

4. Materiais e métodos

4.1. Materiais

4.1.1. Resina Imperveg UG 132-A

A resina escolhida para este trabalho é um P.U. de base vegetal (originado do óleo de mamona), recurso natural e renovável. Esta resina é bi-componente, formulada pela mistura a frio de um pré-polímero (A) e um poliol (B), e polimeriza-se por catalisação, formando uma membrana monolítica altamente impermeável e totalmente insolúvel em água. Em certas condições apresenta taxas elevadas de biodegradabilidade em menos de 6 meses.

De acordo com o fabricante a referida resina apresenta as seguintes características e propriedades físico mecânicas (ficha técnica):

- Densidade: 1,05 g/cm³;
- Consistência: fluida;
- Liberação de elementos tóxicos na atmosfera: Isento;
- Tempo de aplicação após a mistura: 10 a 20 minutos;
- Secagem ao toque: De 50 a 180 minutos, dependendo da temperatura ambiente;
- Resistência ao calor: apresenta perda de massa somente após 210°C;
- Tensão de ruptura à tração: 1,4 Mpa até 2,5 Mpa;
- Deformação admissível: 15% até 25%;
- Alongamento de ruptura: 8% até 50%;
- Módulo de deformação: 1,8 Mpa até 2,2 Mpa;
- Dureza (Shore D): 55 a 70.

Como sistema impermeabilizante a resina Imperveg UG132-A atende todas as recomendações prescritas na NBR 9575/2003 – “Impermeabilização – Seleção

e Projeto”, sendo considerado como sistema moldado “in loco”, aderente ao substrato, podendo ser aplicado em diversas superfícies como concreto, argamassa, alvenaria, madeira e aço carbono.

A resina apresenta excelente resistência à ação do intemperismo, resistindo à água contendo substâncias agressivas, como sais, ácidos e álcalis, agindo em conformidade com a Norma ASTM C-267 “Chemical Resistance of Mortars Grouts and Monolithic Surfacing”, cujo objetivo é avaliar o desempenho dos concretos e argamassas quando estes são submetidos à ação de agentes quimicamente agressivos.

Por ser um material sólido (isento de solventes) pode ser aplicado em ambientes confinados, pois não libera vapores tóxicos. Atende à NBR 12.170 – Portaria 56, que define sistemas impermeabilizantes em contato com água potável, quanto a sua utilização em sistemas de tratamentos de água e reserva de água potável, atendendo plenamente aos padrões de potabilidade.

Atualmente a resina Imperveg é utilizada em diversos ramos da indústria da construção civil, tais como:

- Impermeabilização de reservatórios de água potável;
- Impermeabilização de Estação de Tratamento de água (ETA);
- Impermeabilização de Estação de Tratamento de Esgoto e Efluentes (ETE);
- Impermeabilização de bacias de contenção de produtos químicos;
- Impermeabilização de canaletas de efluentes e águas residuárias industriais;
- Impermeabilização de lajes expostas, ou, para posterior revestimento cerâmico;
- Impermeabilização de áreas molhadas em edifícios, fosso de elevador, muro de arrimo, tratamento de umidade ascendente, dentre outros;
- Revestimentos de substratos sujeitos a ataque de agentes químicos agressivos;

- Revestimentos de pisos industriais sujeitos a tráfego;
- Revestimento de tanques de aço carbono;
- Revestimento de madeiras em geral;
- Aglomerante para compósito de fibras vegetais e inservíveis.

4.1.2. Fibras de Pupunha (*Bactris Gasipaes*)

Manejo e beneficiamento do Palmito – produção do resíduo

As fibras utilizadas neste trabalho são oriundas da fazenda Reserva Botânica das Águas Claras, situada no distrito de Gaviões, no município de Silva Jardim, no Estado do Rio de Janeiro. A plantação de Pupunha se destina à produção de palmito *In natura* e faz parte de um manejo agro ecológico e orgânico.

