumento destas variáveis nestas proporções citadas causará uma diminuição na absorção em 24 horas. Analisando os resultados do teste t, nota-se que todas as variáveis explicativas do processo foram significativas ($p < 0,05$) ao nível de 95% e apresentaram grau de correlação bom de $R^2=0,96$.

Tabela 66: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – absorção em 24 horas Amapá; $R^2=0,96$ ^{II}.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	21,1992	0,2230	95,0601	0,0000
(1) Resíduo	-5,6297	0,5462	-10,3060	0,0000
(2) Resina	-9,6818	0,5462	-17,7239	0,0000
Interação	3,4298	0,5462	6,2787	0,0000

Os resultados da Análise de Variância conjunta (ANOVA) representada na Figura 67 mostram que o valor do F calculado ($F= 106,21$) foi maior que o F tabelado ($F_{0,95;1,22} = 4,30$), indicando que a análise de regressão foi significativa nos intervalos do processo estudados.

Tabela 67: Resultados na ANOVA ^V para a variável absorção em água 24 horas Amapá com $R^2=0,96$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	126,7741	1	126,7741	106,2131
Resíduos	374,9475	1	374,9475	26,1780
Interação	47,0541	1	47,0541	3,2852
Erro	23,8716	20	1,1936	
Total SS	572,6473	23		

Conforme verifica-se nas curvas de nível da variável resposta absorção 24 horas em painéis de Amapá na Figura 67, maior absorção ocorreu em menores quantidades de resíduo e resina, semelhante aos resultados encontrados na absorção em 2 horas. Esses resultados foram

influenciados pela razão de compactação, indicando que a maior absorção ocorreu em painéis com menor razão de compactação.

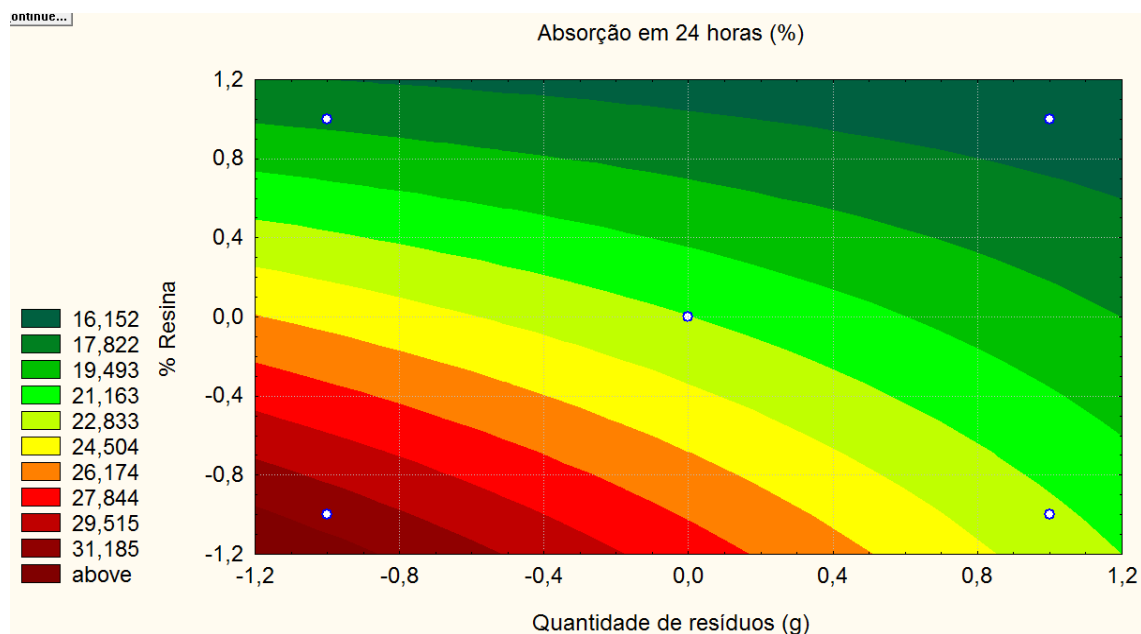


Figura 67: Curvas de nível para a variável resposta absorção em 24 horas em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

A Equação 29 apresenta o modelo matemático no intervalo dos níveis estudados.

Absorção em 24 horas = $21,1992 - 2,8148 \cdot \text{Resíduo} - 4,8409 \cdot \text{Resina} + 1,7149 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina}$
(Equação 29)

4.5.2.6 Módulo de Ruptura (MOR)

Os valores médios de MOR em painéis aglomerados de Amapá podem ser vistos na Tabela 68. Verifica-se que somente os painéis a 1300 g e 1500 g apresentaram resultados satisfatórios, atendendo ao mínimo especificado pela norma NBR ABNT 14810-2 (2006).

Tabela 68: Média do MOR dos painéis de Amapá.

Amostras	Condições de processo		MOR (MPa)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	7,94 ± 1,71
2	1000	15	15,24 ± 1,06
3	1300	12,5	20,18 ± 3,02
4	1500	10	17,31 ± 1,42
5	1500	15	21,18 ± 1,68

Os resultados do tratamento estatístico são mostrados na Tabela 69. Os efeitos individuais dos fatores resíduo e resina foram significativos para essas condições de processo. Porém, a variável interação não foi significativa ($p > 0,05$) ao nível de 95% de confiança e seu efeito negativo indica que aumentando a massa de resíduo e a porcentagem de resina na mesma proporção haverá uma diminuição no MOR de 1,72 MPa.

Tabela 69: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – MOR Amapá; $R^2=0,75$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	17,0055	0,5025	33,8379	0,0000
(1) Resíduo	7,6564	1,2310	6,2196	0,0000
(2) Resina	5,5864	1,2310	4,5380	0,0002
Interação	-1,7169	1,2310	-1,3947	0,1784

Verifica-se na Análise de Variância conjunta (ANOVA) (Tabela 70) que o valor do F calculado ($F = 38,68$) foi maior que o valor de F tabelado ($F=_{0,95;1,22} = 4,30$), indicando que a análise de regressão nesta variável resposta – MOR foi significativa a 95% de confiança.

