

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

CYNTHIA ALGAYER DA SILVA

**INCORPORAÇÃO DE LODO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM PAINÉIS DE
MADEIRA AGLOMERADA**

MARINGÁ
PARANÁ - BRASIL
MAIO – 2015

CYNTHIA ALGAYER DA SILVA

**INCORPORAÇÃO DE LODO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM PAINÉIS DE
MADEIRA AGLOMERADA**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, área de Desenvolvimento de Processos (linha de pesquisa: Gestão, Controle e Preservação Ambiental), Universidade Estadual de Maringá.

Orientadora: Prof^a Rosângela Bergamasco, D.Sc.

Co-orientadora: Prof^a Luciana C. S. H. Rezende, D.Sc.

**MARINGÁ
PARANÁ - BRASIL
MAIO – 2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S586i Silva, Cynthia Algayer
Incorporação de lodo de tratamento de água em painéis de madeira aglomerada / Cynthia Algaver Silva. -- Maringá, 2015.
185 f. : il. color., figs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Rosângela Bergamasco.
Co-orientadora: Prof. Dra. Luciana Cristina Soto Herek Rezende.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2015.

1. Resíduos sólidos. 2. Lodo. 3. Tratamento de água - Processos. 4. Aglomerado. I. Bergamasco, Rosângela, orient. II. Rezende, Luciana Cristina Soto Herek, coorient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. IV. Título.

CDD 21.ed. 628.44

MGC-001826

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Tese de Doutorado apresentada por Cynthia Algayer da Silva perante a Comissão Julgadora do Curso de Doutorado em Engenharia Química em 18 de maio de 2015.

COMISSÃO JULGADORA


Profª Drª Rosângela Bergamasco
Orientadora / Presidente


Profª Drª Luciana Cristina Soto Herek Rezende
Coorientadora


Profª Drª Edilaine Regina Pereira
Membro


Prof. Dr. José Aparecido Canova
Membro


Profª Drª Mara Heloísa Neves Olsen Scaliante
Membro


Drª Leticia Nishi
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus**, por me dar forças para seguir em frente.

Aos meus **pais e família** que mesmo distantes sempre se fizeram presentes em todos os momentos.

À orientadora, **Prof.^a Dr.^a Rosangela Bergamasco**, por todo ensinamento, pela oportunidade de realizar este trabalho e credibilidade confiada. Por acreditar em mim e aceitar-me como orientando, incentivar-me, apoiar-me sempre que precisei.

À co-orientadora **Prof.^a Dr.^a Luciana Rezende**, pela disponibilidade, atenção dispensada, paciência, dedicação e profissionalismo no auxílio do desenvolvimento da tese.

Aos professores componentes da banca examinadora, por sua cordialidade e disponibilidade na avaliação deste trabalho.

O maior perigo que se coloca para o agradecimento seletivo não é decidir quem incluir, mas decidir quem não mencionar. Então, aos meus **amigos** que, de uma forma ou de outra, contribuíram com sua amizade e com sugestões efetivas para a realização deste trabalho, gostaria de expressar minha profunda gratidão.

À **SANEPAR – Maringá** e **SANEPAR – Apucarana**, pelo auxílio na realização desse trabalho, sem os quais não teria se desenvolvido da mesma forma.

À empresa **RG Esquadrias** e **Madeiraira Ibiporã**, pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os **professores** que ministraram as disciplinas e compartilharam os seus conhecimentos.

Ao **CNPQ** pela bolsa de estudos concedida no Doutorado.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução desse Exame de Qualificação.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| SUMÁRIO | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| ÍNDICE DE TABELAS | 11 |
| RESUMO | 12 |
| ABSTRACT | 14 |
| INTRODUÇÃO | 14 |
| OBJETIVOS | 16 |
| 2.1. <i>OBJETIVO GERAL</i> | 16 |
| 2.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> | 16 |
| FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 17 |
| 3.1. <i>LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)</i> | 17 |
| 3.1.1. <i>Tratamento da água bruta</i> | 17 |
| 3.1.1.1. <i>Coagulação</i> | 18 |
| 3.1.1.2. <i>Floculação</i> | 19 |
| 3.1.1.3. <i>Decantação</i> | 19 |
| 3.1.1.4. <i>Filtração</i> | 19 |
| 3.1.1.5. <i>Desinfecção</i> | 20 |
| 3.1.2. <i>Resíduo gerado durante o tratamento da água bruta (Lodo)</i> | 20 |
| 3.1.2.1. <i>Caracterização do lodo de ETA</i> | 21 |
| 3.1.2.2. <i>Destinação final do lodo de ETA</i> | 23 |
| 3.1.2.2.1. <i>Disposição em produtos cerâmicos</i> | 24 |
| 3.1.2.2.2. <i>Disposição em aterro sanitário</i> | 24 |
| 3.1.2.2.3. <i>Disposição controlada em certos tipos de solo</i> | 25 |
| 3.1.2.2.4. <i>Descarga do lodo de ETA em ETE</i> | 25 |
| 3.1.2.2.5. <i>Co-disposição de lodo de ETA em matriz de concreto</i> | 26 |
| 3.1.2.3. <i>Impacto ambiental</i> | 26 |
| 3.2. <i>MADEIRA</i> | 28 |
| 3.2.1. <i>Painéis de madeira aglomeradas</i> | 30 |
| 3.2.2. <i>Matéria – prima utilizada para a produção de aglomerados</i> | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.2.1. Partículas de Madeira | 34 |
| 3.2.2.2. Adesivo | 35 |
| 3.2.2.3. Aditivos químicos | 37 |
| 3.2.3. <i>Produção de painéis aglomerados de madeira</i> | 39 |
| 3.2.4. <i>Propriedades e características dos painéis de madeira aglomerada</i> | 43 |
| 3.2.5. <i>Estudos sobre o aproveitamento de resíduos para a produção de painéis</i> | 45 |
| MATERIAIS E MÉTODOS | 47 |
| 4.1. MATERIAIS UTILIZADOS | 51 |
| 4.1.1. Lodo ETA Maringá | 51 |
| 4.1.2. Lodo ETA Apucarana | 53 |
| 4.1.3. Maravalha | 54 |
| 4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS | 58 |
| 4.3. CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS | 59 |
| 4.4. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS | 64 |
| 4.4.1. <i>Confecção dos painéis referentes à primeira etapa do projeto</i> | 64 |
| 4.4.2. <i>Confecção dos painéis referentes à segunda etapa do projeto</i> | 66 |
| 4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS | 69 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 71 |
| 5.1. RESULTADOS REFERENTES À PRIMEIRA ETAPA | 71 |
| 5.1.1. <i>Caracterização das matérias primas</i> | 71 |
| 5.1.1.1. <i>Análises físicas</i> | 71 |
| 5.1.1.2. <i>Análises químicas</i> | 74 |
| 5.1.1.3. <i>Análises de Superfície (MEV e EDX)</i> | 75 |
| 5.1.2. <i>Análise nos painéis de madeira aglomerada</i> | 78 |
| 5.1.2.1. <i>Análises Físicas</i> | 78 |
| 5.2. RESULTADOS REFERENTES À SEGUNDA ETAPA | 82 |
| 5.2.1. <i>Caracterização das matérias primas</i> | 82 |
| 5.2.1.1. <i>Análises Físicas</i> | 82 |
| 5.2.1.2. <i>Análises Químicas</i> | 85 |
| 5.2.1.3. <i>Análise Estrutural</i> | 87 |
| 5.2.1.4. <i>Análise de superfície</i> | 88 |
| 5.2.2. <i>Análise nos painéis de madeira aglomerada</i> | 90 |
| 5.2.2.1. <i>Análise física</i> | 90 |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| 5.2.2.2. Análise mecânica | 93 |
| 5.2.2.3. Análise química | 95 |
| 5.2.2.4. Análise estrutural | 97 |
| 5.2.2.5. Análise de superfície | 98 |
| CONCLUSÃO..... | 101 |
| REFERÊNCIAS | 102 |
| ANEXOS | 116 |
| ANEXO I..... | 117 |
| ANEXO II..... | 119 |
| ANEXO III..... | 120 |
| ANEXO IV | 122 |
| ANEXO V..... | 123 |
| ANEXO VI | 124 |
| ANEXO VII..... | 129 |
| ANEXO VIII..... | 132 |
| ANEXO IX | 153 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Produção, importação exportação e consumo interno de MDP no Brasil. | 33 |
| Figura 2 – Classificação dos adesivos. | 36 |
| Figura 3 – Fluxograma geral do processo de produção de painéis de madeira aglomerada. ... | 41 |
| Figura 4 – Diagrama esquemático da primeira etapa desenvolvida durante o projeto. | 48 |
| Figura 5 – Diagrama esquemático da segunda etapa desenvolvida durante o projeto. | 50 |
| Figura 6 – a) Vista superior do decantador. b) Vista interior do decantador. | 51 |
| Figura 7 – a) Secagem do lodo. b) Lodo após secagem. | 52 |
| Figura 8 – a) Moedor. b) Vista superior onde foi realizada a moagem. | 52 |
| Figura 9 – Tanques de armazenamento do lodo após etapa de decantação. | 53 |
| Figura 10 – Centrífuga. | 54 |
| Figura 11 – Containers de armazenamento do lodo até destinação final | 54 |
| Figura 12 – Área de trabalho da empresa Cia do Pinus. | 55 |
| Figura 13 – a) Maquinário onde é realizado o desengrosso da madeira (Plaina); b) Resíduo de madeira (Maravalha) gerado. | 55 |
| Figura 14 – Caixas de madeira confeccionadas na empresa Cia do Pinus | 56 |
| Figura 15 – a) Resíduo de Maravalha na embalagem de coleta; b) Embalagens com a maravalha no momento da coleta. | 56 |
| Figura 16 – Equipamento utilizado no processo de trituração da maravalha. | 57 |
| Figura 17 – a) Maravalha antes de triturar. b) Maravalha após a trituração. | 57 |
| Figura 18 – Peneira interna do equipamento utilizado para triturar a maravalha. | 57 |
| Figura 19 – Formação do colchão de partículas. | 65 |
| Figura 20 – a) Pré-prensagem do painel. b) e c) colchão pronto para prensagem a quente. | 65 |
| Figura 21 – Prensa a utilizada na confecção dos painéis. | 66 |
| Figura 22 – Painéis após prensagem. | 66 |
| Figura 23 – Mistura manual dos materiais | 67 |
| Figura 24 – Colchão de partículas e pré-prensagem do material | 68 |
| Figura 25 – Prensa utilizada na prensagem a quente com controle de temperatura. | 68 |
| Figura 26 – Painéis após prensagem a quente e armazenamento | 69 |
| Figura 27 – Curva granulométrica para o lodo de ETA Maringá. | 72 |
| Figura 28 – Curva granulométrica para as partículas de madeira. | 72 |
| Figura 29 – Fotomicrografias obtidas por MEV do resíduo de lodo de ETA: a) 40 x b) 150 x c) 600x. | 75 |

| | |
|--|-----|
| Figura 30 – Mapeamento por EDS do resíduo de lodo de ETA..... | 76 |
| Figura 31 – Fotomicrografias obtidas por MEV do resíduo de maravalha: a) 40 x b) 150 x c) 600x. | 77 |
| Figura 32 – Mapeamento por EDS do resíduo de maravalha..... | 78 |
| Figura 33 – Curva granulométrica para o lodo de ETA. | 83 |
| Figura 34 – Curva granulométrica para as partículas de madeira a) Partículas A b) Partículas B. | 84 |
| Figura 35 – Análise de DRX para o lodo de ETA e partículas de madeira..... | 88 |
| Figura 36 – Lodo da ETA de Apucarana a) MEV com magnitude de 40X, b) EDX..... | 89 |
| Figura 37 – Partículas de madeira a) MEV com magnitude de 40X, b) EDX | 90 |
| Figura 38 – Análise de DRX dos painéis para os tratamentos 6, 8, 10 e 16..... | 98 |
| Figura 39 – Tratamento 6 a) MEV 40X de magnitude, b) EDX | 98 |
| Figura 40 – Tratamento 8 a) MEV 40X de magnitude, b) EDX | 99 |
| Figura 41 – Tratamento 10 a) MEV 40X de magnitude, b) EDX | 99 |
| Figura 42 – Tratamento 16 a) MEV 40X de magnitude, b) EDX | 99 |
| Figura 43 – Caracterização e classificação de resíduos sólidos. | 125 |
| Figura 44 – Equipamento utilizado no ensaio de Flexão..... | 130 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Delineamento experimental referente à primeira etapa da pesquisa. | 47 |
| Tabela 2 – Delineamento experimental referente à segunda etapa da pesquisa. | 49 |
| Tabela 3 – Análises realizadas e suas respectivas metodologias utilizadas para a caracterização dos materiais. | 58 |
| Tabela 4 – Composição dos painéis para primeira etapa do projeto. | 60 |
| Tabela 5 – Composição dos painéis para segunda etapa do projeto. | 60 |
| Tabela 6 – Composição dos painéis com resina de UF. | 63 |
| Tabela 7 – Quantidade de materiais utilizados na confecção dos painéis na segunda etapa do projeto. | 64 |
| Tabela 8 – Dimensões e quantidade de amostras dos corpos de prova para ensaio de avaliação dos painéis de madeira aglomerada. | 69 |
| Tabela 9 – Granulometria da maravalha em termos de peso e % massa retida. | 73 |
| Tabela 10 – Média dos valores encontrados para as análises de MO, RM e CO. | 74 |
| Tabela 11 – Média das densidades e teores de umidade nos tratamentos. | 79 |
| Tabela 12 – Análise de metais das partículas de lodo de ETA e madeira. | 85 |
| Tabela 13 – Concentração de metais do extrato lixiviado do lodo de ETA e partículas de madeira. | 86 |
| Tabela 14 – Concentração de metais do extrato solubilizado do lodo de ETA e partículas de madeira. | 87 |
| Tabela 15 – Resultado das análises físicas do painel de madeira aglomerada. | 91 |
| Tabela 16 – Resultado referente à análise de flexão estática. | 94 |
| Tabela 17 – Análise de metais dos tratamentos 6, 8, 10 e 16. | 95 |
| Tabela 18 – Concentração de metais do extrato lixiviado dos painéis. | 96 |
| Tabela 19 – Concentração de metais do extrato solubilizado dos painéis. | 97 |
| Tabela 20 – Massa mínima das amostras de material úmido, em função do tamanho máximo das partículas. | 118 |
| Tabela 21 – Tabela das medidas realizadas para o teste de densidade. | 132 |
| Tabela 22 – Tabela das medidas realizadas para o teste de Teor de Umidade. | 139 |
| Tabela 23 – Tabela das medidas realizadas para os testes de AA e IE após 2h e 24h. | 146 |
| Tabela 24 – Tabela das medidas realizadas para o teste de densidade. | 153 |
| Tabela 25 – Tabela das medidas realizadas para o teste de Teor de Umidade. | 164 |
| Tabela 26 – Tabela das medidas realizadas para os testes de AA e IE após 2h e 24h. | 174 |

INCORPORAÇÃO DE LODO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

AUTORA: CYNTHIA ALGAYER DA SILVA

ORIENTADORA: PROF^a ROSÂNGELA BERGAMASCO, D.Sc.

CO-ORIENTADORA: PROF^a LUCIANA C. S. H. REZENDE, D.SC.

Tese de Doutorado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46-09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil.