Ao contrário de outras palmeiras produtoras de palmito comestível, que levam cerca de 8 a 10 anos para alcançarem seu estágio maduro e produzem apenas uma peça de palmito por estipe adulta, a palmeira de pupunha perfilha. Ou seja, ao redor de uma única matriz, cultivada para a produção de frutos e sementes, brotam diversos perfilhos que compõem a touceira (Figura 1) e em aproximadamente quatro anos estão prontos para serem extraídos. Essa espécie de manejo é classificada como manejo de baixo corte, onde as palmeiras, ainda em estágio de crescimento e sem a camada externa densificada são cortadas, dando espaço para novos perfilhos.



Figura 1 – touceiras manejadas

A colheita do palmito deve ser realizada preferencialmente em épocas chuvosas para se obter maior produtividade. Após a 1ª colheita, o cortador deve observar quais plantas apresentam potencial para serem cortadas e programar o tempo necessário até o seu amadurecimento. Como se trata de uma espécie de crescimento acelerado, em geral, o intervalo de corte em uma mesma área não ultrapassa 40 dias. Na mesma planta, o intervalo de colheita é de 6 a 8 meses, sendo possível colher mais de um palmito em uma mesma touceira por ano, a depender do manejo adotado.

Para a colheita do palmito, a depender do manejo praticado, por volta do 15º mês de plantio, a base da folha flecha das palmeiras (Figura 2) deve estar entre 1,70 e 2 metros do solo e com diâmetro à altura do peito em torno de 10 cm.



Figura 2 – critério para seleção de perfilhos para o abate

O primeiro corte para a extração do palmito é realizado na base do perfilho, separando-o da touceira. O segundo corte tem como objetivo separar do perfilho abatido a seção, de aproximadamente 80 cm, do topo de onde é retirado o palmito comestível. Nesta etapa a base da estipe, com aproximadamente 1 m de comprimento, é descartada por conter material muito fibroso e duro, impróprio para o consumo.

O terceiro corte já é o início do pré-beneficiamento do palmito e consta da remoção da copa (retirada da folhagem). É realizado dentro da área cultivada, facilitando a deposição das folhas entre as linhas de cultivo e garantindo a reposição de nutrientes ao solo. Em seguida são feitas as primeiras descascas, removendo uma ou duas camadas de bainhas e, novamente, este material orgânico é devolvido para o solo. A haste extraída e pré-beneficiada (Figura 3) é então levada para um local apropriado para que seu beneficiamento seja concluído. Na indústria de beneficiamento as hastes são repetidamente “descascadas”, até se chegar ao palmito comestível pronto para ser devidamente embalado (Figura 4).



Figura 3- hastes pré-beneficiadas



Figura 4- palmito beneficiado pronto para ser embalado

Como se pode observar nas Figuras 5 e 6 um grande volume de material ligno-celulósico é descartado ao longo do processo de beneficiamento das hastes de palmito. Somente parte dele pode ser devolvido ao solo, evitando a saturação e o aumento da acidez do mesmo. Sendo assim, grande parte do descarte do

beneficiamento feito dentro da fábrica não tem uso e é a partir deste refugo que foram extraídas as primeiras fibras utilizadas neste trabalho.



Figura 5 - camadas externas – descarte do pré beneficiamento de um tolete



Figura 6- camadas internas – descarte do beneficiamento de um tolete

Ao longo do desenvolvimento das placas estruturais, outra iniciativa, uma pequena unidade de produção de papéis artesanais, entrou em fase de implementação na fazenda. Um processo bastante conhecido e disseminado para outras fibras foi aplicado com sucesso às fibras descartadas no processo de beneficiamento do palmito de pupunha, resultando em papéis artesanais de excelente qualidade. Esta iniciativa trouxe de imediato diversos benefícios para a fazenda e para aqueles que dela tiram seu sustento.

No entanto, a produção de papéis passou a utilizar boa parte do descarte do beneficiamento dos toletes e portanto foi necessário dar atenção a um resíduo que até o momento ainda não havia sido cogitado como aproveitável para a produção das placas.

A base da estipe, material oriundo dos primeiros cortes do perfilho, com aproximadamente 1 metro de comprimento, era deixada na lavoura e, por ser composta de material mais duro e fibroso, demorava muito tempo para se decompor, o que prejudicava a circulação dos funcionários pela lavoura. Para a melhor compreensão do material extraído da plantação e das partes aproveitáveis para os diversos fins fez-se necessária a criação de uma sequência de imagens representando o imagem do perfilho dissecado (Figura 7).