Tabela 70: Resultados na ANOVA^V para a variável MOR Amapá com $R^2=0,75$ II.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	234,4803	1	234,4803	38,6832
Resíduos	124,8303	1	124,8303	20,5938
Interação	11,7906	1	11,7906	1,9451
Erro	121,2312	20	6,0616	
Total SS	492,3325	23		

O gráfico representando as curvas de nível na Figura 68 mostra que o aumento do MOR tende para maiores quantidades de resíduos e resina. Os resultados de Lima (2011) com 100% Amapá apresentaram MOR de 11,85 MPa, valor menor ao encontrado neste estudo.

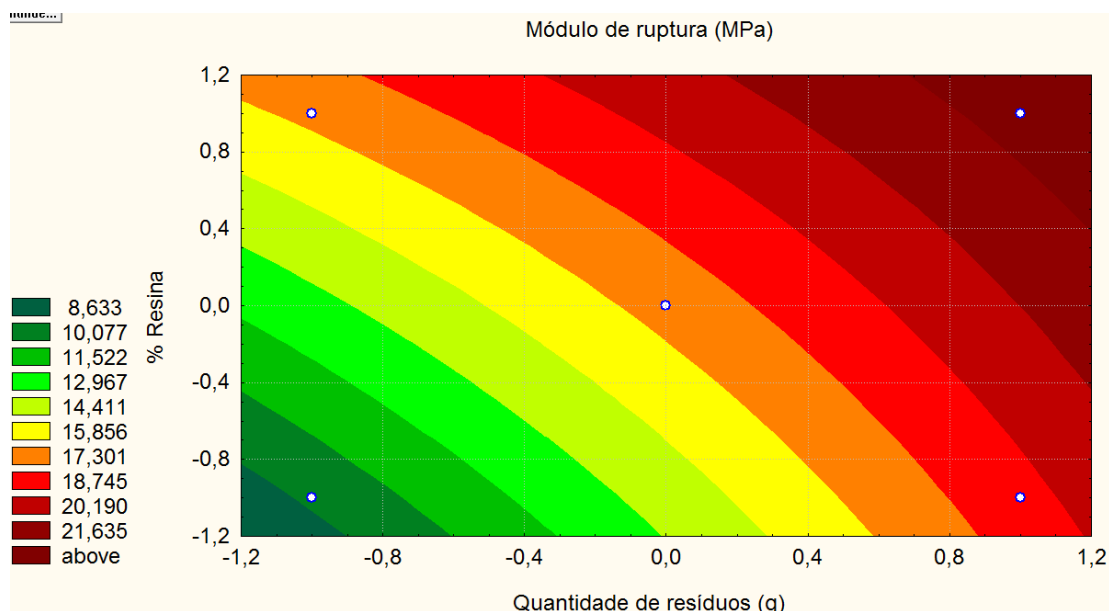


Figura 68: Curvas de nível para a variável resposta MOR em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

O modelo matemático da variável resposta MOR em painéis de Amapá é representado através da Equação 30.

$$\text{MOR} = 17,0055 + 3,8282 * \text{Resíduo} + 2,7932 * \text{Resina} - 0,8584 * \text{Resíduo} * \text{Resina} \quad (\text{Equação 30})$$

4.5.2.7 Módulo de Elasticidade (MOE)

Na Tabela 71, estão apresentados os valores médios de MOE em painéis aglomerados de Amapá. A norma brasileira NBR ABNT 14810-2 (2006) não cita especificação para MOE.

Os resultados encontrados apresentaram-se próximos aos encontrados por LIMA (2011) para painéis com a mesma espécie, de 1937, 21 MPa, com exceção para painéis de 1000 g.

Comparando os resultados dos painéis de Amapá com a norma americana ANSI A208.1 que cita 2400 MPa, verifica-se que nenhum dos painéis apresentaram resultados satisfatórios.

Tabela 71: Média do MOE dos painéis de Amapá.

Amostras	Condições de processo		MOE (MPa)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	1336,27 ± 182,42
2	1000	15	1835,74 ± 60,35
3	1300	12,5	2348,84 ± 243,78
4	1500	10	2121,60 ± 176,37
5	1500	15	2254,98 ± 283,23

O tratamento estatístico da variável resposta MOE é apresentado na Tabela 72. Analisando os resultados do teste t, verifica-se que as variáveis resíduo e resina foram significativas ($p < 0,05$) a 95% de confiança. Porém a interação não foi significativa ($p > 0,05$). O sinal negativo do efeito de interação individual indica que o aumento de ambas as variáveis na mesma proporção ocasiona a diminuição do MOE. O coeficiente de correlação obtido neste planejamento foi de 0,63.

Tabela 72: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – MOE Amapá; $R^2 = 0,63$ II.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	2041,0454	48,6671	41,9389	0,0000
(1) Resíduo	602,2881	119,2095	5,0523	0,0001
(2) Resina	316,4273	119,2095	2,6544	0,0152
Interação	-183,0416	119,2095	-1,5355	0,1403

Os resultados do teste F (Figura 73) na Análise de Variância conjunta mostram que o valor de F calculado ($F = 25,52$) é maior que o valor de F Tabelado ($F_{0,95;1,22} = 4,30$), indicando que a análise regressiva foi significativa ao nível de 95% de confiança.

Tabela 73: Resultados na ANOVA^V para a variável MOE Amapá com $R^2 = 0,63$ II.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	1451004,0625	1	1451004,0625	25,5262
Resíduos	400505,0713	1	400505,0713	7,0457
Interação	134016,9825	1	134016,9825	2,3576
Erro	1136872,4739	20	56843,6237	
Total SS	3122398,5903	23		

O modelo matemático para o intervalo dos níveis das variáveis estudadas é representado pela Equação 31, mas que não foi eficaz no final do processo.

$$\text{MOE} = 2041,0454 + 301,144 \cdot \text{Resíduo} + 158,2136 \cdot \text{Resina} - 91,5208 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina} \quad (\text{Equação 31})$$

As curvas de nível (Figura 69) mostram que existe uma tendência para valores mais altos de MOE a maiores quantidade de resíduos e resinas, no intervalo de níveis dos fatores investigados. Porém os resultados estão abaixo do mínimo recomendado pela norma ANSI A208.1.