RESUMO

Os resíduos sólidos tem sido motivo de grande preocupação pois são gerados em grandes quantidades e tem-se dificuldade de uma disposição final adequada, logo é de grande importância o estudo do reaproveitamento dos resíduos sólidos, com o objetivo de se encontrar uma alternativa que traga benefícios para a população e para o meio ambiente. O objetivo principal deste trabalho é a incorporação de porcentagens de lodo proveniente do tratamento da água bruta em painéis de madeira aglomerada, como uma forma de disposição final adequada para esse resíduo sólido. Este estudo foi realizado em duas etapas, a primeira avaliou diferentes porcentagens de incorporação de lodo (0, 5, 10, 20 e 30%) e resina (12 e 16%), e a segunda etapa analisou diferentes tempos (7 e 12 min) e temperaturas (110 e 160 °C) de prensagem, a fim de avaliar a interferência destes parâmetros no processo de fabricação dos painéis de madeira aglomerada. Para a caracterização do lodo e partículas de madeira foram realizadas análises físicas (pH, teor de umidade e granulometria), químicas (metais, lixiviado e solubilizado), estrutural (DRX) e de superfície (MEV e EDX), e para a caracterização dos painéis foram realizadas análises físicas (teor de umidade, densidade, absorção de água e inchamento em espessura), químicas (metais, lixiviação e solubilização), estrutural (DRX), superfície (MEV e EDX) e mecânica (flexão estática). De acordo com os resultados obtidos pode-se observar a importância da mistura homogênea do adesivo e a influência do valor de pH encontrado nas partículas de madeira, o maior valor de densidade encontrado foi de 520,15 kg.m⁻³ sendo classificado como um painel de madeira aglomerada de baixa densidade. Então, pode-se concluir que a incorporação de lodo de ETA em painéis de madeira aglomerada não afetou a qualidade do painel, e que o painel de baixa densidade

obtido tem aplicação no mercado, como por exemplo em isolamento. A incorporação de lodo de ETA em painéis de madeira aglomerada é uma alternativa promissora de disposição final para este resíduo, pois desenvolve um subproduto e incentiva o desenvolvimento sustentável, colaborando com o meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos; lodo; maravalha; aglomerado, aproveitamento.

INCORPORATION OF SLUDGE TREATMENT WATER IN PARTICLEBOARDS

AUTHOR: CYNTHIA ALGAYER DA SILVA

SUPERVISOR: PROF^a ROSANGELA BERGAMASCO, D.SC.

CO-ADVISOR: PROF^a LUCIANA C. S. H. REZENDE, D.SC.

Doctor Thesis; Chemical Engineering Graduate Program, State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46-09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brazil.

ABSTRACT

Solid waste has been reason of great concern because they are generated in large quantities and has difficulty of a proper final disposal, so it's of great importance to study the reuse of solid waste, with the aim of finding an alternative that brings benefits for people and for the environment. The main objective of this work is the incorporation of percentages of sludge from treating raw water in particleboard panels, as a form of final disposal for this solid waste. This study was conducted in two stages, the first evaluated sludge incorporating different percentages (0, 5, 10, 20 and 30%) and resin (12 and 16%), and the second step analyzed different times (7 to 12 minutes) and temperatures (110 and 160 °C) pressing in order to evaluate the effect of these parameters in the manufacture of particleboard panels process. For the characterization of sludge and wood particles were carried out physical analysis (pH, moisture content and particle size), chemical (metals, leached and solubilized), structural (XRD) and surface (SEM and EDX), and for the characterization of panels were made physical analysis (moisture content, density, water absorption and thickness swelling), chemical (metals, leaching and solubility), structural (XRD), surface (SEM and EDX) and mechanical (bending). According to the results, it can be observed the importance of the homogeneous mixture of the adhesive and the influence of the pH found in wood particles, the highest density found it was 520.15 kg.m⁻³ that is classified as a wood panel agglomerated of low density. So it can be concluded that the incorporation of particleboard panels WTS not affect the quality of the panel, and the low density particleboard obtained has application in the market, such as in isolation. The incorporation of WTP sludge in particleboard panels is a

promising alternative disposal for this waste as a byproduct develops and encourages sustainable development, contributing to the environment.

KEYWORDS: solid waste, sludge; particleboard, disposal.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais como a geração de resíduos e a poluição, e suas consequências, estão, em muitas vezes, relacionados aos processos produtivos. O bom emprego da matéria-prima por meio de processos que incorporem principalmente os princípios de gestão ambiental vem recebendo importância nas indústrias e instituições de pesquisas, pois, além dos benefícios ao meio ambiente, trazem vantagens econômicas às empresas. (WEBER, 2011).

Os resíduos sólidos tem gerado uma crescente preocupação, em nível mundial, devido ao grande volume que é gerado e, também, a dificuldade de sua destinação final. Estes resíduos podem gerar sérios problemas ambientais quando depositados em locais como aterros sanitários ou lixões, causando a degradação do solo, contaminação tanto do lençol freático quanto de mananciais e, também, a contaminação do ar. (VITORINO, MONTEIRO e VIEIRA, 2009; WOLFF, SCHWABE e CONCEIÇÃO, 2014).

A gestão de resíduos é uma das partes mais importantes da gestão ambiental e consiste na elaboração de políticas e planos integrados com o objetivo de prevenir a geração de resíduos, reduzir ao máximo o volume e/ou periculosidade dos resíduos gerados, obter o máximo aproveitamento e reciclagem de materiais, e definir as melhores soluções para tratamento e disposição final. (ULIANA e NOLASCO, 2009).

A necessidade de se preservar o meio ambiente tem chamado à atenção tanto no meio acadêmico quanto industrial, para a valorização de processos que abranjam a reciclagem de resíduos poluentes. Isso ocorre porque o aproveitamento de resíduos colabora fortemente para a proteção ambiental e, por conseguinte, para o desenvolvimento sustentado. (OLIVEIRA e HOLANDA, 2008).

No processo de tratamento da água bruta é gerado um resíduo, chamado de lodo, que é proveniente de duas etapas do processo decantação e lavagem dos filtros. O resíduo oriundo da lavagem dos filtros contém um volume maior que o resíduo proveniente do decantador, porém em termos mássicos os decantadores produzem a maior quantidade de resíduo. De acordo com a ABNT NBR 10.004 (2004) o lodo é classificado como “resíduo sólido”, portanto deve ser tratado e disposto de maneira adequada.

O lodo gerado em estação de tratamento de água (ETA), quando disposto de maneira inadequada, contribui para a contaminação do ambiente, pois contém metais pesados advindos dos coagulantes químicos utilizados no processo de tratamento da água bruta e matéria orgânica em sua composição. (DASSANAYAKE et al., 2015)

Entre as principais alternativas de disposição final do lodo de ETA atualmente existentes, pode-se citar a recuperação do alumínio presente no lodo e a aplicação do lodo em materiais cerâmicos e concreto, e na produção de solo-cimento. (SOUZA, 2010).

Outro problema ambiental está relacionado à disposição final inadequada de resíduos de madeira, que são gerados em grandes quantidades pelas indústrias de base florestal, desde a exploração florestal até a manufatura do produto final. De acordo com Souza (2010), em torno de 50% do volume original da tora tornam-se resíduos, e nem sempre este resíduo é utilizado, apesar de haver diversas alternativas de reciclagem.

Ainda segundo Souza (2010), entre as alternativas para a reutilização dos resíduos de madeira está à fabricação de painéis de madeira aglomerada, a produção de energia pela queima e a incorporação deste resíduo, como fibras, na produção de concreto com potencial de isolamento térmico e acústico.

Segundo Colli (2007), as reservas de florestas nativas tem-se tornado alvo de discussão e de grande preocupação em nível mundial, as condições de uso serão cada vez mais restritas e controladas, obrigando o setor florestal a repensar e redirecionar as suas ações no sentido da sustentabilidade.

Com o aumento da demanda de aglomerados de madeira no mercado, a escassez de matéria prima e a grande quantidade de resíduos sólidos que vem sendo gerado, tem-se estudado a incorporação de resíduos nos aglomerados de madeira, como uma forma de dar uma disposição final adequada aos resíduos e diminuição do consumo de matéria prima. Pesquisas têm sido realizadas com a incorporação de diversos tipos de resíduos em aglomerados, como casca de noz (PIRAYESH et al. 2012), talos de tabaco (ACDA e CABANGON 2013), casca de arroz (AYRILMIS et al. 2012) e bambu (BISWAS et al. 2011).

A reutilização dos resíduos sólidos é uma alternativa que deve ser considerada, pois atenua o impacto ambiental e colabora para a diminuição do uso de recursos naturais. A busca de novas alternativas de disposição final adequada e a reutilização destes resíduos, desenvolvendo materiais e propondo possíveis aplicações para estes resíduos, é de extrema importância para o meio ambiente.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este presente trabalho tem por objetivo estudar a incorporação de lodo de ETA em painel de madeira aglomerada, como uma forma de disposição final adequada do resíduo proveniente do tratamento da água bruta, bem como para a maravalha, resíduos proveniente do beneficiamento da madeira que é utilizada na fabricação do aglomerado, visando o aspecto ambiental.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o lodo de ETA e as partículas de madeira quanto suas características físicas, químicas, estrutural e de superfície;
- Estudar a incorporação de diferentes porcentagens de lodo nos painéis, variando a porcentagem de resina utilizada;
- Estudar a influência dos parâmetros de prensagem como tempo e temperatura, bem como diferentes tamanhos de partículas de madeira, na qualidade do painel fabricado;
- Caracterizar os painéis de madeira quanto suas características químicas, estrutural e de superfície;
- Caracterizar os painéis quanto as suas características físicas e mecânica segundo a norma técnica ABNT NBR 14810-3 (2006).

CAPÍTULO 3

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos itens abaixo serão discutidos aspectos gerais dos resíduos utilizados no desenvolvimento deste trabalho, a maravalha proveniente do beneficiamento da madeira e o lodo gerado no tratamento da água bruta, bem como as questões ambientais geradas a partir das disposições finais inadequadas e as alternativas encontradas atualmente na literatura para cada resíduo.

3.1. LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

3.1.1. Tratamento da água bruta

O tratamento de água possui grande importância para os mais variados fins, sejam eles industriais, ou domésticos, este último é considerado como prioritário. Logo busca-se garantir que após o tratamento a água captada do meio ambiente atenda às necessidades humanas isenta de qualquer tipo de poluição ou contaminação. (FERREIRA e PANTALEÃO, 2012).

A água bruta, como é encontrada no curso d'água, na maioria das vezes necessita ser submetida a algum tipo de tratamento para enquadrar-se dentro dos padrões de potabilidade em suas características físicas, químicas e microbiológicas, de forma que não ofereça risco à saúde humana. (ARAÚJO, 2006). Os padrões de potabilidade da água para consumo humano são estabelecidos pela Portaria 2.914/2011 Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), e os responsáveis pela obtenção de água de boa qualidade dentro dos padrões exigidos pela norma são as estações de tratamento de água (ETAs).

De acordo com Medeiros Filho (2006), o tratamento de água deve seguir uma série de processos que melhorem suas características sensoriais, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que a água se torne adequada ao consumo humano, eliminando qualquer impureza que possa ser prejudicial e nociva à saúde. O tratamento completo, normalmente conhecido como ciclo completo, é a tecnologia mais usada nas ETAs brasileiras. (SILVEIRA, 2012).

Segundo Franco (2009), os métodos de tratamento empregados, nesta tecnologia, compreendem as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, correção de pH e desinfecção, para isso utiliza-se uma série de produtos químicos.

As estações de tratamento de água, como em qualquer indústria na qual uma dada matéria-prima é transformada em um produto final, possuem operações e processos unitários para a transformação da água bruta em água potável, como consequência desse processo há a geração de resíduos em algumas etapas do tratamento. (RIBEIRO, 2007).

3.1.1.1. Coagulação

O termo “coagulação”, deriva da palavra latina *coagulare*, que significa juntar. A coagulação consiste basicamente na introdução de um produto no meio líquido capaz de anular as cargas, normalmente eletronegativas, dos colóides presentes, com o objetivo de formar uma partícula de tamanho maior com maior tendência a sedimentar. (GIRARDI, 2009).

O processo de coagulação em uma ETA ocorre na unidade de mistura rápida, cujos parâmetros de projeto são o gradiente de velocidade e o tempo de mistura. A coagulação normalmente é realizada com sais de alumínio ou de ferro como coagulante primário e, eventualmente, polímeros. Este processo é consequência de dois fenômenos: o primeiro é químico e resulta das reações do coagulante com a água, o que leva a formação de espécies hidrolisadas com carga positiva; o segundo é físico e consiste em transportar as espécies hidrolisadas formadas, de forma que elas entrem em contato com as impurezas presentes na água, unindo-as para que sejam removidas nas etapas seguintes do tratamento. Essas impurezas geralmente apresentam carga superficial negativa, que se repelem e tendem a permanecer no meio, se suas características não forem alteradas. (ARAÚJO, 2006).

Os coagulantes mais utilizados no processo de tratamento de água são os coagulantes químicos (sais de alumínio e ferro), por terem um custo baixo e capacidade coagulante já comprovada. (MADRONA et al., 2010; NAIR e AHAMMED, 2013). O policloreto de alumínio (PAC), na maioria das vezes, mostra-se como coagulante superior ao sulfato de alumínio. Para a eliminação de substâncias coloidais, sua eficácia, em média, é 2,5 vezes superior com a mesma dosagem ao íon Al^{3+} a dos outros sais de alumínio comumente utilizados. (PAVANELLI, 2001).

Segundo Srivastava, Mall e Mishra (2005) o PAC, que é um polímero inorgânico, tem mostrado um melhor desempenho em relação aos outros coagulantes químicos, em

termos de remoção de cor, turbidez, entre outros. O tratamento com PAC requer o uso de uma menor quantidade de produto, levando a geração de um menor volume de lodo do que a obtida com outros coagulantes.

Os benefícios do uso do PAC para o tratamento de água são o baixo custo; sua forma líquida, permite fácil manuseio, estocagem e aplicação; é efetivo em uma larga faixa de pH; forma flocos grandes rígidos e pesados, elevando a velocidade de decantação; remove eficientemente a carga orgânica/inorgânica do líquido a ser tratado (STALGE SUNRISE, 2011).

3.1.1.2. Floculação

A floculação ocorre em seguida à coagulação, e consiste em uma agitação lenta da água para promover o choques entre as impurezas, para formarem partículas maiores (flocos), podendo ser removidas mais facilmente por meio de sedimentação. (RIBEIRO, 2007).

3.1.1.3. Decantação

A sedimentação ou decantação, com a prévia coagulação e floculação, é um método de clarificação usado na maioria das estações de tratamento de água, visando reduzir a carga de sólidos aplicada aos filtros. Após o processo de floculação, espera-se que praticamente toda matéria em suspensão existente na água bruta tenha se aglutinado, formando os flocos, de preferência em tamanho e peso suficientes para que possam ser separados da água em tratamento utilizando a decantação. (ARAÚJO, 2006).

De acordo com Ribeiro (2007), a sedimentação das partículas suspensas propiciam a clarificação do meio líquido, com a separação das fases líquida e sólida, que ocorre nos decantadores. A sedimentação é o fenômeno físico em que os flocos (partículas em suspensão) apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica devido à ação da gravidade, que se deposita no fundo do decantador formando uma camada de lodo, que é removida periodicamente.

3.1.1.4. Filtração

Normalmente, apenas por meio do uso da coagulação/floculação e decantação não é possível se obter água totalmente clarificada, sendo necessário então, o uso da filtração. Esta

consiste na remoção de partículas suspensas, coloidais e de microrganismos presentes na água, que passam através de um meio granular. (CARVALHO, 2008).

Segundo Ribeiro (2007), este método consiste na passagem da água através de um meio filtrante, que pode conter uma camada simples ou dupla de areia e carvão antracito sobre uma camada suporte de pedregulhos. Esta etapa é a responsável pela produção de água com qualidade condizente com os padrões de potabilidade.

3.1.1.5. Desinfecção

A desinfecção é a etapa responsável pela redução dos microrganismos patogênicos da água, visando obter os padrões de potabilidade e a preservação da saúde dos consumidores. Normalmente o cloro é o agente bactericida mais usado para eliminação dos microrganismos, através da reação de oxidação que se processa sobre a matéria orgânica. (FRANCO, 2009).

Grande parte dos microrganismos patogênicos é removida da água em tratamento pela decantação e filtração. Entretanto, alguns deles poderão estar presentes na água filtrada e, se não forem eliminados, podem ocasionar surtos de doenças e causar sérias epidemias. (ARAÚJO, 2006).