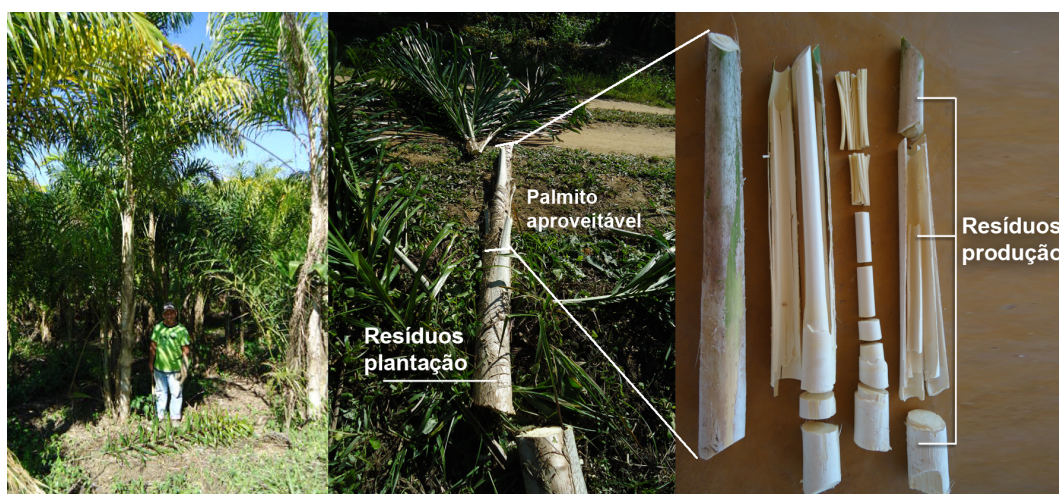


Figura 7 – Palmeira jovem de Pupunha, partes aproveitáveis e resíduos

4.2.Métodos

4.2.1. Beneficiamento dos resíduos/ fibras

Visando simplificar o beneficiamento das fibras e baratear a implementação do processo produtivo das placas estruturais, que se apresentam como excelente alternativa para o aproveitamento dos resíduos da fazenda, não foi realizada uma separação dos resíduos oriundos do beneficiamento do palmito, e fez-se uso de maquinário disponível na fazenda.

Todo o material residual do beneficiamento do palmito para sua comercialização foi submetido a um triturador de ração da marca Nogueira, modelo DPM Junior de 2,5 cv, de 3.500 rpm (Figura 8) e a uma máquina para a moenda de cana-de-açúcar (Figura 9). Essas máquinas são simples e de baixo ou nenhum consumo energético, respectivamente.



Figura 8 – triturador elétrico



Figura 9 – moenda de cana manual

O triturador apresenta produtividade e regularidade das fibras resultantes muito maiores do que a moenda. O material oriundo do triturador consiste de fibras, de aproximadamente 5 cm de comprimento, ainda dotadas de muita seiva e impurezas (Figura 10). Ao passo que a moenda (Figura 11) permite a retirada

mais eficiente da seiva e resulta em feixes de fibra com o comprimento da haste que originou as fibras (aproximadamente 70 cm).

O material oriundo das máquinas supracitadas é lavado em água corrente. Posteriormente, as fibras são cozidas em tonéis de aço inox aquecidos com lenha proveniente das podas da fazenda. Durante o cozimento são adicionados soda de coada, produto de natureza básica oriundo da lavagem das cinzas do próprio cozimento e extrato pirolenhoso, líquido originado da carbonização de madeiras em olarias da região, material de natureza ácida. Este tratamento promove a remoção de impurezas, amolecimento das fibras, redução do tempo necessário para o cozimento e tem como principal objetivo retirar impurezas e reduzir a incidência de fungos nas fibras beneficiadas. Posteriormente este material é colocado ao sol para secar.