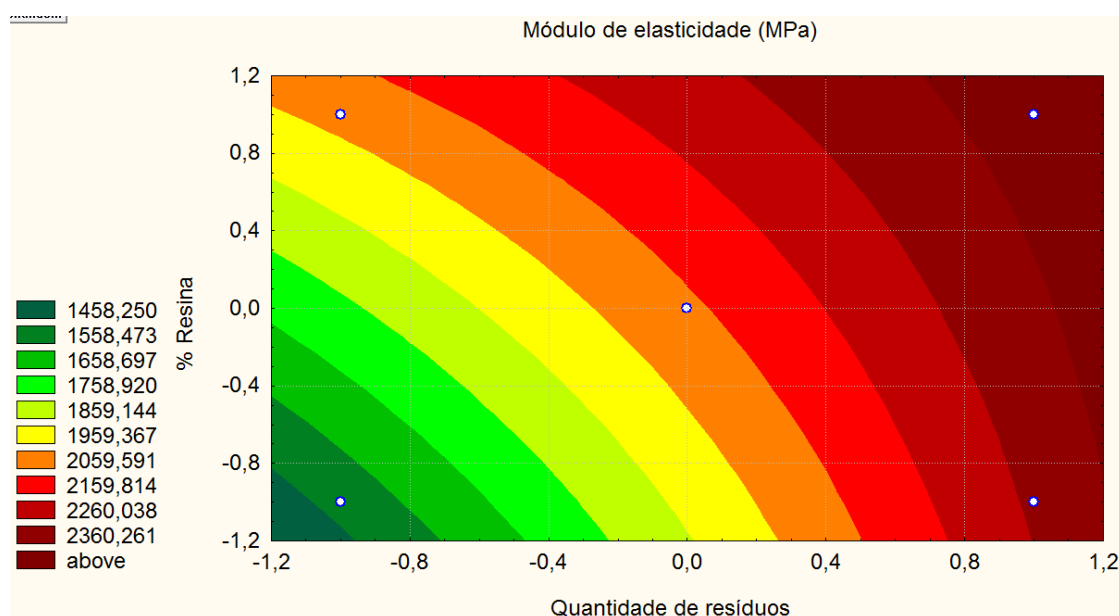


Figura 69: Curvas de nível para a variável resposta MOE em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

4.5.2.8 Arrancamento de parafuso

A Tabela 74 representa os valores médios de Arrancamento de Parafuso nos painéis de Amapá. Não há especificação normativa NBR ABNT 14810-2 (2006) para a espessura do painel estudado, mas seus resultados foram satisfatórios para a maioria dos painéis analisados, pois apresentaram resultados superiores ao mínimo recomendado para painéis com espessura maiores aos estudados neste trabalho (1020 N), com exceção para os painéis a 1000g a 10 e 15%.

Tabela 74: Média do Arrancamento de Parafuso dos painéis de Amapá.

Amostras	Condições de processo		Arrancamento de Parafuso (N)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	845,0 ± 190,0
2	1000	15	915,0 ± 437,8
3	1300	12,5	1549,0 ± 249,3
4	1500	10	1515,0 ± 177,9
5	1500	15	2102,5 ± 115,9

Os efeitos estimados da variável resposta Arrancamento de Parafuso nos painéis de Amapá (Tabela 75) analisados através dos resultados do teste t, indicam que as variáveis resíduo, resina e interação foram significativas ($p < 0,05$) e cujo grau de correlação foi 0,95.

Tabela 75: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – arrancamento de parafuso Amapá; $R^2 = 0,95$ ^{II}.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	1412,5833	21,5694	65,4902	0,0000
(1) Resíduo	928,7500	52,8339	17,5786	0,0000
(2) Resina	328,7499	52,8339	6,2223	0,0000
Interação	258,7499	52,8339	4,8974	0,0000

A Tabela 76 apresenta os resultados da Análise de Variância conjunta (ANOVA). O teste F calculado ($F = 309,01$) apresentou um valor maior que o valor de F tabelado ($F_{0,95;1;22} = 4,30$), indicando que a análise de regressão foi significativa a 95% de confiança.

Tabela 76: Resultados na ANOVA^V para a variável arrancamento de parafuso Amapá com $R^2 = 0,95$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	3450306,2500	1	3450306,2500	309,0093
Resíduos	432306,2499	1	432306,2499	38,7173
Interação	267806,2499	1	267806,2499	23,9847
Erro	223314,0833	20	11165,7042	
Total SS	4373732,8333	23		

As curvas de nível da Figura 70 mostram que existe uma tendência para valores mais altos de arrancamento de parafuso em quantidades de resíduos e resina maiores. Isso também pode estar relacionado com o aumento da RC.

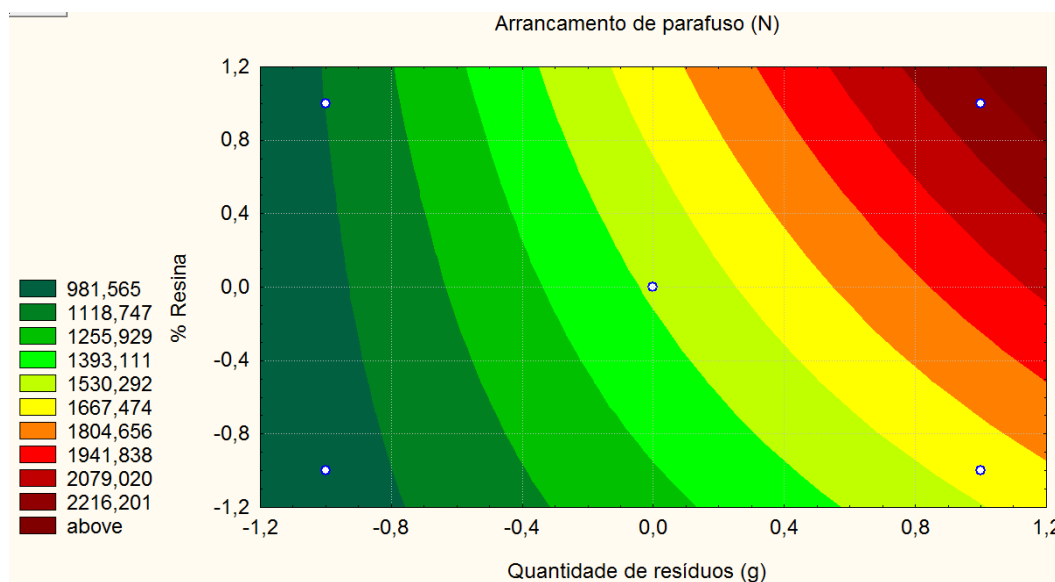


Figura 70: Curvas de nível para a variável resposta arrancamento de parafuso em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