3.1.2. Resíduo gerado durante o tratamento da água bruta (Lodo)

As estações de tratamento de água, até então projetadas e instaladas no Brasil, em sua grande maioria possuem foco apenas na qualidade do produto final distribuído à população (água potável), porém é necessário uma preocupação em relação aos resíduos gerados nas operações do tratamento da água. (RIBEIRO, 2007).

Como em todo processo industrial de transformação da matéria prima, inevitavelmente, há geração de resíduos. No caso da produção de água potável, os resíduos gerados são os lodos dos decantadores e água de lavagem dos filtros. (ACHON e CORDEIRO, 2003). Estes resíduos, muitas vezes são tóxicos ao homem e ao meio ambiente devido à presença de metais. No entanto, somente nos últimos anos o tratamento e disposição final dos resíduos de ETAs têm recebido a devida atenção. (BARROSO e CORDEIRO, 2001).

Os principais tipos de resíduos gerados em uma ETA convencional são: a água de lavagem dos filtros, que em algumas ETAs recebe tratamento e destinação apropriados; normalmente este resíduo é reaproveitado, gerando economia e tornando esta alternativa

viável e difundida. Outro resíduo gerado em grande quantidade é o lodo que fica retido nos decantadores; o tratamento e disposição final deste resíduo ainda gera graves problemas ambientais, pois ainda há uma busca de uma solução definitiva para a disposição final deste resíduo. (RIBEIRO, 2007).

De acordo com Portella et al. (2003), há algum tempo, o destino final dos lodos de ETAs vinha sendo os cursos d'água, entretanto, a crescente população e a regulamentação têm limitado ou proibido essa disposição final. Esta prática tem sido questionada por órgãos ambientais devido aos riscos à saúde e ao meio ambiente.

Os resíduos sólidos são definidos, segundo a ABNT NBR 10004 (2004) como: “Resíduos nos estados sólido ou semissólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Segundo a ABNT NBR 10004 (2004), o lodo proveniente do tratamento de água é classificado como um resíduo sólido, portando deve ser tratado e disposto adequadamente. Zhou et al. (2015) afirmam que pesquisas em relação ao reuso do lodo de ETA tem crescido ultimamente, pois há um aumento na geração deste resíduo e também por causa das restrições ambientais.

3.1.2.1. Caracterização do lodo de ETA

No Brasil existem cerca de 7500 ETAs de ciclo convencional, que geram em média 2000 toneladas por dia de lodos provenientes dos decantadores, e quase 100% deste resíduo são lançados no meio ambiente sem qualquer tipo de tratamento. Logo é de extrema importância o controle sobre a disposição destes resíduos de forma a minimizar seus impactos ambientais. (CORDEIRO, 2002).

Dependendo da natureza físico-química da água bruta, da eficiência hidráulica das unidades de processo e do tipo de coagulante aplicado, entre 60 a 95% do lodo gerado é acumulado nos tanques de decantação e o restante nos filtros. (CARVALHO, 2008). De acordo com Weber e Torres (2007), o lodo oriundo dos decantadores das ETAs é

essencialmente líquido e possui um teor de matéria seca variando de 0,004 à 4,0 %, representando um valor entre 0,2 a 5,0 % do volume tratado de água.

Segundo Reali (1999), a quantidade e características dos lodos gerados em estações de tratamento de água convencional variam expressivamente em função da qualidade da água bruta (características dos mananciais) e do tipo e quantidade dos produtos químicos utilizados no processo de coagulação dessa água. Além disso, deve-se considerar que um mesmo manancial (principalmente rios) pode apresentar variações sazonais significativas da água bruta, como, por exemplo, mudanças de turbidez, as quais exercem uma grande influencia não só na qualidade como nas características do lodo formado no sistema de tratamento de água.

O lodo das estações de tratamento de água é essencialmente o produto da coagulação da água bruta. Assim sendo, tem uma composição aproximada daquela, adicionado dos produtos resultantes do coagulante utilizado, principalmente hidróxidos de alumínio ou de ferro. Dessa forma, as características do lodo variam com a natureza da água bruta, dos processos unitários e dos produtos químicos aplicados. (CARVALHO, 2008).

A composição do lodo nas estações de tratamento de água é determinada principalmente pela geologia, hidrologia da bacia do rio, atividades humanas realizadas nas bacias hidrográficas e produtos químicos utilizados no processo de purificação. Conseqüentemente, o resíduo produzido a partir de processos de purificação de água pode conter altas concentrações dessas impurezas retiradas pelos processos de purificação. (UWIMANA et al., 2010).

O lodo gerado nos decantadores das estações de tratamento de água possuem, em sua composição, materiais orgânicos em solução ou suspensão, materiais inertes como argila e areia, microrganismos variados e constituintes resultantes dos compostos químicos aplicados no processo como, por exemplo, sais de alumínio ou ferro, polieletrólitos e cal, entre outros. Estes constituintes produzem um lodo com alto teor de umidade. (AWWA, 1969a apud GUERRA, 2005).

Na maioria das vezes, esses resíduos apresentam baixa biodegradabilidade, alta concentração de sólidos totais, agentes patogênicos e metais pesados que podem causar toxicidade à vida aquática. (BARBOSA , 2000).

O lodo gerado em uma ETA tem suas características particulares, que pode diferir de uma ETA para outra, e também pode ocorrer variações nas características do lodo em uma mesma ETA durante o ano, estas variações que podem interferir nas características do lodo são o índice de chuva, o clima, ou despejos indevidos de resíduos nos mananciais de captação, e outros.

3.1.2.2. Destinação final do lodo de ETA

A Lei nº 12.305 de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), define destinação final ambientalmente adequada como sendo: “destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”.

Um dos desafios para as estações de tratamento de água é a adoção de alternativas adequadas para a destinação final do lodo gerado sob os aspectos: econômico, técnico e ambiental. (BITTENCOURT et al., 2012).

As empresas de saneamento têm criado estímulos para o adequado gerenciamento e disposição final desse resíduo, concretizando a corresponsabilidade e o comprometimento no manejo dos recursos naturais, devido a positiva influência da regulamentação sobre a preservação e qualidade ambiental. (TARTARI et al., 2011).

A necessidade de dispor o lodo de modo econômico e ambientalmente seguro é um requisito atual. Os meios mais eficientes de disposição de lodo consistem naqueles de menor custo, que protejam o meio ambiente e mantenham a segurança operacional por longo período. A seleção da melhor opção ambientalmente praticável envolve a consideração de fatores sociais, técnicos e econômicos. (RIBEIRO, 2007).

Segundo Araújo (2006), na intenção de minimizar os impactos negativos ao meio ambiente dos lodos de ETAs e tendo em vista as restrições por parte dos órgãos ambientais quanto às formas de disposição desses tipos de rejeitos, cresce a busca por alternativas de tratamento e disposição final viáveis do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

Os métodos de tratamento e de disposição final usados em outros países não são adotados no Brasil essencialmente devido ao alto custo de implantação e operação. Logo, o aterro sanitário ainda se apresenta como uma alternativa viável para o tratamento e a disposição final de lodos de ETAs no Brasil, devido à disponibilidade de áreas economicamente acessíveis nas cidades de pequeno e médio porte. (BIDONE, SILVA e MARQUES, 2001).

Tartari et al. (2011) afirmam que estão sendo realizadas pesquisas na área, que são dirigidas ao reuso de lodos resultantes do processo de tratamento de água. Como exemplo pode-se citar o impactos do lançamento *in natura* em cursos d'água, desidratação química,

quantificação, disposição em matriz de concreto, incorporação em cerâmica vermelha e análise dos gases poluentes liberados durante o processo de sinterização

Silveira (2012) afirma que a disposição de lodos de ETA em corpos hídricos é uma prática ilegal, devido às características do resíduo e aos impactos que pode causar no meio ambiente. Porém, é de grande importância destacar que não existe legislação específica para os resíduos de ETA e tão pouco estes resíduos são citados nas legislações.

Algumas alternativas de disposição final do lodo de ETA encontradas na literatura são:

3.1.2.2.1. Disposição em produtos cerâmicos

Há uma grande variedade de produtos utilizados como materiais de construção, entre eles pode-se citar a cerâmica. Os materiais cerâmicos também podem ser utilizados para decoração. A utilização de resíduos na fabricação de produtos ajuda a economizar energia, matéria prima, recursos naturais e exerce uma grande influência no meio ambiente. O lodo gerado durante o processo de tratamento da água bruta possui em sua composição química ferro, cálcio e silício, com isso supõe que este resíduo possa ser utilizado na fabricação de materiais cerâmicos. (Kizinievic et al., 2013).

A reutilização do resíduo vindo do tratamento da água bruta em cerâmica estrutural pode ser viável tanto no aspecto tecnológico, econômico e ambiental, pois permite a reciclagem do lodo de ETA, reduz os custos de exploração de argila, preservando assim os recursos naturais, e obtendo desta forma a destinação ambientalmente adequada dos resíduos. (WOLFF, SCHWABE e CONCEIÇÃO, 2014)

3.1.2.2.2. Disposição em aterro sanitário

A disposição de resíduos de ETAs em aterros sanitários é uma das principais formas de disposição final dos lodos, pois, a princípio, é a solução mais simples e direta para a disposição adequada dos lodos, não causando impactos negativos ao meio ambiente. (RIBEIRO, 2007).

Giordani e Abreu (2005) apud Araújo (2006) dizem que, para a disposição em aterros, é necessário um teor de sólidos no lodo superior a 25%, pois teores inferiores não dão capacidade de suporte. Logo, para dispor o lodo de ETA em um aterro sanitário é necessário realizar uma prévia desidratação do mesmo, para que a concentração de sólidos aumente.

3.1.2.2.3. Disposição controlada em certos tipos de solo

A disposição controlada em certos tipos de solo requer que o lodo não seja considerado um resíduo perigoso e, em meio às opções empregadas, encontram-se uso na agricultura, uso em silvicultura, recuperação de áreas deterioradas e disposição em áreas especiais. (ARAÚJO, 2006).

Segundo Ribeiro (2007), a disposição final de resíduos de ETAs no solo é uma alternativa pouco divulgada. Neste caso, nem todo tipo de lodo poderia ser utilizado, devido a seus compostos que poderiam ser prejudiciais ao invés de benéficos.

Lodos provenientes do tratamento de água com coagulantes metálicos têm a capacidade de colmatar o solo, impedindo assim a infiltração. Alguns estudos mostram a porcentagem adequada para uma disposição dos resíduos sem que ocorra este tipo de problema. Embora seja um método muito econômico, deve-se fazer restrições com relação à concentração de alguns metais e a possível contaminação que podem causar. Portanto, deve-se fazer um controle rigoroso da poluição. (FRANCO, 2009).

De acordo com Elliott (1990) apud Ribeiro (2007), os resíduos de ETAs têm comportamento semelhante a de solo de fina textura, e a consequência mais séria desta aplicação é a redução da capacidade das plantas em utilizar fósforo. Para a recuperação da fertilidade da área, deve-se aplicar quantidades moderadas de fertilizantes à base de fósforo.

Segundo Ribeiro (2007), pode-se citar alguns benefícios associados à adição de lodos em solos agrícolas como: aumento da capacidade de retenção de água; melhoria estrutural; melhoria nas condições de aeração do solo e ajuste de pH (quando os lodos apresentam significativa concentração de cal).

3.1.2.2.4. Descarga do lodo de ETA em ETE

Neste método de disposição final, os resíduos de ETAs lançados na rede coletora de esgoto sanitário seriam tratados e dispostos juntamente com os esgotos. Esta prática não resolve o problema, apenas o transfere, podendo gerar problemas nos sistemas de tratamento das ETEs (Estação de tratamento de efluente). (RIBEIRO, 2007).

O responsável pela ETE deve avaliar atenciosamente alguns fatores como impacto do lodo de ETA no sistema de transporte (coletores, estações elevatórias, tubulações de recalque, abrasão e corrosão); impacto dos resíduos tanto no processo de tratamento líquido, quanto no

processo de tratamento dos sólidos da ETE; a biotoxicidade tanto na ETE quanto nos seus resíduos finais. (ARAÚJO, 2006).

Devido às suas características, a maior parte dos resíduos produzidos pelas ETAs, serão removido pelos decantadores primários das ETEs e, portanto encaminhados aos digestores de lodo, anaeróbio ou aeróbio. Deste modo, os resíduos de ETAs podem causar interferências na eficiência destas unidades em razão da sua toxicidade nos digestores de lodo, seja pelo aumento ou diminuição dos valores de diversos parâmetros, tais como turbidez, cor, sólido suspenso total (SST) e demanda química de oxigênio (DQO) no efluente final. (FRANCO, 2009).

3.1.2.2.5. Co-disposição de lodo de ETA em matriz de concreto

A cadeia produtiva relacionadas às atividades da construção civil apresenta graves impactos ao meio ambiente, pois esta área é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais. A estimativa é de que o setor utilize algo entre 20% a 50% do total de recursos naturais consumido pela sociedade. A possibilidade de aliar os resíduos provenientes do tratamento da água bruta (lodo de ETAs) em conjunto com os resíduos de construção civil, pode ser uma interessante estratégia no sentido de minimizar o impacto ambiental gerado por esses dois setores. Os autores concluem que a proporção de 3% de adição de lodo em relação ao agregado miúdo apresentou as melhores características mecânicas e de absorção, sendo que este material apresenta aplicação não-estrutural na construção civil. (SALES e CORDEIRO, 2001).

Hoppen et al. (2005), em seu estudo, afirmam que os traços de concreto contendo até 5% de lodo de ETA podem ser aplicados de diversas formas, como a fabricação de artefatos, blocos e peças de concreto. Os autores concluíram que a adição de lodo de ETA em matrizes de concreto é uma alternativa viável e ambientalmente correta, já que fornece um destino final adequado ao lodo e reduz o uso de agregados naturais e de cimento.

3.1.2.3. Impacto ambiental

A geração e disposição final de resíduos produzidos pelas atividades humanas, quando são dispostos de maneira indevida, torna-se uma preocupação constante em vista dos efeitos negativos proporcionados ao meio ambiente. O manejo inadequado dos resíduos sólidos contribui de forma acentuada para o agravamento dos problemas ambientais, e

constitui uma atividade potencialmente poluidora do ar, solo e das águas superficiais e do subsolo. (GUERRA, 2005).

Segundo Machado et al. (2002), ao longo do tempo, os lodos removidos dos decantadores de ETAs foram lançados sem tratamento nos cursos de água. Esses resíduos apresentam alto teor poluente, sendo que os produtos químicos, os microrganismos e o material orgânico presente no material sedimentado podem causar uma série de danos ao corpo receptor.

Os resíduos de ETAs são potencialmente tóxicos para plantas, seres humanos e organismos aquáticos. O potencial tóxico varia com as reações sofridas durante o processo de tratamento, forma e tempo de retenção do lodo nos decantadores, as características físicas, químicas e biológicas do curso d'água receptor das descargas de ETAs, e a adição de metais presentes na composição e nas impurezas dos coagulantes primários e em outros produtos químicos empregados no tratamento da água. (CORDEIRO, 1999; BARROSO e CORDEIRO, 2001).

Se esse resíduo for lançado em um curso d'água, ele pode, dependendo das características do mesmo, dispersar rapidamente pelas correntes, ou sedimentar próximo ao local de lançamento provocando inibição da atividade biológica e más condições estéticas (mudanças de cor e turbidez). (RIBEIRO, 2007).

Segundo Machado et al. (2002), uma consequência da disposição inadequada dos lodos de ETA é a redução da concentração do oxigênio dissolvido nos mananciais pela decomposição da matéria orgânica contida nesse tipo de resíduo, o que pode tornar o ambiente anaeróbio, com acúmulo de material no fundo, produção de odores desagradáveis e mortandade de peixes, acúmulo de algas e etc.