Figura 10 – Fibras beneficiadas no triturador elétrico



Figura 11 – Fibras beneficiadas na moenda de cana-de-açúcar

O grande volume de fibras necessário para a produção das placas, demonstrou durante a produção das mesmas, que o processo de tratamento e cozimento das fibras tomava muito tempo, o que contribuía para uma baixíssima produtividade.

Sendo assim, ao ser utilizada a base do perfilho, que contém muito menos amido que as outras seções da estipe, foram testadas também fibras sem nenhum tipo de tratamento, acreditando que o aglomerante poliuretano, com propriedades impermeabilizantes, exerceria a função de proteção das fibras contra ataques de microorganismos.

A base do perfilho retirada da lavoura foi colocada no triturador elétrico e posteriormente posta para secar ao sol.

Para as análises microestruturais foram utilizadas fibras oriundas de ambas as máquinas, com tratamento ou simplesmente lavadas e postas para secar ao sol.

4.2.2.Caracterização das fibras

4.2.2.1.Corpos de prova para análises em microscopia

A microestrutura das fibras foi analisada por microscopia ótica digital e por microscopia eletrônica de varredura. Foram analisadas fibras do triturador elétrico, com e sem tratamento, para avaliar se os tratamentos e processo mecânico empregados resultavam em alguma melhoria nas condições das fibras, como remoção das impurezas e resíduos que poderiam prejudicar a adesão das mesmas à matriz ou se eram prejudiciais ao desempenho das mesmas. Tendo em vista que alguns dos processos aos quais as fibras foram submetidas poderiam ocasionar algum tipo de dano à sua estrutura.

As fibras analisadas no MEV foram cortadas com aproximadamente 20 mm de comprimento e foram, posteriormente, recobertas com uma fina camada de ouro para tornar as amostras orgânicas e de origem vegetal, condutoras e passíveis de serem analisadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV). As imagens foram realizadas na Puc-Rio, em um microscópio Zeiss modelo DSM 960 sob supervisão do Dr. Marcos Henrique com voltagem de aceleração do feixe de elétrons de 10 kV e aumento entre 100 e 2000 vezes. Na análise superficial foi utilizado o detector de elétrons secundários.

Para as análises de microscopia ótica digital foi utilizado o microscópio Zeiss Axioplan 2ie, utilizando uma câmera digital AxioCam HR. A aquisição das imagens e o controle do microscópio foram feitos usando o Software Axiovision 4.7.

Para a obtenção das referidas imagens foram produzidas amostras de fibras embutidas em resina epóxi.

Como o principal objetivo das análises no microscópio ótico digital era estabelecer um método de análise semi automatizado que permitisse determinar, estatisticamente, a seção transversal das fibras de Pupunha, era primordial que as

fibras estivessem alinhadas entre si e perpendicularmente orientadas à superfície de análise.

Para tanto, as fibras foram inicialmente agrupadas em feixes e posteriormente cortadas com 20 mm de comprimento (Figura 12). Os feixes, já cortados, foram posicionados perpendiculares à tampa inferior dos moldes de embutimento.



Figura 12 – feixes de fibra a serem embutidos em resina Epóxi

Posteriormente os moldes foram preenchidos com resina epóxi. Uma tampa com um orifício central foi posicionada no topo do molde.

A tampa foi utilizada para evitar a flutuação do feixe e o consequente desalinhamento das fibras em relação à superfície de análise. O orifício central, por sua vez, teve a função de garantir o alinhamento das fibras e permitir a saída de ar do molde, minimizando assim, a ocorrência de bolhas durante a cura, já que estas são extremamente prejudiciais à segmentação das imagens durante o processamento das mesmas.

As amostras foram deixadas à temperatura ambiente por 48 horas para garantir a cura completa da resina. Posteriormente estas amostras foram cortadas em discos de 25 mm de diâmetro com 25 mm de altura (Figura 13). Estes discos passaram por processos de lixamento e polimento com pasta de diamante de 1 μm em politriz automática.