O modelo matemático que representa os intervalos dos níveis das variáveis da variável resposta Arrancamento de Parafuso está representado na Equação 32.

$$\text{Arrancamento de parafuso} = 1412,5833 + 928,7500 * \text{Resíduo} + 328,7499 * \text{Resina} + 258,7499 * \text{Resíduo} * \text{Resina}$$

(Equação 32)

4.5.2.9 Adesão interna

Os resultados de adesão interna dos painéis de Amapá estão apresentados na Tabela 77. Observa-se que os resultados obtidos foram satisfatórios e superiores ao mínimo recomendado por norma NBR ABNT 14810-2 (2006) que especifica mínimo de 0,40 MPa.

Tabela 77: Média da adesão interna dos painéis de Amapá.

Amostras	Condições de processo		Adesão Interna (MPa)
	Resíduo (g)	Resina (%)	
1	1000	10	1,62 ± 0,20
2	1000	15	1,34 ± 0,65
3	1300	12,5	1,77 ± 0,42
4	1500	10	1,75 ± 0,07
5	1500	15	2,11 ± 0,23

Os efeitos das variáveis resíduo e resina sobre a adesão interna são apresentados na Tabela 78. Verifica-se através do teste t, que as variáveis individuais resíduo e interação foram significativas ($p < 0,05$), com exceção para a variável resina que apresentou $p > 0,05$. O grau de correlação neste modelo foi de 0,98.

Tabela 78: Efeitos estimados dos fatores resíduo e resina para a variável de resposta – adesão interna Amapá; $R^2 = 0,98$ ^{II}.

	<i>Efeito</i>	<i>Desvio</i>	$t(20)^I$	<i>p</i>
Média Global	1,7269	0,0071	242,2620	0,0000
(1) Resíduo	0,4487	0,0175	25,7006	0,0000
(2) Resina	0,0337	0,0175	1,9329	0,0675
Interação	0,3187	0,0175	18,2553	0,0000

Os resultados também podem ser observados nos resultados da Análise de Variância conjunta (ANOVA), disponível na Tabela 52, com os valores do teste F.

O teste F (Tabela 79) mostra que o valor de F calculado ($F = 660,5195$) foi maior que o valor de F tabelado ($F = 4,30$), indicando que a regressão conjunta foi significativa a 95 % de confiança.

Tabela 79: Resultados na ANOVA^V para a variável adesão interna Amapá com $R^2 = 0,98$ ^{II}.

	SS^{III}	df^{IV}	MS^V	F^{IV}
Regressão	0,8005	1	0,8055	660,5195
Resíduos	0,0045	1	0,0045	3,7361
Interação	0,4064	1	0,4064	333,2553
Erro	0,0244	20	0,0012	
Total SS	1,2408	23		

A Equação 33 representa o modelo obtido e estatisticamente significativo a 95% de confiança, no intervalo de níveis dos fatores investigados.

Adesão interna = $1,7269 + 0,22435 \cdot \text{Resíduo} + 0,01685 \cdot \text{Resina} + 0,15935 \cdot \text{Resíduo} \cdot \text{Resina}$ (Equação 33)

LIMA (2011), encontrou resultados de adesão interna com Amapá de 0,83 MPa, valor inferior ao encontrado neste trabalho. No presente estudo, o melhor desempenho (2,10 MPa) foi obtido empregando-se a porcentagem de resina 15% a 1500 g de resíduos de Amapá.

As curvas de nível da Figura 71 mostram que há uma tendência para maiores valores de adesão interna com maiores quantidades de resíduos e resinas, dentro do intervalo dos níveis estudados e foram obtidas com o modelo matemático dos efeitos das variáveis da Tabela 74, com a correlação de $R^2 = 0,98$.

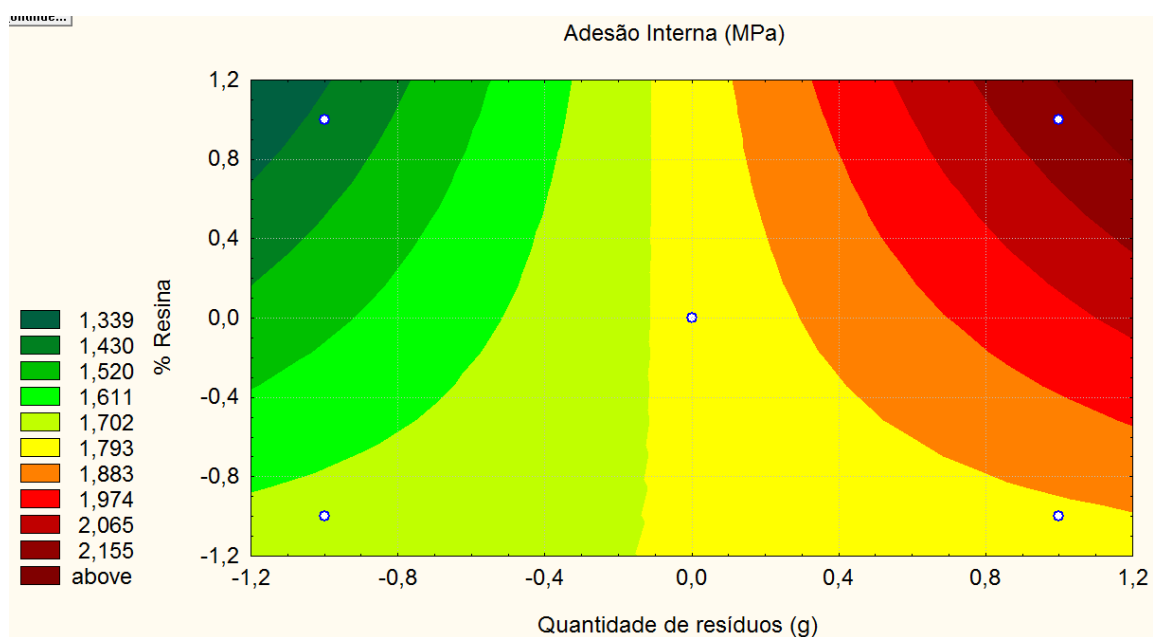


Figura 71: Curvas de nível para a variável resposta Adesão Interna em painéis de Amapá. Quantidade de resíduos: (-1= 1000 gramas), (0= 1300 gramas), (+1= 1500 gramas). % Resina: (-1= 10%), (0= 12,5%), (+1= 15%).