Quando o coagulante químico utilizado no tratamento da água bruta é um sal de alumínio, os rejeitos (lodos) oriundos deste processo contêm em sua composição uma grande concentração do mesmo. Existem poucos estudos sobre a toxicidade deste elemento, porém vem demonstrando algumas preocupações. (ARAÚJO, 2006). Barbosa (2000) afirma que se deve realizar estudos para uma melhor compreensão dos efeitos negativos do alumínio no ambiente, e que a toxicidade do alumínio varia com a forma molecular e sua concentração.

Silva, Bidone e Marques (2000) relatam que o impacto ambiental que ocorre devido à disposição inadequada dos lodos de ETA, ainda não são suficientemente conhecidos. Mas citam algumas pesquisas onde verificou-se a toxicidade do Al (alumínio) em peixes e outros organismos, onde citam que o Al tem a capacidade de se acumular em alguns órgãos de

animais. Ressalta também que a abundância do Al no mundo dificulta a determinação precisa das consequências nocivas desta prática de descarte.

Há evidências de que lesões cerebrais, características do Mal de Alzheimer, podem estar associadas ao Al na água para consumo humano proveniente dos sistemas públicos de abastecimento quando esse se encontra em concentrações superiores a $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$. (BATALHA, 2006).

3.2. MADEIRA

A floresta pode originar grandes benefícios para o homem, cuja contribuição pode ser classificada em dois grupos. O primeiro grupo faz referência à função ecológica e social, para o bem estar do ser humano. O segundo grupo faz referência à função econômica, onde o homem obtém vários produtos de madeira, gerando riquezas e provendo necessidades da sociedade. (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Almeida (2011), as madeiras nativas estão sendo utilizadas de maneira errada e sem conscientização. Com isso, infelizmente, a capacidade sustentável não vem acontecendo. Sua preservação precisa ser direcionada de modo racional, para que se torne matéria prima perene. Portanto é necessário que haja o manejo e a certificação para ser empregada de maneira sustentável.

A madeira é considerada um dos materiais mais antigos utilizado nas construções pelo ser humano. É um material natural e renovável, e quando utilizado de maneira correta, se torna sustentável e cada vez mais uma opção para variadas aplicações. Atualmente as questões ambientais percebidas pela humanidade, instigam a busca de novas alternativas para a melhoria mundial. (ALMEIDA, 2011).

Segundo Colli (2007), devido ao grande crescimento populacional e a utilização indiscriminada dos recursos naturais como se estes fossem inesgotáveis gerou-se um quadro de escassez de matéria-prima utilizada na indústria madeireira. As reservas de florestas nativas tem-se tornado alvo de discussão e de grande preocupação em nível mundial, as condições de uso serão cada vez mais restritas e controladas, obrigando o setor florestal a repensar e redirecionar suas ações no sentido da sustentabilidade.

De acordo com Iwakiri (2005), as árvores retiradas da floresta passam por vários processos para redução das dimensões, gerando vários tipos de elementos de madeira com formas e dimensões variadas, podendo gerar novos produtos de madeira através da sua reconstituição, como por exemplo, os painéis aglomerados de madeira.

Devido ao número de indústrias madeireiras no Brasil, é gerada uma grande quantidade de resíduos de madeira, que vêm sendo pouco utilizados, e quando isso ocorre é para a geração de energia por meio da queima. (BRITO et al., 2006). De acordo com Almeida (2011), o resíduo que não é reaproveitado é descartado de maneira inadequada podendo causar sérios impactos ambientais.

Fagundes (2003) afirma que os resíduos gerados durante o processamento industrial da madeira precisam ter uma destinação final adequada, pois mesmo que possam ser degradados biologicamente, o agrupamento deste resíduo em um determinado local, tanto pela sua decomposição ou queima, podem ocasionar impactos ao meio ambiente. Os resíduos de madeira podem ser usados para a produção de energia ou incorporados em processos produtivos tais como celulose e painéis de madeira aglomerada.

Segundo Ferreira et al. (1989) apud Fagundes (2003), de uma maneira geral, considerando uma tora com casca, tem-se um aproveitamento de 40% na transformação de uma tora em tábuas, os 60% restantes são resíduos divididos da seguinte forma: 10% aparas de plaina, 26% aparas do corte, 13% pó de serra e 11% equivalente as cascas.

Na década de 1950 nos Estados Unidos a cada quatro árvores abatidas, o equivalente a menos de uma chegava ao consumidor em forma de produto, uma vez que na época ainda havia muita floresta inexplorada, e não havia a necessidade do aproveitamento de todos os pedaços do tronco da árvore. Este panorama tem mudado e, recentemente, os norte-americanos chegam a ter um aproveitamento superior a 90% a partir da tora. (BONDUELLE, YAMAJI e BORGES, 2002).

Atualmente tem-se dado um enfoque maior em relação às questões ambientais, a gestão adequada dos resíduos bem como ao reuso dos mesmos. Segundo Mota (2006) o reaproveitamento dos resíduos surgiu como uma alternativa, pois esta prática traz benefícios ambientais, diminuindo a utilização de recursos naturais além de reduzir a poluição causada pela destinação final.

Os resíduos de madeira podem ser classificados de acordo com a norma técnica brasileira ABNT NBR 10.004 (2004) como sendo resíduo classe II, por se tratar de um resíduo natural e, desta forma, biodegradável. Segundo Fagundes (2003), estes resíduos podem gerar sérios problemas ambientais se descartado de maneira inadequada, pois é gerado em grande volume e o tempo necessário para a degradação natural é longo.

Grande parte dos resíduos provenientes do processamento mecânico da madeira é aproveitada para geração de energia, tanto para fins industriais quanto domésticos. Entretanto, esta forma de utilização agrega muito pouco valor ao produto final. Uma das alternativas no

sentido de se obter um produto de maior valor agregado, seria o aproveitamento de resíduos (na forma de costaneiras, refilos e aparas, provenientes de serrarias) para produção de painéis de madeira aglomerada. O posterior revestimento dos painéis, por colagem de lâminas naturais ou sintéticas, para utilização na indústria moveleira elevaria mais ainda este valor agregado. (IWAKIRI et. al., 2000).

A utilização de resíduos e sobras deverá ser feita a partir de programas e mecanismos que permitam a agregação de valor aos mesmos. Esta agregação de valor é capaz de aumentar a competitividade das empresas processadoras de madeira, elevando os índices de competitividade do setor como um todo, além de contribuir para a manutenção e criação de empregos diretos e indiretos. O aproveitamento de resíduo pode, ainda, auxiliar as empresas do segmento florestal a se adequarem dentro de parâmetros mais sustentáveis, considerando o risco de impactos ambientais negativos que representa a indevida destinação final de resíduos, especialmente da serragem no caso da madeira. (FAGUNDES, 2003).

Cada vez mais está havendo um melhor aproveitamento da madeira devido à conscientização ecológica, ao desenvolvimento tecnológico e às necessidades econômicas do próprio mercado. Logo, é de extrema importância a continuidade do desenvolvimento de pesquisas para a utilização dos resíduos como uma fonte para novos produtos. (BONDUELLE, YAMAJI e BORGES, 2002).

3.2.1. Painéis de madeira aglomeradas

Em vista da dificuldade de obtenção de madeira de boa qualidade para produção de painéis compensados, devido ao isolamento da Alemanha durante a 2ª Guerra mundial, os painéis de madeira aglomerada surgiram como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, no início da década de 1940. Porém, devido à indisponibilidade de matéria-prima para a produção da resina, a produção foi estacionada e somente após a 2ª guerra o desenvolvimento dos painéis de madeira aglomerada foi retomado pelos Estados Unidos com o aperfeiçoamento dos equipamentos e dos processos de produção. (IWAKIRI, 2005).

A ABNT NBR 14.810-1 (2006) define placas aglomeradas de madeira como sendo:

“Produto em forma de painel, variando de 3 mm a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, termofixas, sob a ação de pressão e calor. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os

processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais específicos. Durante o processo de fabricação, podem ainda ser incorporados aditivos para prover painéis de características especiais”.

Segundo Varanda (2012), a American Society for Testing and Material (ASTM D-1037) define painel de madeira aglomerada como sendo: “um produto composto de pedaços miúdos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos que são unidos por adesivos de resina sintética em presença de calor e pressão”.

De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de madeira aglomerada que são comercialmente denominados de “aglomerado”, é um painel constituído de partículas de madeira com incorporação de uma resina sintética e consolidada através da aplicação de pressão e calor em uma prensa quente.

Os painéis de madeira aglomerada surgiram no Brasil devido à grande quantidade de resíduos de madeira produzidos na região Sul. O maior foco na produção dos aglomerados está voltado para a indústria moveleira, mas também seu uso é comum na construção civil. (ALMEIDA, 2011).

Segundo Mattos, Gonçalves e Chagas (2008), foi devido à escassez e o encarecimento da madeira maciça que propiciou o surgimento dos painéis de madeira aglomerada, e este tipo de produto pode substituir a madeira maciça em diferentes maneiras, tais como na fabricação de pisos e móveis.

Segundo Khazaeian, Ashori e Dizaj (2015), um dos materiais compósitos à base de madeira mais populares utilizados como materiais de decoração é o painel de madeira aglomerado, por causa de seu bom isolamento térmico, absorção de som, baixa densidade, e boas propriedades de usinagem.

O painel de madeira aglomerada é muito utilizado com materiais de acabamento como, por exemplo, os laminados, revestindo o painel. Este tipo de material pode ser utilizado na fabricação de móveis, piso, parede, forro de porta, divisória de escritório e painéis de teto e como embalagens. (Baharoglu et al., 2012 e Bertolini et al., 2013)

De acordo com Iwakiri (2005) devido ao princípio de fabricação, os painéis aglomerados apresentam algumas vantagens em relação aos painéis compensados e à madeira serrada, tais como as menores exigências em termos de matéria-prima, o menor custo de produção que é relacionado principalmente à qualidade da madeira e mão de obra, entre outros.

De acordo com Maloney (1993) apud Iwakiri et al. (2005) os painéis de madeira aglomerados possuem algumas vantagens em relação à madeira serrada, como: a minimização dos efeitos da anisotropia, eliminação de defeitos naturais como nós, maior uniformidade de propriedades físico-mecânicas em diferentes pontos do painel, inclinação da grã e tensões de crescimento, possibilidade de controle das propriedades físico-mecânicas do painel através das variáveis do processo produtivo como tipo e quantidade de resina, geometria de partículas e grau de densificação.

Fontes (2006) apud Bianche (2009), cita as inúmeras vantagens dos painéis de madeira aglomerada sobre a madeira, como a maior densidade dos painéis, matéria-prima homogênea proveniente de florestas de reflorestamento, isenção de rachaduras e deformações, isenção de nós e imperfeições da madeira, aumentando assim a resistência do material, melhor resistência às pragas, como por exemplo cupins e brocas, e o menor custo. Porém, este tipo de material também possui as suas desvantagens como a presença de bordas e superfícies grosseiras, a baixa resistência a umidade e a baixa usinabilidade do material, ou seja, ao utilizar dobradiças e parafusos inadequados este material pode esfarelar.

Segundo Brito et al. (2006), entre os produtos à base de madeira, os painéis aglomerados de madeiras é um dos que vem apresentando o maior crescimento, devido à grande quantidade de produtos disponíveis e flexibilidade na aplicação para os mais variados fins. O painel aglomerado de média densidade (MDP) é o painel que apresenta o maior consumo mundial. Este tipo de material é utilizado na fabricação de móveis tais como estantes, divisórias, laterais de armários e tampos de mesas, e também é consumido em uma menor parte na construção civil. Segundo dados fornecidos pelo BNDES, os maiores consumidores de painéis aglomerados de madeira são Estados Unidos, China e Alemanha. (BIAZUS, HORA e LEITE, 2010).

De acordo com dados fornecidos pelo BNDES, a produção mundial de painéis de madeira, de uma forma geral (aglomerados, MDF, chapa dura e compensado), está concentrada em apenas 10 países, e isso corresponde à 73% da produção mundial. Os três principais produtores são China, Estados Unidos e Alemanha, representando 51% da produção mundial, o Brasil se encontra na 6ª colocação. Porém, ao se tratar em específico de painéis aglomerados de madeira, a maior produção se deve aos Estados Unidos. (BIAZUS, HORA e LEITE, 2010).

Segundo dados fornecidos pela ABIPA (2013), conforme mostra a Figura 1, pode-se notar que quando se trata do mercado interno, tanto a produção quanto o consumo interno de painéis de madeira aglomerada tiveram um aumento considerável entre os anos de 2005 e

2011. Já a quantidade de produtos exportados foi bem instável, e teve um pico em 2006 e o pior ano foi em 2010.

Figura 1 - Produção, importação exportação e consumo interno de MDP no Brasil.

| PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO E CONSUMO INTERNO | | | | | |
|---|-----------------|-------------------|-------------------|------------------------|---|
| MDP® (m)³ | | | | | |
| Ano | Produção | Importação | Exportação | Consumo Interno | Capacidade Nominal Instalada m³ |
| 2005 | 2.048.957 | 78.400 | 25.750 | 2.101.607 | 2.800.000 |
| 2006 | 2.198.216 | 64.700 | 76.670 | 2.186.246 | 2.900.000 |
| 2007 | 2.557.141 | 28.080 | 37.390 | 2.547.831 | 3.085.000 |
| 2008 | 2.617.066 | 42.520 | 26.640 | 2.632.946 | 3.265.000 |
| 2009 | 2.488.915 | 36.271 | 25.761 | 2.499.425 | 4.020.000 |
| 2010 | 3.017.902 | 15.388 | 16.235 | 3.017.055 | 4.544.000 |
| 2011 | 3.069.718 | 1.470 | 23.993 | 3.047.195 | 4.790.000 |

Fonte: ABIPA, 2013.

Os painéis de madeira aglomerada podem ser comercializados com ou sem revestimento. A princípio, as lâminas de madeira eram usadas para esta finalidade, porém devido à escassez deste material houve a substituição por lâminas sintéticas, conferindo um melhor acabamento ao painel aglomerado. (HASELEIN et. al., 2001). Segundo Azambuja et al. (2006), os painéis de madeira aglomerada podem ser comercializados com diversos tipos de revestimento como o papel melamínico (película de papel impregnada com resina melamínica fundida sob temperatura e pressão à chapa in natura); papel *finish foil* (película de papel colada sobre a chapa in natura); laminado plástico; lâmina de madeira natural; PVC; pintura entre outros. Esses revestimentos agregam valor ao produto, facilitando sua comercialização e possibilitando um maior lucro.

3.2.2. Matéria – prima utilizada para a produção de aglomerados

Segundo Iwakiri (2005), os principais componentes utilizados na fabricação de painéis aglomerados são madeira, resina e catalisador. Outros componentes podem ser usados para melhorar algumas propriedades dos painéis para aplicações mais específicas, tais como emulsão de parafina, retardantes de fogo, produtos preservantes contra fungos e insetos.

3.2.2.1. *Partículas de Madeira*

A espécie de madeira é um parâmetro importante no processo de fabricação de painéis aglomerados, e os fatores importantes relacionados à espécie são a densidade da madeira, extrativos, acidez e materiais estranhos. (IWAKIRI, 2005).

Entre as espécies de madeira, as coníferas são as mais utilizadas na fabricação de painéis aglomerados, devido à baixa densidade da madeira. A madeira de Pinus por ser uma espécie de baixa densidade e possuir uma disponibilidade em grande escala, facilitando o fornecimento da matéria prima, é a madeira mais utilizada no Brasil. Outras características da madeira que são importantes na qualidade dos painéis fabricados são a acidez da madeira, que tem influência sobre a cura da resina e a escolha do tipo de catalisador a ser utilizado, os extrativos da madeira (taninos e outros polifenólicos, corantes, óleos essenciais, graxos, resinas, ceras, amido, gomas e substâncias nutrientes) que em função da quantidade e tipo desses extrativos podem gerar problemas quanto à cura e o consumo da resina e ocorrência de “bolhas” no painel, também se pode encontrar “materiais estranhos” associados à madeira como partículas metálicas introduzidas na madeira e substâncias minerais contidas na própria madeira. (IWAKIRI, 2005).