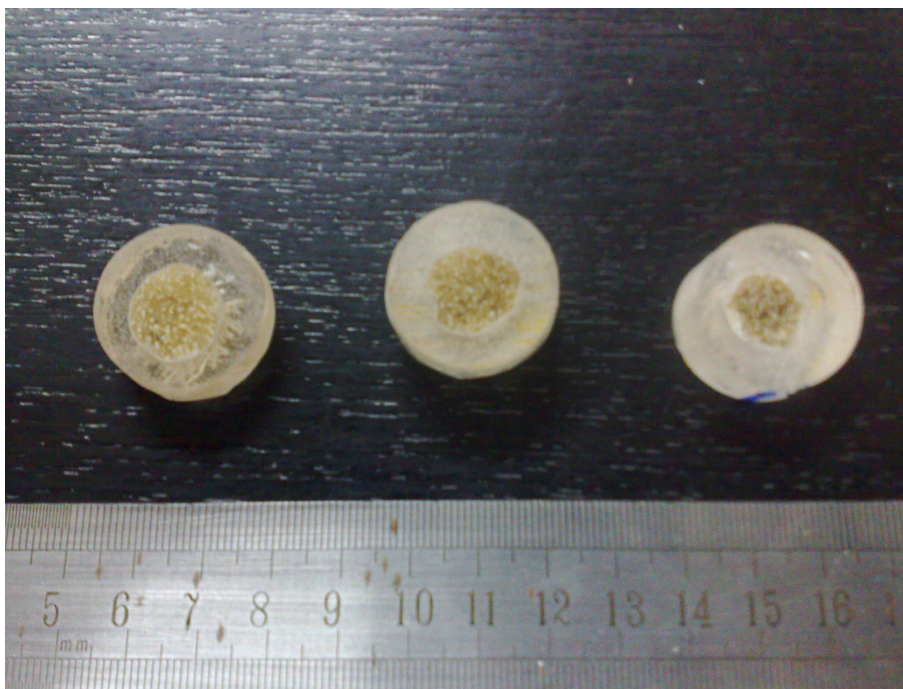


Figura 13 – fibras embutidas em resina epóxi

4.2.2.2. Corpos de prova para ensaio de tração em fibras

Para a confecção dos corpos de prova, 40 fibras oriundas de cada uma das máquinas de beneficiamento (moenda de cana e picadeira de ração), foram preparadas e posicionadas em um suporte de papel retangular medindo 50 x 25 mm com uma janela circular no centro com um diâmetro de 12,5 mm (Figura 14).

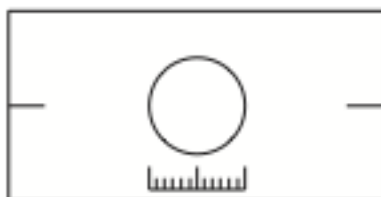


Figura 14– suporte para ensaio de tração em fibras

As extremidades foram coladas usando adesivo epóxi de secagem rápida visando garantir o posicionamento e alinhamento das fibras da direção na qual seria aplicada a tração. Os corpos de prova foram mantidos em estufa a 25°C e 90% de umidade relativa do ar por 4 semanas. Tendo em vista que na fazenda não há estufa para garantir a umidade ideal, as fibras foram testadas sob condições extremas de umidade afim de analisar o pior cenário possível.

As fibras foram ensaiadas de acordo com a norma americana ASTM – D3822 – 07, que aborda os métodos de ensaio para a caracterização das propriedades de tensão de fibras. Para este caso, foi utilizada a máquina de ensaios universal Instron mod.5569, com pinças pneumáticas e célula de carga de 10kg visando garantir uma melhor fixação dos corpos de prova e uma aferição de dados mais precisa (figura 15). A velocidade de deslocamento foi estabelecida em 1,25 mm/min. Os ensaios de tração em fibras foram realizados no Laptec - IMA – UFRJ (Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano) sob supervisão do Dr. Victor Pita.



Figura 15 – corpo de prova posicionado na máquina de ensaios universal

Tendo em mãos os dados referentes à área da seção transversal das fibras obtidos a partir do micrômetro, feixes contendo 10 fibras com comprimento de 10 cm cada, totalizando 1 metro, foram pesados fazendo uso de uma balança com precisão de 0,01g e assim foi estimada uma densidade média das fibras.