Fazendo uma análise geral dos resultados com os painéis de Amapá, verificou-se que os painéis a 1300 g a 12,5% e 1500 g a 15% apresentou os melhores resultados em relação à norma brasileira utilizada neste trabalho.

5 CONCLUSÃO

Através das caracterizações químicas, físicas e mecânicas foi possível concluir que a densidade básica da madeira Cumarurana, apresentou características de média densidade, e os painéis aglomerados apresentaram alta densidade, possibilitando assim, uma razão de compactação aceitável. O teor de lignina encontrado foi significativo, impedindo a adesão das fibras ao polímero, devido a sua capacidade de auto-oxidação. O Teor de Umidade e Hemiceluloses encontrado nos resíduos de madeira, através das análises químicas, pode ter sido a causa da baixa resistência ao MOR, MOE e Arrancamento de Parafuso nos painéis em decorrência do decréscimo do grau médio de polimerização do sistema. O teor de inchamento nos painéis produzidos com resina à base de óleo da mamona apresentou melhor desempenho que os painéis produzidos com a resina sintética uréia – formaldeído, em comparação a painéis produzidos com Cumarurana, Cumaru e Amapá. Em geral, os resultados mecânicos com painéis de Cumarurana, com exceção da Adesão Interna, não apresentaram bom desempenho, não alcançando o mínimo recomendado pela norma brasileira. Porém, observou-se que houve um aumento das propriedades em painéis com maior quantidade de resíduo.

Na segunda etapa foram produzidos painéis com resíduos de Cumaru e Amapá, através de planejamento experimental, variando as condições dos resíduos (1000 a 1500 g) e porcentagem de resina (10 a 15%). Assim verificou-se que em painéis de Cumaru o resíduo é um fator significativo (95% de confiança) para as variáveis respostas Densidade e Razão de Compactação e que há um aumento dessas variáveis em painéis com maiores quantidades de resíduo e resina. Para o Teor de Umidade e Inchamento em 2 horas, as variáveis, nos níveis estudados, não foram significativas, observando que valores maiores de umidade e inchamento foram obtidos em painéis com menor quantidade de resina, o que provavelmente é devido as características hidrofóbicas da resina. O tratamento estatístico para a Absorção em 24 horas apresentou valores significativos para as variáveis resíduo e resina, observando-se uma maior tendência de absorção em painéis com baixa razão de compactação, comprovando a tendência de maior absorção em painéis com menor quantidade de material lenhoso.

Os ensaios de MOR nos painéis de Cumaru apresentaram melhor desempenho que os painéis de Cumarurana realizados na 1ª Etapa do trabalho. Os valores obtidos estão de acordo com os padrões normativos, com exceção dos painéis produzidos com 1000 g a 10%. O tratamento estatístico indicou que o resíduo e resina foram significativos nos níveis estudados e maiores valores de MOR foram obtidos em painéis com maior Razão de Compactação. Os valores de MOE e Arrancamento de Parafuso na Face apresentaram-se satisfatórios, comparado a outras espécies tropicais, apesar de não haver especificação na norma brasileira. Os resultados dos testes de Adesão

Interna apresentaram-se acima dos valores normativos, porém o tratamento estatístico indicou que os fatores (resíduo, resina e interação) não foram significativos considerando os níveis estudados.

Para os Painéis de Amapá o resíduo e a resina são fatores significativos (95% de confiança) para as variáveis respostas Densidade e Razão de Compactação, nos níveis estudados. Observa-se também que há um aumento na Densidade e Razão de Compactação em painéis com maiores quantidades de resíduo e resina, assim como observado em painéis de Cumaru. Para o Teor de Umidade a variável resíduo foi significativa, nas condições estudadas, apresentando maior Teor de Umidade em amostras com maior quantidade de resíduo. O tratamento estatístico para as variáveis respostas Inchamento de Espessura e Absorção apresentou efeitos significativos nos níveis estudados, tanto para resíduo, resina e a interação entre eles, indicando que valores mais altos de Inchamento e Absorção são obtidos em painéis com menor quantidade de resina.

Os resultados mecânicos apresentaram-se inferiores aos produzidos com resíduo de Cumaru. Os valores de MOE mostram que há uma tendência de maiores valores serem obtidos em painéis com maior quantidade de resíduo. O MOR foi satisfatório, com base na norma brasileira somente para os painéis a 1300 g a 12,5% e 1500 a 15%. Os resultados de Adesão Interna apresentaram-se acima do recomendado pela norma, indicando que maiores valores podem ser obtidos em painéis com maior Razão de Compactação.

Logo, os painéis de Cumarurana estudados não obtiveram bom desempenho, porém os painéis de Cumaru a 1300 g e 1500 g tiveram um melhor desempenho. Em relação aos painéis de Amapá, os painéis a 1300 g e 1500 a 15% apresentaram os melhores resultados.

A pesquisa desenvolvida neste estudo sobre a caracterização de painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeiras amazônicas, principalmente com resíduos de Cumaru e Amapá, e a resina do óleo da mamona evidencia o potencial destes produtos para as indústrias do ramo de painéis aglomerados, contribuindo para o meio ambiente através do reaproveitamento dos resíduos gerados durante o processamento da madeira.

5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Ampliar os estudos para produção de painéis de Cumaru com maior razão de compactação e diferentes proporções de resina mudando a razão para 1,5 por 1.
- ✓ Caracterizar as amostras através de técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura, para verificar a interação física entre matriz e resina.
- ✓ Ampliar os estudos para produção de painéis de Cumarurana, utilizando maiores quantidade de resíduos.
- ✓ Caracterizar as amostras em relação ao pH, pois este pode ter influência em relação ao processo de cura da resina.