As madeiras mais utilizadas na confecção dos aglomerados são as de baixa densidade, isso ocorre pois madeiras mais leves permitem maior compressibilidade e possuem área de partículas maiores para um mesmo peso, resultando assim em um melhor contato entre as partículas, ou seja, uma melhor colagem. Porém, ao se utilizar madeiras muito leves, pode ocorrer uma maior quantidade de partículas finas e de poeira, no processo de trituração da madeira, dificultando assim o processo de colagem. (HILLIG, 2000).

O resíduo gerado no aplainamento da madeira, que é a maravalha, é encontrado geralmente em indústrias de beneficiamento da madeira, pois normalmente somente é realizado com a madeira seca. (FAGUNDES, 2003).

Segundo Mattos, Gonçalves e Chagas (2008), os materiais utilizados como matéria prima para a fabricação dos painéis aglomerados, no mundo, são os resíduos industriais de madeira, madeiras de qualidade inferior, resíduos de exploração florestal, madeira proveniente de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventia. Já no Brasil, a principal fonte de matéria-prima é a madeira de florestas plantadas e, em maior quantidade, das espécies pinus e eucalipto.

Smith (1997) apud Dacosta (2004) ressalta que o desafio para a utilização de resíduos de madeira na produção de painéis aglomerados consiste em notar possíveis

contaminantes que possam vir juntamente como o resíduo. Estes contaminantes são divididos em três categorias: os contaminantes duros (como pedras, metais, cerâmicas e concreto), os contaminantes macios (borracha, produtos de silicone, plástico e tecido) e os contaminantes como lamas e areia.

De acordo com Barros Filho (2009) a principal fonte de madeira são proveniente de florestas plantadas, para a produção de partículas, devido ao grande volume de matéria prima exigido. No Brasil as espécies de madeira mais utilizadas na produção de aglomerados são o *Pinus* spp e o *Eucalipto* spp, porém outras espécies também possam ser utilizadas para o mesmo fim, como a acácia e a bracatinga. Normalmente é utilizado partículas somente de uma espécie, entretanto também pode-se utiliza-las misturadas, isso vai variar de acordo com a necessidade do mercado ou pela busca de novas propriedades.

Segundo Barros Filho (2009) a espécie de madeira *Pinus elliottii* Engelm é nativa dos Estados Unidos da América, e é considerada uma das espécies de maior importância neste país. No Brasil na década de 60, começaram a ser inseridas as primeiras florestas de pinus, devido a incentivos fiscais e estímulos por leis, para atender a demanda no setor madeireiro e de papel e celulose.

O gênero *Pinus* pertence à ordem Coniferae, do grupo das Gimnospermae é uma espécie de madeira que não ocorre naturalmente na América do Sul. Sua área de ocorrência natural engloba os países da Europa, Ásia, América do Norte e Central. A madeira de *Pinus* é muito resistente à seca, necessita de uma grande quantidade de luz, suporta uma ampla faixa de temperatura, variando entre -65°C e 50°C. É utilizada como matéria prima na produção de aglomerados, MDF, OSB, compensados, laminados, móveis, celulose e papel de alta qualidade, bem como tabuas que podem ser utilizadas na construção de casas, caixotarias e pellets. (CIFLORESTAS, 2013).

3.2.2.2. Adesivo

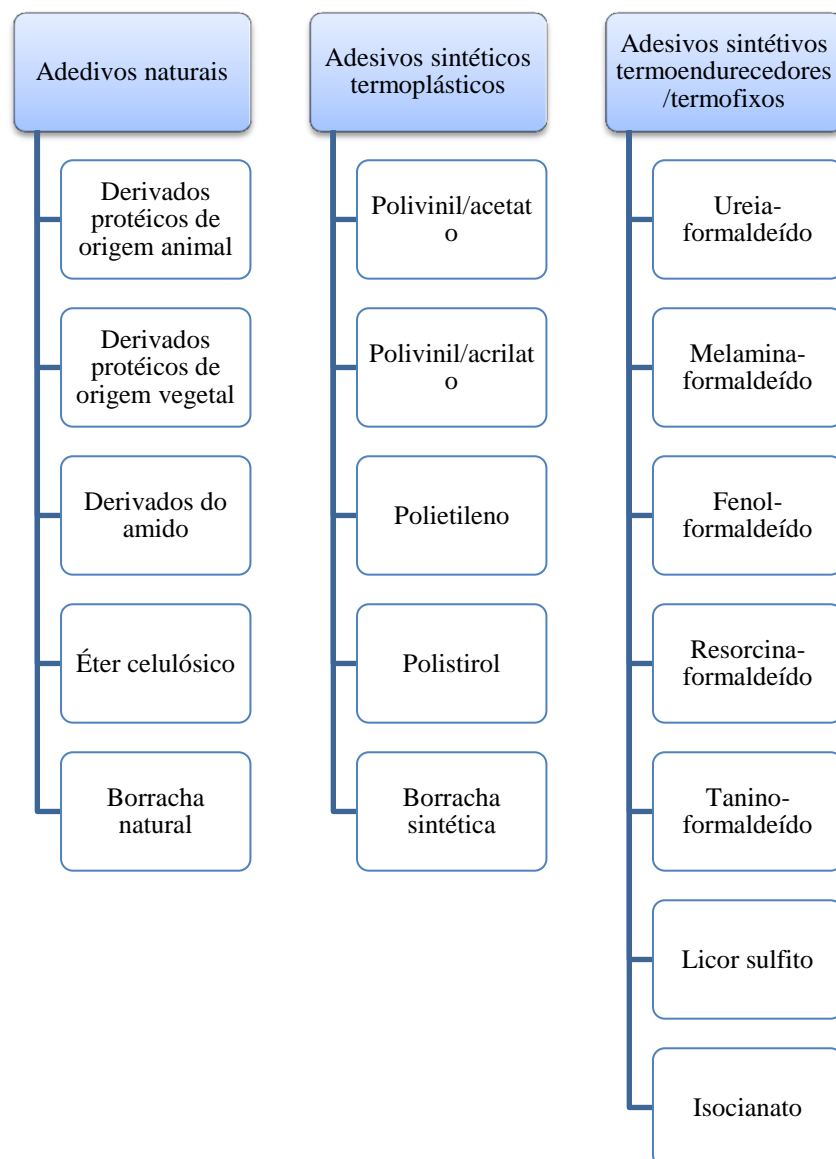
A ABNT NBR 14.810-1 (2006) define adesivo, ou também conhecido como resina, como sendo “Substância utilizada com o objetivo de aderir partículas de madeira em uma chapa de madeira aglomerada. Pode ser orgânico ou inorgânico”.

De acordo com Iwakiri (2005), adesivo é um material com propriedades aderentes, ou seja, é uma substância que possui a capacidade de manter unidos outros materiais em suas superfícies.

O componente de maior custo na produção dos painéis aglomerados é o adesivo, logo se deve otimizar a quantidade a ser utilizada. A quantidade deste material pode variar entre 5 a 10%, e é determinada em função do conteúdo de sólidos na resina e com base no peso seco das partículas de madeira. (IWAKIRI, 2005).

De acordo com Iwakiri (2005), os adesivos podem ser classificados conforme mostra a Figura 2. Porém os mais utilizados na produção de painéis aglomerados de madeira são ureia-formaldeído, fenol-formaldeído e melamina-formaldeído.

Figura 2 – Classificação dos adesivos.



Fonte: IWAKIRI, 2005.

O adesivo de UF é o mais utilizado na fabricação de painéis aglomerados para fins de uso interno, devido a sua susceptibilidade à degradação hidrolítica na presença de umidade

e/ou ácidos, especialmente em temperaturas de moderadas a elevadas. Este adesivo é o mais utilizado pois possui um baixo custo, cura rápida, de fácil manuseio e são incolores, não conferindo cor desfavorável ao painel. Devido a estas características este tipo de adesivo é utilizado em mais de 90% dos painéis de madeira. (IWAKIRI, 2005 e BAHAROGLU et al., 2012). Segundo Pizzi (1994) apud Dacosta (2004), este tipo de resina também tem as suas desvantagens como a susceptibilidade para a emissão de vapores de formaldeído e a falta de resistência à água pela deterioração.

Os adesivos de ureia-formaldeído são encontrados em solução aquosa, contendo entre 60 a 70% de sólidos, e também na forma de pó. Possui coloração branca leitosa, pH na faixa de 7,4 a 7,8, e viscosidade na faixa de 400 a 1000cp (25°C) (IWAKIRI, 2005). De acordo com Barros Filho (2009), este tipo de resina possui uma vida útil de três meses quando em forma líquida e de até um ano na forma de pó, quando armazenadas em uma temperatura de 20°C.

Resinas de ureia-formaldeído (UF) possuem certa resistência à umidade, porém não são a prova d'água, logo quando é necessário que o painel de madeira aglomerada seja resistente a intempéries é utilizada a resina de fenol-formaldeído. Embora a resina de fenol-formaldeído tenha um elevado custo, seu uso é comum na fabricação de painéis para uso na construção civil. (HILLIG, 2000).

De acordo com Melo (2009), uma resina que vem sendo muito utilizada na indústria de móveis é a combinação de adesivos malamina-ureia-formaldeído (MUF), pois proporciona ao painel uma melhor resistência à umidade, e possui uma cor clara, não interferindo desta forma na estética do painel, o que não ocorre quando se utiliza a resina de fenol-formaldeído (FF).

3.2.2.3. Aditivos químicos

Com a finalidade de melhorar algumas propriedades específicas dos painéis aglomerados, alguns produtos químicos são adicionados às partículas de madeira durante o processo de aplicação do adesivo, tais como o catalisador, emulsão de parafina, retardantes de fogo e produtos preservantes contra fungos e insetos. (IWAKIRI, 2005).

a) Catalisador ou endurecedor

São produtos usados juntamente com a resina de ureia-formaldeído, como por exemplo, o cloreto de amônia e o sulfato de amônia. Estes produtos têm a finalidade de reativar a pré-condensação e aumentar a velocidade de polimerização e cura da resina. O uso destes reduz o pH da resina, tornando assim o meio mais ácido e tendo a ação de endurecedor por combinação com o formol livre existente na resina. O catalisador utilizado na cura a quente, normalmente com temperatura entre 90 e 120°C, é o sulfato de amônia, enquanto que para a cura a frio são utilizados os adesivos orgânicos como ácido cítrico, fórmico e tartárico. (IWAKIRI, 2005). De acordo com Pizzi (1994) apud Dacosta (2004), os sais normalmente são utilizados em forma de soluções aquosas com uma concentração que varia de 15% a 20%.

b) Emulsão de parafina

Tem a função de reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira, ou seja, retardar a absorção de água, e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis, e é aplicada uma quantidade de até 1% baseado no peso do sólido resinoso. (IWAKIRI, 2005).

c) Retardantes de fogo

São compostos, tais como o sulfato de amônia, bromato de amônia, fosfato de amônia e ácido bórico, incorporados ao material durante o processo de produção ou através da impregnação após a prensagem. (IWAKIRI, 2005).

d) Produtos preservantes contra fungos e insetos

São compostos químicos incorporados no material em uma proporção que pode variar entre 0,25 a 2,5%, com base no peso seco das partículas. Ginzler e Peraza (1966) apud Dacosta (2004) afirmaram que a absorção de água não é possível de ser totalmente evitada. Com a aplicação da parafina ou uma cera mineral é possível diminuir a absorção de água, e este tipo de material geralmente é aplicado em forma de emulsão e sua concentração de sólidos varia de 35% a 65%.

3.2.3. Produção de painéis aglomerados de madeira

De acordo com IWAKIRI (2005), a fabricação de painéis aglomerados de madeira abrange as seguintes etapas:

a) Geração de partículas

Nesta etapa é onde são definidos os elementos dimensionais das partículas como o comprimento, largura e espessura, dois fatores de grande importância na geração das partículas, podendo interferir na qualidade final do painel são: a umidade da madeira e a existência ou não de casca.

b) Secagem

Nesta etapa o teor de umidade das partículas deve ser controlado, pois apresenta grande influência sobre a cura da resina, o tempo de prensagem e a pressão necessária para a consolidação do colchão de partículas. Para partículas com um alto teor de umidade pode gerar problemas de formação de bolhas de vapor durante a prensagem. Por isso, em um processo industrial, as partículas são secas a um teor de umidade de aproximadamente 3%.

c) Classificação das partículas

Nesta etapa ocorre a remoção de impurezas e “finos” e as partículas são classificadas em dimensões específicas para o processo de fabricação de painéis de madeira aglomerada.

d) Aplicação de adesivo e de aditivos químicos

A quantidade de adesivo deve ser otimizada, pois pode representar de 35 a 60% do custo total do processo de produção dos painéis aglomerados. Por isso, deve-se considerar dois fatores importantes na aplicação do adesivo: a quantidade de adesivo a ser aplicada, que é normalmente de 6 a 12%, e a distribuição do adesivo sobre a superfície das partículas, que deve ser homogênea.

e) Formação do colchão

Nesta etapa é onde as partículas com adesivo são depositadas sobre uma esteira móvel, em uma quantidade determinada que depende da densidade e espessura do painel.

f) Pré-prensagem

Esta etapa tem o objetivo de reduzir a altura do colchão de partículas, melhorar a consistência e facilitar o processo de prensagem a quente.

g) Prensagem a quente

Os principais parâmetros que influenciam nesta etapa do processo são a pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem, e os objetivos da prensagem a quente são a cura da resina, densificação e consolidação do colchão até a espessura final do painel.

h) Resfriamento/acondicionamento

Após a prensagem a quente, os painéis são passados por um período de resfriamento e a seguir empilhados por no mínimo 48 horas para climatização até atingirem a umidade e temperatura de equilíbrio como ambiente.

i) Acabamento

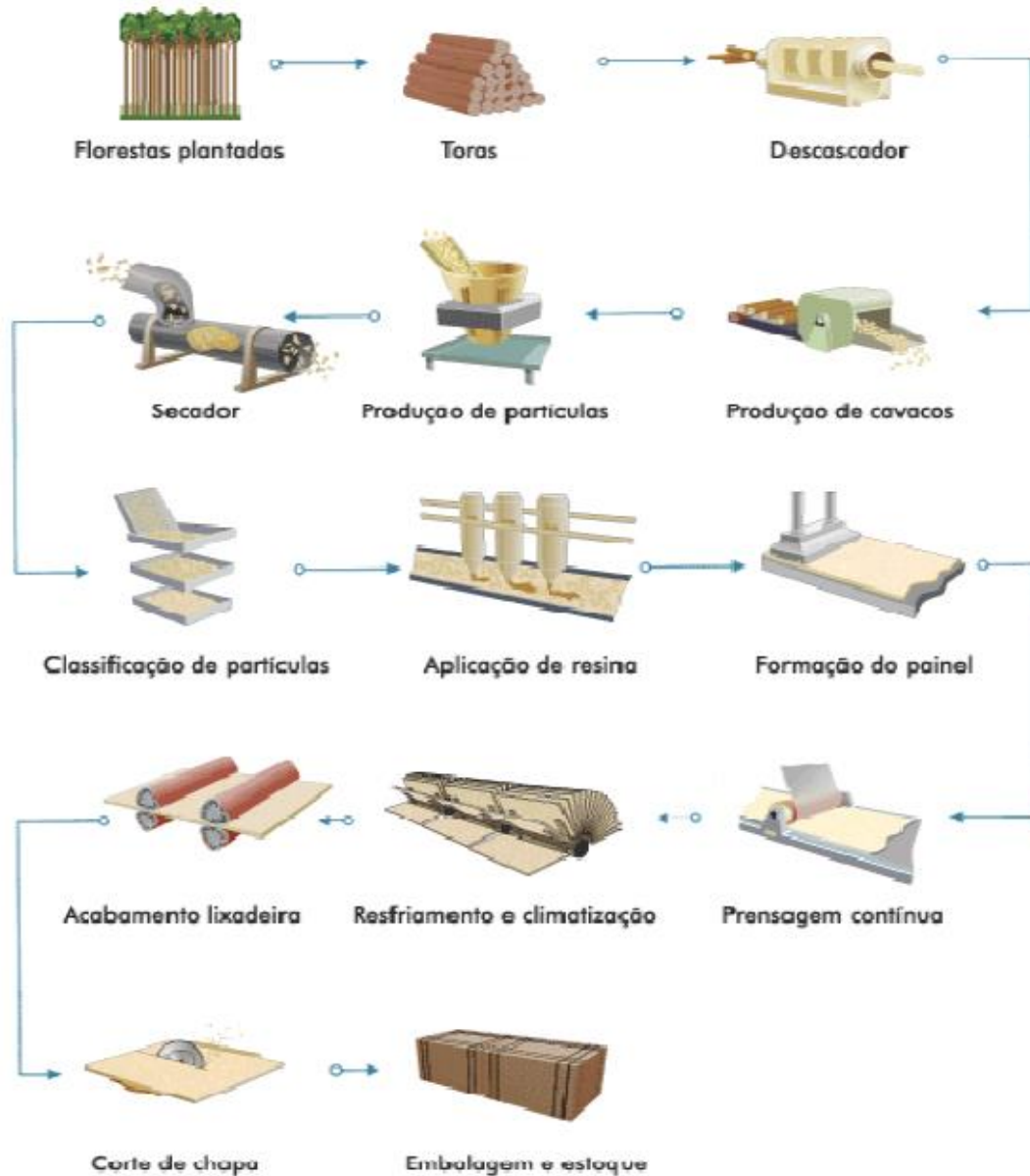
É nesta etapa onde é realizado o lixamento dos painéis bem como a aplicação de materiais de revestimento, visando agregar valor ao produto.

j) Embalagem e Armazenamento

Os procedimentos empregados nesta etapa são de grande importância, para evitar problemas como empenamentos, quebras das bordas e danos na superfície dos painéis.