4.2.3. Caracterização das placas

4.2.3.1. Corpos de prova para caracterização mecânica

Todas as fibras utilizadas na confecção das placas foram processadas no triturador elétrico devido à sua maior produtividade, comprimento reduzido e regular, o que facilita a distribuição das fibras na forma durante a formação do colchão.

A forma confeccionada em compensado naval foi revestida com uma chapa de 1 mm de polipropileno, material que não adere ao poliuretano e atua como desmoldante. O processo de prensagem e mistura da resina com as fibras foi feito manualmente. O colchão, medindo 510 x 510 mm e a proximadamente 50 mm de espessura, foi montado por duas pessoas (Figura 16). As placas foram feitas numa prensa confeccionada a partir de chapas metálicas que servem de apoio para um macaco hidráulico de 15 toneladas. O macaco é então fixado a uma chapa de aço proporcionando uma área de prensagem de 600 x 800 mm (Figura 17), por aproximadamente 5 horas à temperatura ambiente.



Figura 16- montagem do colchão de fibras embebidas em resina

As prensagens experimentais foram feitas em duas levadas. Primeiramente, com a intenção de analisar algumas etapas do processo produtivo como a usabilidade, uniformidade e a resistência flexão das chapas, foram produzidas cerca de 30 painéis medindo 500 x 500 x 10 mm de espessura. Neste momento foram estudadas variações na composição com o propósito de analisar os impactos nas características e propriedades das placas resultantes. Como matriz polimérica, foram utilizadas a dextrina de milho (dex.), exclusivamente por uma questão de redução dos custos, e a resina poliuretana produzida a partir do óleo de mamona (P.U.). As proporções mássicas Fibra / matriz estudadas foram 50/50, 60/40 e 70/30. Além das variações na composição das placas, houve também variância na densidade das mesmas: 600 kg/m³ (Bd) e 800 kg/m³ (Md), valores determinados pela norma ANSI A208.1- 99 para chapas de partículas.



Figura 17 – prensa e forma utilizadas para a confecção das placas

Apesar do tratamento das fibras ter se mostrado muito demorado e passível de comprometer a produtividade e por consequência a viabilidade de produção das chapas, considerei importante comparar os resultados das placas produzidas com fibras não-tratadas com os resultados das placas produzidas a partir de fibras tratadas.

Como resultado da variação nas concentrações fibra/matriz, na densidade das placas e na natureza dos polímeros utilizados como matriz foram geradas 10 condições experimentais diferentes (Tabela 1).

Tabela 1 - Condições experimentais da primeira batelada de ensaios

		Prporção fibra/matriz			
		50/50	55/45	60/40	70/30
Baixa densidade ($<650\text{kg/m}^3$) Matriz:P.U.	Sem tratamento	VI		II	VIII
	Com tratamento	VII		IV	
Média densidade ($650<800\text{kg/m}^3$) Matriz:P.U.	Sem tratamento	V	III	I	XIX
	Com tratamento				
Média densidade ($650<800\text{kg/m}^3$) Matriz:Dextrina	Sem tratamento			X	

Uma placa de cada uma das condições foi utilizada para realização de ensaios mecânicos comparativos (figura 18).

A espessura das placas foi aferida nas quatro extremidades das chapas fazendo uso de um paquímetro.



Figura 18 - Chapas de fibras de Pupunha (10mm de espessura)

Fazendo uso de maquinário tradicional de marcenaria tal como serra circular, serra de fita e desempeno, as placas foram esquadrejadas e, de acordo com a norma ASTM 1037- 06A - *Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials*, foram retirados, para os ensaios de flexão estática de três pontos, cinco corpos de prova de cada uma das placas selecionadas, medindo cada um 71 x 254 mm (Figura 19).

De acordo com norma ASTM D1037, referente à chapa de partículas, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de flexão estática a fim de estabelecer parâmetros comparativos entre o desempenho mecânico das placas. Foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC, com capacidade de 30 KN (3 toneladas), gentilmente cedida pelo LEM – DEC - PUC-Rio (Laboratório de Estruturas e Materiais do Departamento de Engenharia Civil. O módulo de elasticidade também foi calculado a partir dos dados obtidos nos ensaios de flexão.