REFERÊNCIAS

AKYUZ, K. C.; NEMLI, G.; BAHAROGLU, M.; ZEKOVIÇ, E. Effects of acidity of the particles and amount of hardener on the physical and mechanical properties of particleboard composite bonded with urea formaldehyde. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. v. 30. 166-169p. Turkey. 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. Artigo Técnico n° 7 – Adesivos. Fórum Nacional das Atividades de Base Florestal. Agosto de 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. 2012. Disponível em: <www.abipa.org.br/numeros.php>. Acesso em: 05 de jul. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. Nossos produtos. 2010. Disponível em: < <http://www.abipa.org.br/produtosMDF.php> >. Acesso em: 09 de fev. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14810-2 - Chapas de madeira aglomerada Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2006b. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14810-3 – Chapas de madeira aglomerada Parte 3: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006c. 51p.

AZAMBUJA, M. A.; NASCIMENTO, M. F.; LAHR, F. A. R.; SILVA, S. A. M. Análise da viabilidade de utilização de resíduos de maçaranduba na produção de painéis de madeira aglomerada. Anais do 10º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM 2006, São Pedro – SP.

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. 129p. Mestrado (Mestre Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo – São Carlos.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. (2010). Panorama de mercado: painéis de madeira. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, p. 49-90.

BRITEZ, C. A.; NOGUEIRA, V. Inter-relação entre as propriedades e a microestrutura da madeira. Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

BRITO, E. O. Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* plantado no Sul de Brasil. 1995. 123p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba citado por DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotti* Engelm. Ciência Florestal, Vol. 15, No. 4, 2005, pp. 421-429.

BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSITH, C. C. Textbook of wood technology. New York: McGraw-Hill, 1952, 2 v. 783 p. citado por HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia Negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído. 2000. 112p. Mestrado (Tecnologia de Produtos Florestais – Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. 5. Ed. LTC. São Paulo, 2002.

CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U.; CARVALHO, A.M. L.; VIDAURRE, G. B. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formaldeído. Rev. Árvore, vol. 33, n° 3. Viçosa. Jun. 2009.

CHAHUD, E. FUMEC/FEA. (Org.). Reciclagem de Resíduos para a Construção Civil. Belo Horizonte: Fundação Mineira de Educação e Cultura - FUMEC, 2007.

CHANG, T.; CHANG, H.; WU, C.; CHANG, S. Influences of extractives on the photodegradation. Polymer Degradation and Stability. n. 95, 516-521p. Taiwan, 2010.

CHIERICE, G. O.; POLITO, W. L. Processos de síntese de pré-polímero e poliól necessários a preparação de formulações poliuretânicas adequadas ao bloqueio de pressurização de cabos telefônicos. BR n. PI 8504881, 01 out. 1985. citado por PEREIRA, P.H.L. Estudo as propriedades físico-químicas da poliuretana derivada do óleo de mamona com potencial aplicação na área médica. 2010. 75p. Mestrado (Mestrado em Ciências – Química Analítica)-Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP.

CHOW, P.; REDMOND, M. R. Humidity and temperature effects on MOR and MOE of hard maple-veneered medium density fiberboard. Forest Products Journal, v.31, n.6, p.54-58, Jun. 1981. citado por ELEOTÉRIO, J. R. Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina. 2000. 122p. Mestrado (Ciência e Tecnologia de Madeiras – Agricultura) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo – Piracicaba.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1. Anais. Belo Horizonte, SIF, 1998, p. 173-185. citado por HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia Negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído. 2000. 112p. Mestrado (Tecnologia de Produtos Florestais – Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

COSTA, A. Anatomia da Madeira. Coletâneas de Anatomia da Madeira. 2001.

D'ALMEIDA, M. L. O. Capítulo III: Composição Química dos Materiais Lignocelulósicos. In: Celulose e Papel: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2ª. Edição. SENAI & IPT, 1988.

DIAS, F. M. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada. 2005. 178p. Doutorado (Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais) - EESC-USP São Carlos.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. Espécies Arbóreas da Amazônia. Cumaru – *Dipteryx odorata*, nº 7, 2004. Fascículo.

FEITOSA, B. C. Aproveitamento dos resíduos de madeira como alternativa para minimização de problemas sócio-ambientais no estado do Pará. Publicado em 2007 no site <<http://www.webartigos.com>>.

FENGEL, D.; WEGENER, G. (1984): Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions. Berlin: Walter de Gruyter. New York, USA, 613pp. citado por SILVA, M. E. C. M. Apontamentos de Tecnologia dos Produtos Florestais – Composição química da madeira. UTAD, 2010.

FENGEL D, WEGENER G, (1984). Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions. Berlin: Walter de Gruyter. New York, USA, pp 132-191 citado por SILVEIRA, M. A. L.; MILAGRES, A. M. F. Obtenção e caracterização de lignina de madeiras. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009. Uberlândia- MG.

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood Chemistry, Ultra Structure, Reactions. Berlin, Walter de Gruyter Publisher, 1984 citado por FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157 – 174, out/dez. 2009.

FERNANDES, D. M. Estudo da estabilidade térmica de blendas de poli (álcool vinílico)/ lignina modificada. 2005. 152p. Mestrado (Ciências Exatas – Química) – Universidade Estadual de Maringá, PR.

FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRERO, N. G.; SAVASTANO, H. Jr.; PALLONE, E. M. J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and Castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. Industrial Crops and Products. 2012.

GAI, E. M. Julie *et al.* Composição Inorgânica de Leite de Amapá (*Brosimum Parinarioides*, *Brosimum potabile* e *Brosimum utile ovatifolium*). Sociedade Brasileira de Química (SBQ). 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, maio 2009.

GOMES, J. I.; SAMPAIO, S. S. Aproveitamento de Resíduos de Madeira em Três Empresas Madeireiras do Estado do Pará. ISSN 1517-2244. Belém – PA. Dez. 2004.

GONZAGA, A. L. Madeira: Uso e Conservação. Brasília-DF: Programa Monumenta, 2006. 247p. (Cadernos Técnicos, 6).

HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia Negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído. 2000. 112p. Mestrado (Tecnologia de Produtos Florestais – Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e Acácia-negra. Revista Ciência Florestal, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002 citado por GONÇALVES, F. G.; LELIS, R. C.C.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da composição da resina tanino-uréia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. Rev. Árvore vol.32 n. 4 Viçosa July/Aug. 2008.