O fluxograma do processo produtivo de painéis aglomerados de madeira pode ser melhor visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma geral do processo de produção de painéis de madeira aglomerada.



Fonte: PIERRE, 2010.

Naumann et al. (2008) apud Pierre (2010) citam algumas variáveis do processo que interferem nas propriedades dos painéis de madeira aglomerada, como a umidade do colchão, velocidade de fechamento da prensa, densidade do painel, tipo, quantidade e a qualidade da resina utilizada, o tempo e a temperatura de prensagem, o tipo de madeira utilizada, sua densidade, o pH da madeira, a geometria das partículas, entre outros. Essas interações podem

ocorrer simultaneamente ou não, favorecendo ou prejudicando algumas propriedades dos painéis.

Cerca de 6 a 17% do volume total da madeira é formado pela casca, e a sua remoção é um fator importante, pois pode trazer alguns efeitos negativos na qualidade final do painel. O uso superior a 10% de casca na elaboração de um painel de madeira aglomerada leva a uma redução da resistência mecânica e estabilidade dimensional. (MACIEL, 2001).

De acordo com Hillig (2000), deve-se estabelecer a umidade do colchão de tal maneira que ela seja suficiente para permitir a plasticidade das partículas, levando assim a uma colagem perfeita, exigindo então um menor tempo de prensagem. Segundo o autor, uma alta umidade no colchão durante a prensagem a quente pode ocasionar a formação de uma grande quantidade de vapor e, como a pressão é maior nas superfícies, o vapor tende a se deslocar para o meio do painel, podendo levar ao estouro, a delaminação do painel quando a prensa for aberta. E também é importante considerar que quanto maior a umidade do colchão maior tempo de prensagem é preciso.

Porém, segundo Maciel (2001), a utilização de partículas muito secas aumenta o perigo de ocorrer um incêndio durante o processo de secagem do material, e também gera uma maior quantidade de pó, que é expelido durante a prensagem do painel, devido à falta de resina na superfície das partículas. Segundo o mesmo autor, a umidade das partículas influencia diretamente nas propriedades de colagem e na própria densidade dos painéis, e que existem diversos fatores que dificultam a manutenção de um controle de umidade dos painéis.

De acordo com Moslemi (1974) apud Albuquerque (2002), o controle da umidade na mistura de partícula é de extrema importância, pois teores excessivamente elevados ou reduzidos de umidade causam problemas operacionais, reduzindo assim a qualidade dos painéis formados. O teor de umidade ideal para a produção de aglomerados depende de alguns fatores, tais como o tipo e a dimensão das partículas, densidade da madeira e a natureza do processo, entre outros.

Albuquerque et al. (2000) realizaram um estudo sobre a umidade da madeira utilizada na confecção dos aglomerados, com a colaboração da empresa Berneck Aglomerados S/A. Neste estudo, os autores verificaram que havia uma heterogeneidade na umidade entre os componentes da madeira, contribuindo de maneira significativa na ocorrência de incêndio nos secadores e também no estouro das chapas durante a prensagem e concluíram que é necessário homogeneizar a umidade do material ao chegar no silo úmido.

A forma e o tamanho das partículas interferem diretamente nas características e propriedades dos painéis de madeira aglomerada. Uma das principais variáveis que afetam as

propriedades dos painéis e o processo de produção é a geometria das partículas, ou seja, o seu comprimento, largura e espessura. A geometria das partículas está diretamente ligada à resistência mecânica (flexão, tração paralela e perpendicular à superfície do painel e arrancamento de parafuso superfície e topo) do painel de madeira aglomerada. O coeficiente de esbeltez, que é a razão entre o comprimento e a espessura da partícula, é o parâmetro mais importante obtido da geometria das partículas. (PIERRE, 2010).

De acordo com Iwakiri et al. (2005 b), na produção industrial de painéis de madeira aglomerado são utilizados partículas maiores na camada interna, e partículas menores (finos) nas camadas externas, com a finalidade de conferir ao painel um melhor acabamento, tendo em vista, principalmente, melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimento.

Outra variável do processo que deve ser controlada é o tempo mínimo de prensagem, e sua eficiência depende principalmente da espessura do painel, da transferência de calor, da temperatura de prensagem, bem como a distribuição de umidade no colchão de partículas (IWAKIRI, 1989 apud ALBUQUERQUE, 2002).

3.2.4. Propriedades e características dos painéis de madeira aglomerada

Haselein et al. (2001) ressaltam que, até 2001 uma das grandes dificuldades era a falta de uma normativa nacional para a comercialização do painel de madeira aglomerada, pois não existia um padrão mínimo de qualidade para os painéis além daquele estabelecido pelo consumidor deste produto. Porém quando este produto era exportado deveria atender as normas impostas pelo mercado alvo.

Somente em 2002 a norma técnica ABNT NBR 14810 entrou em vigor, que trata da normatização para painéis de madeira aglomeradas. Esta norma define um padrão mínimo de qualidade para os painéis serem aprovados no mercado interno. (ALMEIDA, 2011).

A terceira parte do conjunto de normas técnicas, a ABNT NBR 14.810-3 (2006), trata dos métodos de ensaios que devem ser realizados, bem como os tamanhos dos corpos de prova e a quantidade de unidades por ensaios necessários para a classificação dos painéis aglomerados de madeira.

Segundo Barros Filho (2009), os painéis de madeira aglomerada podem ser classificados de acordo com a geometria das partículas, a forma de distribuição das partículas e a geometria das partículas. A densidade dos painéis também é um dos parâmetros importantes quanto à classificação dos painéis, podendo ser classificados como sendo de

baixa densidade, abaixo de $0,59 \text{ g/cm}^2$, de média densidade, de $0,59 \text{ g/cm}^2$ à $0,80 \text{ g/cm}^2$, e de alta densidade, acima de $0,80 \text{ g/cm}^2$.

Segundo Iwakiri (2003) apud Dacosta (2004), as variações dos elementos dimensionais das partículas afetam significativamente as propriedades dos painéis, como ligação interna e flexão estática. Também é de extrema importância o controle de outras variáveis do processo para assegurar a qualidade requerida dos painéis segundo estabelecido pelas normas, tais como: a umidade, tipo e quantidade de resina, aditivos químicos e ciclo de prensagem.

Os painéis de madeira aglomerada produzidos no Brasil possuem algumas limitações quanto a estabilidade dimensional e a resistência a flexão das chapas devido às pequenas dimensões das partículas utilizadas. (IWAKIRI et al., 1999).

Vital, Haselein e Della Lucia (1992), em seu estudo afirmam que as propriedades mais importantes que afetam a qualidade dos painéis de madeira aglomerada são as dimensões e a forma das partículas e que, segundo estudos, não houve nenhum tratamento que melhorasse ao mesmo tempo todas as propriedades dos painéis. Quando utiliza-se partículas curtas e espessas isso resulta em uma melhora na resistência à tração perpendicular, entretanto leva a uma redução da tenção de ruptura e da flexão estática, e que para se obter um melhor resultado em relação a estas propriedades deve-se aumentar o comprimento das partículas.

Hillig (2000) observou que, na produção de painéis de madeira aglomeradas de uso estruturais, utilizando partículas de várias dimensões de *Pinus elliottii* Engelm e densidade de $0,7 \text{ g/cm}^3$, e usando 8 % de adesivo, as propriedades de flexão estática (módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE)) aumentaram com o aumento do comprimento e a diminuição da espessura das partículas. Porém, o aumento da espessura das partículas ocasionou o aumento das propriedades de inchamento em espessura e a resistência ao arrancamento de parafusos.

Albuquerque (2002) afirma que, em termos de absorção de água e inchamento em espessura, os painéis de madeira aglomerada sofrem alterações dimensionais sob as mesmas condições da madeira maciça, porém nos painéis aglomerados a intensidade destas alterações é bem maior na direção da espessura.

Os parâmetros mais estudados que exercem influência sobre o módulo de ruptura (MOR) são a densidade do painel, geometria e orientação das partículas. Em relação à densidade, estudos mostram que, de uma forma geral, o MOR aumenta com o aumento da densidade do painel. Já em relação à geometria das partículas, a largura das partículas não

apresentam tanta influência quanto o comprimento e a espessura nos valores de MOR, assim como no módulo de elasticidade (MOE). (ALBUQUERQUE, 2002).

Em relação ao parâmetro de resistência à tração perpendicular as faces, Albuquerque (2002) afirma que este parâmetro tem o seu valor elevado a medida que se aumenta a densidade do painel, o teor de resina, o tempo e temperatura de prensagem.

3.2.5. Estudos sobre o aproveitamento de resíduos para a produção de painéis

Colli (2007) propôs a incorporação de fibra de coco na fabricação de painéis aglomerados com madeira de paricá, e concluiu que esta madeira é apropriada na produção de painéis, de um modo geral, os painéis confeccionados com a maior quantidade de resina e fibra de coco obtiveram os melhores resultados em relação às propriedades mecânicas.

Morais (2011) estudou a incorporação de diferentes porcentagens de bambu em painéis confeccionados com madeira de Pinus e Eucalipto. De forma geral, em todas as análises realizadas, os painéis com a incorporação de bambu apresentaram resultados inferiores aos painéis homogêneos de Pinus, que foram os painéis que obtiveram os melhores resultados. Porém, em relação a análise de MOR, mesmo apresentando valores decrescentes com o aumento do bambu, esses valores ainda são inferiores ao estabelecido pela norma ANSI A 208.1.

Passos (2005) afirma que obteve resultados promissores no estudo em que incorporou fibras de coco verde em painéis aglomerados, com substituição parcial da madeira de Pinus. Em relação ao parâmetro de tração (ligação interna), o painel com incorporação de 10% de fibra de coco foi o que obteve melhor desempenho. Já em relação aos parâmetros de MOR e MOE, a incorporação de fibra de coco piorou o desempenho dos painéis em todas as porcentagens testadas. Em termos de absorção de água (AA) os resultados foram praticamente os mesmo para todos os painéis, já para o ensaio de inchamento em espessura (IE) os painéis com incorporação de fibra de coco apresentaram melhores resultados em relação aos painéis com 100% de madeira.

Souza (2010) avaliou a incorporação de casca de arroz em painéis de madeira aglomerada utilizando adesivo a base de tanino-formaldeído e concluiu que, em relação às propriedades físicas, os painéis tiveram um comportamento semelhante nos diferentes tratamentos aplicados, ou seja, os painéis apresentaram uma maior resistência a AA e IE após 2 e 24 horas, com o aumento da densidade e do teor de adesivo aplicado aos painéis. Já em

relação às propriedades mecânicas, o autor chegou a valores médios inferiores ao exigidos pelas normas para comercialização deste painel.

Brito et al. (2004) fizeram a incorporação de fibra de coco em painéis de madeira aglomerada, com madeira da espécie de Pinus, utilizando porcentagens de resina de 6 e 8%, e variando a porcentagem de fibra de coco em 10, 20 e 30%. Observaram que o teor de adesivo associado ao aumento da porcentagem de fibra de coco na composição dos painéis colaborou para a redução do inchamento em espessura (IE 24 horas), ainda que não tenha sido perceptível a mesma tendência para absorção em água (AA). A fabricação de aglomerados com fibra de coco mostrou-se viável em termos de módulo de ruptura, quando se compara os valores obtidos com a norma CS 136-66. Já os valores de MOE foram inferiores aos valores mínimos citados pela norma, sugerindo a precisão de trabalhos adicionais para a melhoria desta propriedade.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

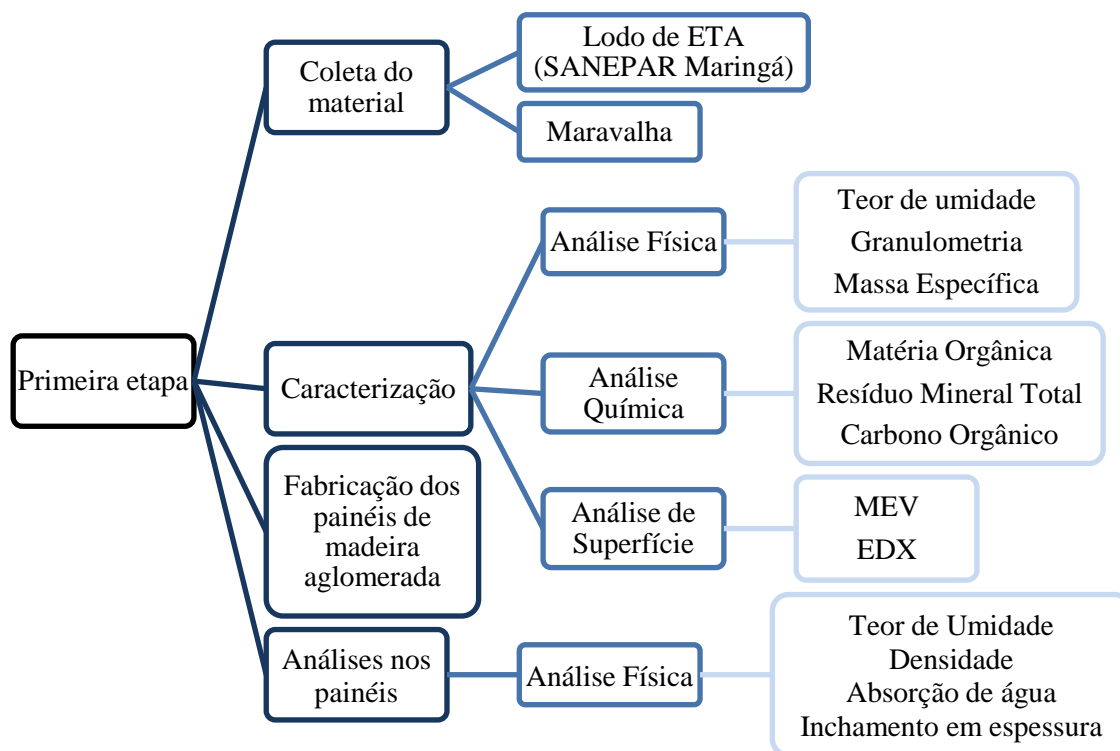
Esta pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, inicialmente foram estudados diferentes porcentagens de incorporações de lodo de ETA e resina de ureia formaldeído (UF) na fabricação dos painéis aglomerados de madeira, conforme delineamento experimental mostrado na Tabela 1. O delineamento experimental referente à primeira etapa desenvolvida neste estudo constituiu-se de 10 tratamentos, 3 repetições por tratamento, totalizando 30 painéis, fixando-se a densidade final desejada do painel em 700 kg m^{-3} , conforme mostra a Tabela 1. A quantidade de resina utilizada, 12 e 16%, foi definido segundo Li et al. (2010). Optou-se por utilizar uma quantidade de resina um pouco acima do normalmente encontrado na literatura de 10%, pois a mistura dos materiais foram realizadas manualmente.