Figura 19 – Uso de maquinário tradicional de marcenaria

Em um segundo momento o objetivo era o de caracterizar as placas de acordo com normas nacionais específicas para produtos similares atualmente disponíveis no mercado.

Sendo assim, na segunda leva foram produzidas placas reproduzindo aquelas que apresentaram melhores resultados nos ensaios de flexão para as densidades distintas. Nesta leva foram produzidas placas com densidade nominal de 600 kg/m^3 , consideradas chapas *light*, na proporção de 70/30 e placas com densidade nominal de 800 kg/m^3 , chapas *standard*, na proporção 60/40. As nomenclaturas referentes às faixas distintas de densidade foram extraídas da norma ABNT 15316 – 1: 2009.

De cada uma das diferentes composições foram produzidas, em momentos diferentes pelos próprios funcionários da fazenda, 4 placas medindo $500 \times 500 \times 6 \text{ mm}$, visando aferir se de fato seria viável, por meio de processos semi artesanais e

de baixo custo produzir, com regularidade, um material com propriedades similares às dos concorrentes industrializados disponíveis no mercado nacional.

Apesar da aparência do painel ser similar à do OSB (*oriented strand board*), por apresentar partículas maiores na superfície, o processo produtivo e o painel resultante se assemelham ao MDF tendo em vista que as fibras são distribuídas de maneira aleatória.

Os corpos de prova foram produzidos de acordo a norma ABNT 15316 - 2:2009, que estabelece parâmetros de amostragem e métodos de ensaio para as chapas de fibras de média densidade (MDF) e foram analisados seguindo a norma ABNT 15316 - 3: 2009, que estabelece os requisitos para chapas de densidades diferentes produzidas para os mais diversos fins.

Para o ensaio de flexão estática foram retirados 5 corpos de prova de cada placa medindo 170 mm x 50 mm cada. A amostragem foi feita aleatoriamente conforme critério estabelecido por ABNT NBR 5429 E ABNT NBR 5430.

Para garantir uma comparação mais eficiente com a realidade foram ensaiados, sob as mesmas condições, 5 corpos de prova de MDF 6 mm produzidos pela MASISA, líder na América Latina na produção e comercialização de painéis de madeira para móveis e arquitetura de interiores

Os ensaios de flexão estática foram realizados no Laptec -IMA – UFRJ (Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano) sob supervisão do Dr. Victor Pita, fazendo uso da máquina de ensaios universal Instron mod.5569, com célula de carga de 10kg, e velocidade de deslocamento do pistão central igual a 15mm/min.

Os requisitos apresentados variam de acordo a densidade das placas e o uso a que se destinam. Desta forma as placas produzidas neste trabalho foram classificadas, segundo ABNT 15316 - 1:2009, como chapas *standard*, com densidade entre 650 e 800kg/m³ e chapas *light* com densidade entre 550kg/m³ e 650kg/m³. E os requisitos almejados são para os usos como chapa estrutural, de

uso geral, uso não estrutural ou chapa para revestimento de forros e paredes.

Vale ressaltar que, no que diz respeito a chapa objeto deste trabalho, os ensaios foram realizados a fim de atestar a funcionalidade e o cumprimento dos requisitos para as chapas de uso em condições secas, ou seja, ambientes internos.

4.2.3.2. Análise da regularidade dimensional, densidade e inchamento percentual

Para a aferição da densidade e regularidade na espessura, 10 corpos de prova foram retirados de cada uma das placas, medindo 50 x 50 mm cada, também de acordo com a norma ABNT 15316 - 2:2009.

A espessura foi aferida nas quatro extremidades do corpo de prova fazendo uso de um paquímetro digital. As amostras foram então pesadas em uma balança com 0,1g de precisão. Para análise do inchamento percentual, foram separadas 10 amostras de cada composição, que foram então posicionadas verticalmente em um recipiente que foi totalmente preenchido com água. As amostras ficaram imersas por um período de 24 horas.

Após este período, a água superficial das amostras foi retirada com auxílio de um papel absorvente e, posteriormente, foi aferida novamente a espessura nas quatro extremidades e o peso das amostras, visando obter valores de inchamento percentual e absorção de água.