HILLIS, W. E. (1987): Heartwood and tree exudates. Springer Series in Wood Science, Ed: Timell, T. E., Springer-Verlag, 362pp. citado por SILVA, M. E. C. M. Apontamentos de Tecnologia dos Produtos Florestais – Composição química da madeira. UTAD, 2010.

HUBER, T.; PANG, S.; ATAIGER, R. P. All cellulose composite laminates. Composites: Part A – applied science and manufacturing, 2012.

INPA. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Tecnologia em Resíduos de Madeira. 2010. Disponível em: <[http:// www.inpa.gov.br](http://www.inpa.gov.br)>.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS (IPT). Madeira: Uso Sustentável na construção civil. Publicação IPT 2980. Instituto de Pesquisas Tecnológicas; SVMA; Sinduscon – SP, 2003.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Resíduos de Serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. Revista Scientia Agrária, Editora da UFPR, v.1, n. 1-2, p. 23-28. 2000.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. FUPEF. 247p. Curitiba, 2005.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J. A.; RAMIREZ, M. G. L.; SOUZA, M. M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados”. Acta Amazônica. VOL. 40(2) 2010, p. 303 – 308.

IWAKIRI, S.; VIANEZ, B. F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serraria de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. Acta Amazônica. Vol. 42(1) 2012: p. 59 – 64.

JANKOWSKY, I. P. Colagem de Madeiras. Piracicaba: ESALQ, 1988. 45p. citado por TRIANOSKI, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido

crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada 2010. 260p. Mestrado (Mestrado em Ciências Agrárias - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

JOHNSON, H. La Madera. Barcelona: Blume, 1994 citado por GONZAGA, A. L. Madeira: Uso e Conservação. Brasília-DF: Programa Monumenta, 2006. 247p. (Cadernos Técnicos, 6).

KAWAI, S. & SASSAKI, H. Low density particleboard. Recent Research on Wood and Wood-based Materials. Current Japanese Materials Research. v.11, p.33-41. London. 1993. citado por BIANCHE, J. J. Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Vassoura (*Sida* spp.). 2009. 93p. Mestrado (Mestre em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

KELLY, M.W. 1. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA For. Ser. Gen. Tech. Rep. FPL, Madison, USA, 1977, 66p. citado por PIERRE, F. C. Caracterização físico-mecânica de painéis Aglomerados de *eucalyptus grandis* com adição de resíduos Industriais madeireiros. 2010. 134p. Mestrado (Ciências Agrônômicas – Ciência Florestal)- Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, SP.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. Química da Madeira. 3ª Edição revisada. Curitiba: Universidade Federal do Paraná – Setor de Ciências Agrárias – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2005. 86p.

KLOCK, U. Qualidade da madeira juvenil *Pinus maximinoi* H. E. Moore. 2000. 275p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Univeridades Federal do Paraná, Curitiba citado por SILVA, J. C.; MATOS, J. L. M.; OLIVEIRA, J. T. S.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade e da posição radial na flexão estática da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. Rev. Árvore vol.29 n.5 Viçosa. Set./Out. 2005.

LAVOINE, N.; DESLOGES, I.; DUFRESNE, A.; BRAS, J. Microfibrillated cellulose-its barrierproperties and applications in cellulosic materials: A review, Carbohydrate Polymers, 2012.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

LIMA, N. N. Painéis Laminados e Particulados à Base de Madeiras Tropicais da Amazônia. 2011. 207p. Doutorado (Doutorado em Processamento e Utilização da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

LOPES, E. M.L. Desempenho térmico da espuma poliuretana à base de óleo da mamona utilizada em componentes da edificação (subcoberturas) estudo em Ilha Solteira- SP. 2009.223p. Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

MACEDO, A.R.P.; ROQUE, C.A.L. Painéis de Madeira. 2002. Disponível em: http://www.bndespar.com.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/painel.pdf. Acessado em: 06 fev. 2011.

MADY, F. T. M. Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais. Manaus: SEBRAE/AM/Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 2000. 212 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. Fichas de características das madeiras brasileiras. 2º. Ed. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Divisão de Madeiras. São Paulo, 1989.

MALONEY, T. M. Modern particleboard & Dry-process fiberboard manufacturing. 3. Ed. San Francisco: Miller Freeman, 1989. 672p. citado por HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia Negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído. 2000. 112p. Mestrado (Tecnologia de Produtos Florestais – Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

MALONEY, T. M. Modern particleboard e Dry-process fiberboard manufacturing. 2 ed. São Francisco: Miller Freeman, 1993. 689p. citado por IWAKIRI, S.; VIANEZ, B. F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serraria de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. Acta Amazônica. Vol. 42(1) 2012: p. 59 – 64.

MARABEZI, K. Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de Lignina e Holocelulose em amostras de Bagaço e Palha de Cana-de-Açúcar. 2009. 158p. Mestrado (Mestrado Ciências Físico-química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MARRA, A. A. Technology of Wood bonding: principles and practice. New York, Van Nostrand Reinhold 1992, 453 p. citado por TRIANOSKY, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada 2010. 260p. Mestrado (Mestrado em Ciências Agrárias - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MARRA, A.A. Technology of Wood Bonding: Principles in Practice. New York. Van Nostrand Reinhold, p. 453-454, 1992. citado por MISKALO, E. P. Avaliação do potencial de utilização de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) na produção de painéis de partículas orientadas. 2009. 130p. Mestrado (Mestrado Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MATOS, J. L. M. Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988. citado por TRIANOSKY, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada 2010. 260p. Mestrado (Mestrado em Ciências Agrárias - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENDES, L. M. *Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). 2001.181p. Doutorado (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. citado por TRIANOSKY, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada 2010. 260p. Mestrado (Mestrado em Ciências Agrárias - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MITLIN, L. Basic raw material for particleboard manufacture. Particle manufacture and application. Kent: Pressmedia Sevenoaks, 1968. p.9-25. citado por HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de *Pinus*, Eucalipto e Acácia Negra, puras ou misturadas, coladas com tanino formaldeído. 2000. 112p. Mestrado (Tecnologia de Produtos Florestais – Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Chemical analysis of *Pinus oocarpa* wood part I: quantification of macromolecular components and volatile extractives. *Revista Árvore*, 2005, vol.29, n. 3. citado por SANTOS, I. D. Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. 2008. 57p. Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal – Universidade de Brasília – DF.