Tabela 1 - Delineamento experimental referente à primeira etapa da pesquisa.

| Tratamentos | Lodo (%) | Madeira (%) | Resina (%) |
|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 0 | 100 | 12 |
| 2 | 5 | 95 | 12 |
| 3 | 10 | 90 | 12 |
| 4 | 20 | 80 | 12 |
| 5 | 30 | 70 | 12 |
| 6 | 0 | 100 | 16 |
| 7 | 5 | 95 | 16 |
| 8 | 10 | 90 | 16 |
| 9 | 20 | 80 | 16 |
| 10 | 30 | 70 | 16 |

O diagrama esquemático apresentado na Figura 4 mostra a primeira etapa realizada na execução deste trabalho.

Figura 4 – Diagrama esquemático da primeira etapa desenvolvida durante o projeto.



De acordo com os resultados encontrados na primeira etapa do estudo notou-se a necessidade de estudar a variação de mais alguns fatores, além de porcentagens de incorporação de lodo e resina, pois a densidade dos painéis encontrados foi abaixo do estabelecido pela ABNT NBR 14.810-2 (2006) para um painel de média densidade. Logo, visando à melhoria na qualidade dos painéis fabricados foi verificado a influencia dos parâmetros de prensagem como tempo e temperatura, bem como a influencia do tamanho das partículas, também foi aumentado a quantidade de resina para 20% como uma forma de tentar alcançar uma densidade média do painel.

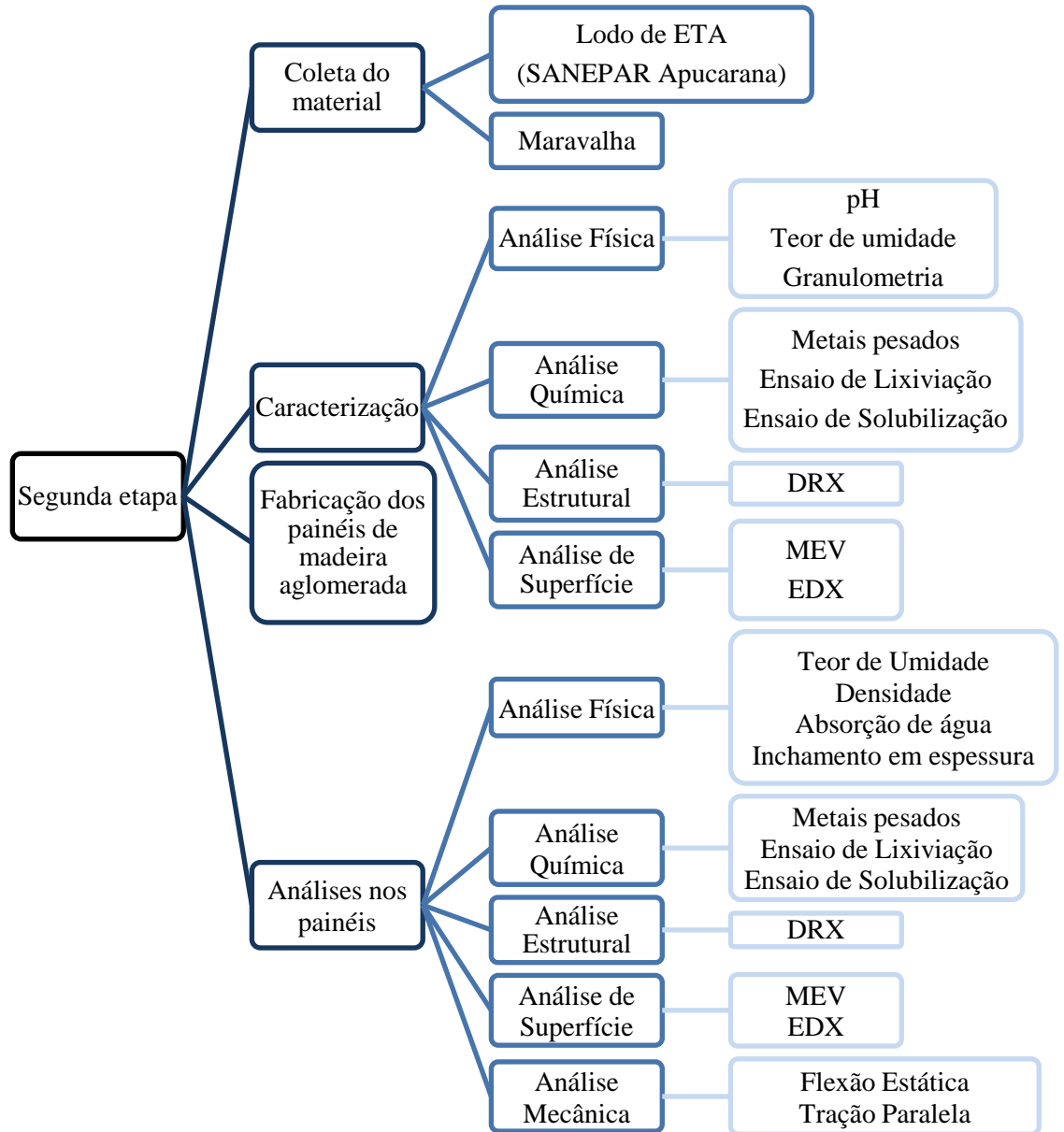
O experimento realizado na segunda etapa deste projeto constituiu de 16 tratamentos, 3 repetições por tratamento, totalizando 48 painéis, foram mantidos fixos a densidade do painel em 700 kg m^{-3} e a porcentagem de resina em 20%, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Delineamento experimental referente à segunda etapa da pesquisa.

| Tratamento | Granulometria | % Lodo | Tempo (min) | Temperatura (°C) |
|------------|----------------------|--------|-------------|------------------|
| 1 | | 0 | 7 | 110 |
| 2 | | 20 | 7 | 110 |
| 3 | | 0 | 12 | 110 |
| 4 | Partículas A | 20 | 12 | 110 |
| 5 | 0,08 mm < d < 2,0 mm | 0 | 7 | 160 |
| 6 | | 20 | 7 | 160 |
| 7 | | 0 | 12 | 160 |
| 8 | | 20 | 12 | 160 |
| 9 | | 0 | 7 | 110 |
| 10 | | 20 | 7 | 110 |
| 11 | | 0 | 12 | 110 |
| 12 | Partículas B | 20 | 12 | 110 |
| 13 | 0,08 mm < d < 9,5 mm | 0 | 7 | 160 |
| 14 | | 20 | 7 | 160 |
| 15 | | 0 | 12 | 160 |
| 16 | | 20 | 12 | 160 |

O diagrama esquemático apresentado na Figura 5 mostra a segunda etapa realizada na execução deste trabalho. Devido à quantidade de resíduo utilizado e às condições climáticas no momento da coleta houve dificuldade na secagem do lodo, por isso o resíduo foi seco à temperatura ambiente, a coleta do lodo nesta segunda etapa foi realizado na Sanepar localizada na cidade de Apucarana. O lodo da ETA Apucarana é proveniente do tratamento convencional da água bruta onde também é utilizado o PAC como coagulante, porém esta ETA possui uma etapa a mais comparada com a ETA Maringá. Logo após a saída do lodo do decantador o resíduo é centrifugado para a retirada da água, ficando assim com uma umidade bem baixa, em torno de 35%, quando comparado com o lodo coletado na ETA Maringá, em torno de 90%. Logo foi realizada a caracterização física, química, estrutural e de superfície do lodo coletado na ETA Apucarana conforme Figura 5.

Figura 5 – Diagrama esquemático da segunda etapa desenvolvida durante o projeto.



4.1. MATERIAIS UTILIZADOS

4.1.1. Lodo ETA Maringá

A ETA de Maringá realiza o tratamento da água bruta de forma convencional, com ciclo completo, composto pela sequência dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração. Atualmente, o coagulante químico utilizado no processo de coagulação/floculação é o PAC (Policloreto de Alumínio).

O lodo foi coletado no decantador da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), na cidade de Maringá – PR, conforme mostra a Figura 6. A coleta foi realizada manualmente com o auxílio de um balde e corda, e foi realizada no dia da limpeza de um dos decantadores que, de acordo com a rotina da empresa, é realizada semanalmente.

Figura 6 – a) Vista superior do decantador. b) Vista interior do decantador.

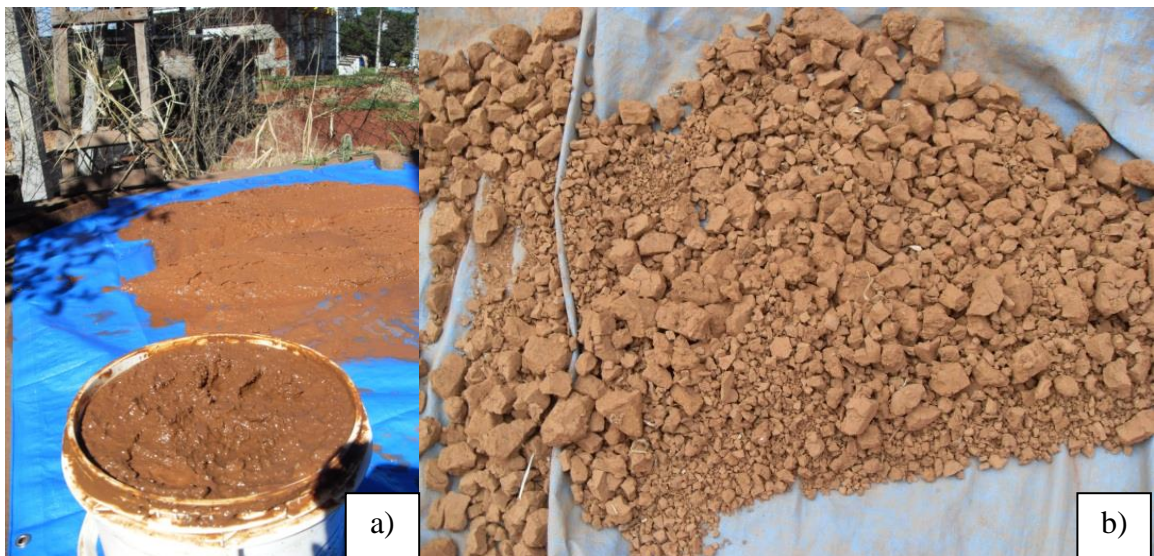


Durante a limpeza do decantador, o funcionário entra no interior do tanque de decantação e utiliza jatos de água para diluir o lodo, bem como para forçar o escoamento do mesmo pelos dutos presentes no fundo do tanque de decantação. Este procedimento de limpeza desperdiça uma grande quantidade de água já tratada.

Atualmente, a capacidade de tratamento da água bruta da ETA gira em torno de aproximadamente $125 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. Com isso, segundo dados fornecidos pela SANEPAR, a ETA produz diariamente aproximadamente 8,4 toneladas de massa seca de lodo.

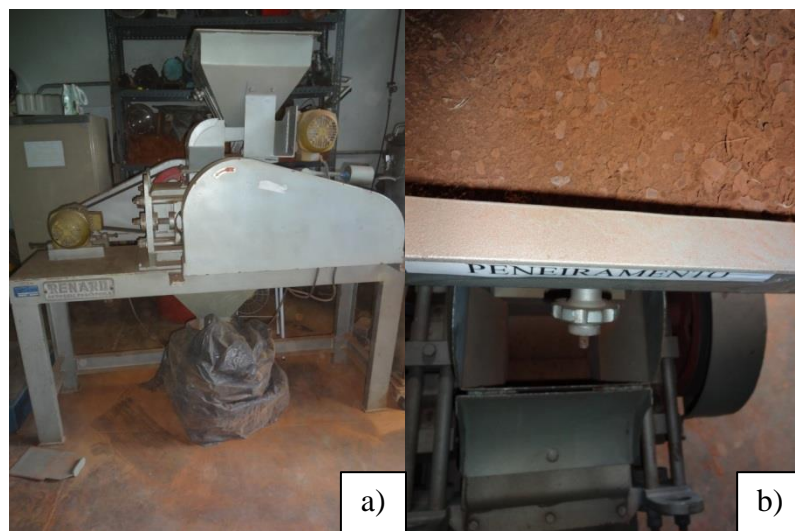
Devido ao elevado teor de umidade, o resíduo foi seco para realização das análises de caracterização bem como para incorporação nas placas aglomeradas de madeira. Assim o lodo foi depositado sobre uma lona e seco à temperatura ambiente, exposto ao sol. Este resíduo foi misturado todos os dias, pelo menos uma vez ao dia, e coberto ao final de cada dia (Figura 7 a). Após a secagem do material houve a redução do volume, devido à grande umidade presente neste tipo de resíduo. Foi obtido no final um total de 80 Kg de lodo seco. Após a secagem o material apresentou o aspecto apresentado pela Figura 7 b.

Figura 7 – a) Secagem do lodo. b) Lodo após secagem.



O lodo foi passado por um moinho de rolo (Figura 8) para uniformizar e reduzir o tamanho das partículas.

Figura 8 – a) Moedor. b) Vista superior onde foi realizada a moagem.



4.1.2. Lodo ETA Apucarana

A SANEPAR de Apucarana realiza o tratamento da água bruta de forma convencional, com ciclo completo, composto pela sequência dos processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração. Atualmente, o coagulante químico utilizado no processo de coagulação/floculação é o PAC. A ETA de Apucarana possui um processo adicional ao resíduo do tratamento de água após a saída do decantador, o lodo passa por um processo de centrifugação, para a remoção do excesso de água deixando o lodo com uma umidade de aproximadamente 35%.

O resíduo, ainda com um elevado teor de umidade, gerado no processo de tratamento de água (Lodo ETA) é removido do decantador e armazenado em tanques (Figura 9), no qual é adicionado um polímero catiônico (Poliacrilamida catiônica, Superfloc 8392 da marca KEMIRA) para auxiliar o processo de centrifugação do lodo (Figura 10). O lodo de ETA resultante deste processo, com um teor de umidade reduzido, é armazenado em containers (Figura 11) até a destinação final do produto, onde o lodo de ETA foi coletado para a realização da segunda etapa deste estudo. O lodo armazenado é destinado a um aterro sanitário.

Figura 9 – Tanques de armazenamento do lodo após etapa de decantação



Figura 10 – Equipamento utilizado no processo de centrifugação.



Figura 11 – Containers de armazenamento do lodo até destinação final



4.1.3. Maravalha

As partículas de madeiras utilizadas para a produção dos painéis foram extraídas do resíduo proveniente de cortes em madeiras maciças. A maravalha coletada foi doada pela empresa Cia do Pinus (Figura 12) localizada na cidade de Londrina – Paraná, sendo proveniente dos cortes do beneficiamento da madeira de Pinus, para produção de caixas de madeira.

Figura 12 – Área de trabalho da empresa Cia do Pinus.



A Figura 12 mostra a coleta dos resíduos (maravalha) provenientes do beneficiamento da madeira. As ripas de madeira são passadas por uma plaina para o “desengrosso” da madeira para confecção de caixas e pallets (Figura 13 e 14). Foram coletados, no total, uma quantidade de 400 kg e armazenados em embalagens plásticas (Figura 15).