MOSLEMI, A.A. Particleboard: materials. London: Southern University Press, 1974. v.1, 244 p.

MULLER, R. L.; MÄHLMANN, C. M.; RODRÍGUEZ, A. L.; BACCAR, N. M.; MARQUARDT, L.; ROHLFES, A. L. B. Compósito polimérico de fibras de cana-de-açúcar e matriz a base de resina uréia-formaldeído. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS–CBECimat. 18°, 2008, Porto de Galinhas – PE. Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, 2008.

NASCIMENTO, C. C.; GARCIA, J. N.; DIÁZ, M. P. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. In: *Madera y Bosques*. Xalapa – México, 1997. Año/vol. 3, número 001. p. 33-52.

NETO, B. N.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e Otimização de Experimentos. 2. Ed. Campinas - SP: Edt. UNICAMP, 1995.

NKANA, J. C. V.; DEMEYER, A.; VERLOO, M. G. Chemical effects of wood ash on plant growth in tropical acid soils. *BioresourceTechnology*, Essex, v. 63, n. 3, p. 251-260, 1998.

PALHETA, R. A.; TEIXEIRA, L. S.; TEIXEIRA, M. F. S. Atividade de protease, qualidade microbiológica e atividade antioxidante do látex de *Brosimum parinarioides*. In: REUNIÃO ANUAL SBPC, 61, 2009, Manaus. Amazônia: Ciência e Cultura, 2009. 40p.

PINTO, M. A.; MORELLATO, L. P. C.; BARBOSA, P. A. Fenologia Reprodutiva de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd (Fabaceae) em duas áreas de floresta na Amazônia Central. *Acta Amazônica*, vol.38 - n.4. Manaus – AM, dez. 2008.

PRASITTISOPIN, L.; LI, K. A new method of making particleboard with a formaldehyde-free soy-based adhesive. *Composites: Part A* 41 (2010) 1447-1453. Materials Science Program – Department of wood Science and Engineering, Oregon State University – United States.

QUADROS, D. S.; NUNOMURA, S. M.; NUNOMURA, R. C. S. Atividade antioxidante da espécie *Brosimum parinarioides*. 25a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), 1998. Instituto de Pesquisas da Amazônia – Coordenação de Pesquisas em Produtos Naturais. Disponível em: < <http://sec.s bq.org.br/cdrom/31ra/resumos/T1101-1.pdf>.>

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. *Renabio – Biomassa & Energia*, Brasília, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

REVISTA DA MADEIRA. Adesivos - Adesivo à base de mamona para compensado. Maio de 2003. Edição n°. 72.

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. Madeiras Comerciais – *Brosimum* spp. (Amapá), 2009.

ROCHA, M. G. B.; BRUNE, A.; LUCIA, R. M. D.; OLIVEIRA, L. M. Variação da densidade básica e correlações entre caracteres progênes jovens de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em duas etapas de crescimento. *Revista Árvore*, Itamarandiba – MG, V. 7, n. 2, p. 154 a 164, jul. a dez, 1983.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J.S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell Wall Chemistry. Capítulo 03 do livro *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Editado por Roger M. Rowell. Editora Taylor & Francis Group. New York, 2005 citado por SANTOS, I. D. Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado. 2008. 57p. Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal – Universidade de Brasília – DF.

SILVA, S. A. M. Chapa de média densidade (MDF) fabricada com Poliuretana mono-componente derivada de óleo de mamona – caracterização por método destrutivo e por ultrassom. 2003. Doutorado (Doutor em Engenharia Agrícola - Construções Rurais). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP.

SILVA, A. L. M.; LOGSDON, N. B.; ABREU, J. G. Análise da Viabilidade de resíduo de jequitibá-vermelho (*Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze.), na produção painéis homogêneos de madeira aglomerada. In: EBRAMEM – XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA. 2008, Londrina. 15p.

SILVA, G. A. C.; VAREJÃO, M. J. C.; NASCIMENTO, C. C. Estudos tecnológicos de alternativas de uso de resíduos madeireiros. 61ª Reunião Anual da SBPC, 2009.

SILVA, M. E. C. M. Apontamentos de Tecnologia dos Produtos Florestais – Composição química da madeira. UTAD, 2010.

SILVA, D. A. L. Avaliação do Ciclo de Vida da Produção do Painel de Madeira MDP no Brasil. 2012. 207p. Mestrado (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais – Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

SILVEIRA, M. A. L.; MILAGRES, A. M. F. Obtenção e caracterização de lignina de madeiras. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009. Uberlândia- MG.

SOUZA, S. S.; SANATOS, P. O.; VAREJÃO, M. J. C.; NASCIMENTO, C. C. Detecção do teor de cinzas e sílica e materiais lignocelulósicos. In: 61^a REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 2009, Manaus –AM. Amazônia, Ciência e Cultura, 2009. 1p.

TAPPI. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 om-02, 2002. 5p.

TAPPI. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525° C. T 211 om-02, 2002. 5p.

TAPPI. Solvent Extractives of wood and pulp. T 204 cm-97, 1997. 4p.

TORQUATO, L. P. Produção de painéis pode chegar a 12 milhões de m³ em dez anos. Revista da Madeira, Paraná, edição n°124 – Jul. 2010.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. Comparação de métodos de determinação de densidade básica em madeira. ACTA AMAZÔNICA, Manaus, 12 jan.1990. v. 20 n. único, p.307-319, jan. 1990.

TSOUMIS, G. Science and technology of wood: structure, properties and utilization. Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 1991. 494pp.

VITAL B. R. Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard. 1973. 11f. These (Master of Science – Forestry) – University of Wisconsin, Madison.

VITAL, B.R., LEHMANN; 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.

WEBER, C. Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. 2011. 90p. Mestrado (Mestrado em Ciências Agrárias – Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

WIKBERG, H.; MAUNU, S. L. Characterization of Thermally Modified Hard-and Softwoods by ¹³C CPMAS NMR. Carbohydrate Polymers, v.58, p. 461-466, 2004 citado por FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157 – 174, out/dez. 2009.