Figura 13 – a) Maquinário onde é realizado o desengrosso da madeira (Plaina); b) Resíduo de madeira (Maravalha) gerado.



Figura 14 – Caixas de madeira confeccionadas na empresa Cia do Pinus



Figura 15 – a) Resíduo de Maravalha na embalagem de coleta; b) Embalagens com a maravalha no momento da coleta.



Após a coleta, as partículas de maravalha foram trituradas no equipamento mostrado na Figura 16, para que o tamanho das partículas fosse reduzido, conforme mostra a Figura 17. O equipamento que realiza a trituração das partículas possui uma peneira interna que seleciona o tamanho das partículas, como mostrado na Figura 18.

Figura 16 – Equipamento utilizado no processo de trituração da maravalha.



Figura 17 – a) Maravalha antes de triturar. b) Maravalha após a trituração.



Figura 18 – Peneira interna do equipamento utilizado para triturar a maravalha.



4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Após as etapas de preparação das partículas de madeira e do lodo descritos anteriormente, foi realizada a caracterização destes materiais e foram determinadas suas características química, física, estrutural e de superfície. As análises realizadas em cada etapa desta pesquisa estão especificadas nos diagramas esquemáticos das Figuras 4 e 5.

A Tabela 3 mostra as metodologias usadas nos ensaios de caracterização dos resíduos. A metodologia completa se encontra nos respectivos Anexos conforme descritos na tabela.

Tabela 3 – Análises realizadas e suas respectivas metodologias utilizadas para a caracterização dos materiais.

| | | |
|-----------------------|-----------------------|---|
| Análises Físicas | pH | Chiang et al. (2009) e Atar et al. (2014) |
| | Teor de umidade | DNER 213, 1994 (ANEXO I) |
| | Granulometria | NBR 7181/1984 (ANEXO III) |
| | Massa Específica | Método de Kiehl (1985) picnômetro (ANEXO IV) |
| Análises Químicas | Matéria Orgânica | Kiehl, 1985 (ANEXO II) |
| | Resíduo Mineral Total | |
| | Carbono Orgânico | |
| | Metais pesados | Técnica da fluorescência se raios X por Reflexão Total (TXRF) |
| | Lixiviação | NBR 10005/2004 (ANEXO VI) |
| | Solubilização | NBR 10006/2004 (ANEXO VI) |
| Análises Estruturais | DRX | Equipamento modelo Bruker-AXS |
| Análise de Superfície | MEV e EDX | Equipamento Superscan SS - 550 marca Shimadzu |

Para a análise de metais as amostras foram analisadas pela técnica da fluorescência de raios X por Reflexão Total (TXRF), os refletores-amostras foram irradiados por 500 s sob reflexão total por um feixe de raios X de 20 keV, extraído da fonte radioativa de Molibdênio, sendo os raios X detectados utilizando-se um detector semiconductor. De cada amostra foi gerado um espectro TXRF, sendo as intensidades de pico das linhas K, L e M transformadas em termos de concentrações elementares (mg kg^{-1}) pelo próprio software do equipamento (S2PICOFOX).

O ensaio de difração de raios-X foi usado para detectar as fases cristalinas presentes em cada amostra. Utilizou-se o equipamento modelo Bruker-AXS, D8 Advance, os

parâmetros utilizados na análise foram radiação Cu α , corrente de 35 mA e voltagem de 40 kV, com ângulo de difração 2θ entre 10° a 70° , na velocidade de $0,1375^\circ.\text{min}^{-1}$.

Para a caracterização dos materiais em relação ao teste de superfície foi realizado a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), para isso as amostras foram aderidas a um suporte de alumínio como auxílio de uma fita dupla face e metalizado com ouro, as micrografias foram obtidas por meio de microscópio eletrônico de varredura de elétrons Superscan SS – 550 marca Shimadzu, operando com tensão de aceleração de 10 kV. Além disso, uma microanálise química foi realizada por espectroscopia de dispersão de energia (EDS), ligado ao MEV.

As análises de DRX, MEV e EDX foram realizadas no COMCAP (Complexo de Centrais de Apoio a Pesquisa), Bloco B09 localizada na Universidade Estadual de Maringá.

4.3. CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS

A composição de todos os componentes dos painéis foi calculada com base no peso seco das partículas (0% de umidade) e de acordo com os delineamentos experimentais para cada etapa. O cálculo da composição dos painéis foi realizado de acordo com Barros Filho (2009) e Weber (2011).

Para a primeira etapa foi confeccionado um painel de dimensões 102 x 102 x 1,5 cm, e para a segunda etapa o tamanho do painel foi definido em 55 x 55 x 1,5 cm.

Dimensões: comprimento (C) x largura (L) x espessura (E) cm

Volume: C x L x E cm^3

Massa total dos painéis:

$$m_t = \delta * V \quad (1)$$

Em que:

m_t = massa total do painel (g)

δ = densidade do painel ($\text{g}.\text{cm}^{-3}$)

V = volume (cm^3)

As Tabelas 4 e 5 apresentam a composição do painel pronto para diferentes porcentagens de resina, para a primeira e segunda etapa respectivamente:

Tabela 4 – Composição dos painéis para primeira etapa do projeto.

| % partículas | % resina | % parafina | % umidade | % painel pronto |
|-----------------|-------------|---------------|--------------|--------------------|
| 100 | 12 | 1 | 12 | 125 |
| 100 | 16 | 1 | 12 | 129 |

Tabela 5 – Composição dos painéis para segunda etapa do projeto.

| % partículas | % resina | % parafina | % umidade | % painel pronto |
|-----------------|-------------|---------------|--------------|--------------------|
| 100 | 20 | 1 | 12 | 133 |

Massa das partículas secas no painel:

$$m_s = m_t * \frac{100}{\%_p} \quad (2)$$

Em que:

m_s = massa das partículas secas

m_t = massa total dos painéis acabados

$\%_p$ = percentual de partículas

Massa das partículas no painel com umidade:

$$m_u = m_s * U_m \quad (3)$$

Em que:

m_u = massa das partículas úmidas

m_s = massa das partículas secas

U_m = teor de umidade + 1,0 = 1,12

Massa de sólidos da resina:

$$m_{sr} = m_t * \frac{\%_r}{\%_p} \quad (4)$$

Em que:

m_{sr} = massa de sólidos da resina

m_t = massa total dos painéis acabados

$\%_r$ = percentual de resina

$\%_p$ = percentual de partículas

Massa de resina líquida:

$$m_{rl} = m_s * \frac{\%_r}{TS} \quad (5)$$

Em que:

m_{rl} = massa de resina líquida

m_s = massa das partículas secas

$\%_r$ = percentual de resina

TS = teor de sólidos contido na resina (%) (Resina UF = 66%)

Massa de sólidos na emulsão de parafina:

$$m_{sep} = m_t \times \frac{\%_{ep}}{100} \quad (6)$$

Em que:

m_{sep} = massa de sólidos da emulsão de parafina

m_t = massa total dos painéis acabados

$\%_{ep}$ = percentual de emulsão de parafina

A emulsão de parafina utilizada foi doada pela empresa ISOGAMA.

Massa de emulsão de parafina:

$$m_{ep} = m_{sep} \times \frac{100}{TSEP} \quad (7)$$

Em que:

m_{ep} = massa de emulsão de parafina

m_{sep} = massa de sólidos da emulsão de parafina

TSEP = teor de sólidos contidos na emulsão de parafina (51%)

A quantidade de emulsão de parafina estipulada para os painéis foi de 1%.

Massa de catalisador:

$$m_c = m_{sr} \times \frac{\%_c}{100} \quad (8)$$

Em que:

m_c = massa de catalisador sólido

m_{sr} = massa de sólidos da resina

$\%_c$ = porcentagem de catalisador

Massa de solução de catalisador:

$$m_{sc} = m_c \times \frac{100}{25} \quad (9)$$

Em que:

m_{sc} = massa de solução de catalisador

m_c = massa de catalisador sólido

A quantidade de catalisador, sulfato de amônia $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, utilizada foi de 3% sobre a quantidade de resina de UF na forma sólida. Para utilizar o catalisador é necessário uma diluição em água, logo considerou-se uma solução com concentração de 25%. (WEBER, 2011).

De acordo com os cálculos acima, determinou-se a composição dos painéis, conforme mostra a Tabela 6 e 7, para a primeira e segunda etapa do projeto, respectivamente.

Tabela 6 – Composição dos painéis com resina de UF.

| Resina UF | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------------------|-----------|------------------------------|----------|----------|-------------|----------|-----------------------|---|-------------------------|---|--|------------------------------|
| PAINEL | | | PARTÍCULAS | | | | | RESINA | IMPERMEABILIZANTE | CATALISADOR | | | |
| Tratamento | Volume (cm ³) | Massa (g) | Massa com 12% de umidade (g) | LODO (%) | Peso (g) | MADEIRA (%) | Peso (g) | Sólidos (g) na Resina | Quantidade de resina na forma líquida (g) | Sólidos (g) na Parafina | Quantidade de Parafina na forma líquida (g) | Sólidos (g) de (NH ₄) ₂ SO ₄ | Solução de Catalisador (25%) |
| T1 | 15606 | 10924 | 9788,08 | 0 | 0,00 | 100 | 9788,08 | 1048,72 | 1588,97 | 87,39 | 171,36 | 31,46 | 125,85 |
| T2 | 15606 | 10924 | 9788,08 | 5 | 489,40 | 95 | 9298,68 | 1048,72 | 1588,97 | 87,39 | 171,36 | 31,46 | 125,85 |
| T3 | 15606 | 10924 | 9788,08 | 10 | 978,81 | 90 | 8809,27 | 1048,72 | 1588,97 | 87,39 | 171,36 | 31,46 | 125,85 |
| T4 | 15606 | 10924 | 9788,08 | 20 | 1957,62 | 80 | 7830,47 | 1048,72 | 1588,97 | 87,39 | 171,36 | 31,46 | 125,85 |
| T5 | 15606 | 10924 | 9788,08 | 30 | 2936,42 | 70 | 6851,66 | 1048,72 | 1588,97 | 87,39 | 171,36 | 31,46 | 125,85 |
| T6 | 15606 | 10924 | 9484,58 | 0 | 0,00 | 100 | 9484,58 | 1354,94 | 2052,94 | 84,68 | 166,05 | 40,65 | 162,59 |
| T7 | 15606 | 10924 | 9484,58 | 5 | 474,23 | 95 | 9010,35 | 1354,94 | 2052,94 | 84,68 | 166,05 | 40,65 | 162,59 |
| T8 | 15606 | 10924 | 9484,58 | 10 | 948,46 | 90 | 8536,12 | 1354,94 | 2052,94 | 84,68 | 166,05 | 40,65 | 162,59 |
| T9 | 15606 | 10924 | 9484,58 | 20 | 1896,92 | 80 | 7587,66 | 1354,94 | 2052,94 | 84,68 | 166,05 | 40,65 | 162,59 |
| T10 | 15606 | 10924 | 9484,58 | 30 | 2845,37 | 70 | 6639,20 | 1354,94 | 2052,94 | 84,68 | 166,05 | 40,65 | 162,59 |
| T11 | 15606 | 10924 | 9199,33 | 0 | 0,00 | 100 | 9199,33 | 1642,74 | 2489,00 | 82,14 | 161,05 | 49,28 | 197,13 |
| T12 | 15606 | 10924 | 9199,33 | 5 | 459,97 | 95 | 8739,36 | 1642,74 | 2489,00 | 82,14 | 161,05 | 49,28 | 197,13 |
| T13 | 15606 | 10924 | 9199,33 | 10 | 919,93 | 90 | 8279,39 | 1642,74 | 2489,00 | 82,14 | 161,05 | 49,28 | 197,13 |
| T14 | 15606 | 10924 | 9199,33 | 20 | 1839,87 | 80 | 7359,46 | 1642,74 | 2489,00 | 82,14 | 161,05 | 49,28 | 197,13 |
| T15 | 15606 | 10924 | 9199,33 | 30 | 2759,80 | 70 | 6439,53 | 1642,74 | 2489,00 | 82,14 | 161,05 | 49,28 | 197,13 |

A Tabela 7 apresenta a composição dos painéis de madeira aglomerada. Os painéis, em todos os tratamentos, são compostos de 723,68 g de resina de UF na forma líquida, 57,32 g de catalisador de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em solução de 25% em água, 46,83 g de parafina na forma líquida e 2674,74 g de partículas (madeira e lodo) variando de acordo com a porcentagem de incorporação em cada tratamento.

Tabela 7 – Quantidade de materiais utilizados na confecção dos painéis na segunda etapa do projeto

| Tratamento | Painel | | Partículas | | | | |
|------------|---------------------------|-----------|------------------------------|----------|----------|-------------|----------|
| | Volume (cm ³) | Massa (g) | Massa com 12% de umidade (g) | LODO (%) | Peso (g) | MADEIRA (%) | Peso (g) |
| 1 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 2 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 3 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 4 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 5 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 6 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 7 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 8 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 9 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 10 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 11 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 12 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 13 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 14 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |
| 15 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 0 | 0,00 | 100 | 2674,74 |
| 16 | 4537,50 | 3176,25 | 2674,74 | 20 | 534,95 | 80 | 2139,79 |

4.4. PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

4.4.1. Confecção dos painéis referentes à primeira etapa do projeto

Após a pesagem da maravalha, resina, catalisador e emulsão de parafina nas quantidades calculadas segundo o delineamento experimental, a resina o catalisador e a

emulsão de parafina foram adicionadas na maravalha (com ou sem a adição do lodo) e misturadas manualmente.

O colchão de partículas foi formado manualmente, e para isso foi utilizado uma caixa de madeira nas dimensões de 102 x 102 cm, no qual a quantidade de partículas correspondente a um painel foram distribuídas uniformemente (Figura 19).

Figura 19 – Formação do colchão de partículas.



Após essa etapa foi realizada uma pré-prensagem das partículas para reduzir os espaços de ar, para evitar perda de material até o transporte para a prensa e também facilitar o fechamento da prensa (Figura 20).

Figura 20 – a) Pré-prensagem do painel. b) e c) colchão pronto para prensagem a quente.



Após a pré-prensagem o colchão de partículas foi prensado a quente, e para delimitar a espessura do painel o colchão de partículas foi montado sobre um molde de madeira nas mesmas dimensões do painel e com uma espessura de 15 mm.

Para a prensagem a quente foi utilizada uma prensa da marca SIRMA (Figura 21), que é de propriedade da empresa RG Esquadrias localizada na cidade de Londrina – PR, que colaborou com a permissão de uso do equipamento para a realização deste trabalho.

Figura 21 – Prensa a utilizada na confecção dos painéis.



Os painéis foram prensados a uma temperatura de 110°C e uma pressão de aproximadamente 150 kgf/cm², por um tempo de 20 min. Após a prensagem, os painéis foram mantidos a temperatura ambiente para atingirem a umidade de equilíbrio (Figura 22).

Figura 22 – Painéis após prensagem.



4.4.2. Confecção dos painéis referentes à segunda etapa do projeto

A pesagem dos materiais foi feita conforme mostra a Tabela 5, realizou-se a mistura

manualmente dos materiais (Figura 23) e em seguida foi formado um colchão de partículas com a mistura e pré-prensado (Figura 24). Para delimitar a espessura do painel, o colchão de partículas foi montado sobre um molde de metal nas mesmas dimensões do painel (55x55 cm) e com uma espessura de 15 mm. O colchão foi prensado a quente em prensa da marca INVICTA (Figura 25), com uma pressão de aproximadamente 50 kgf/cm^2 , nas respectivas temperaturas e tempo de prensagem mostrados na Tabela 2 para cada tratamento. Devido a algumas interferências foi necessário à utilização de uma prensa diferente, o equipamento de prensagem utilizado na segunda etapa pertence à empresa Madeireira Ibiporã, localizada na cidade de Ibiporã no Paraná.

Após a prensagem os painéis foram mantidos a temperatura ambiente para atingirem a cura (Figura 26).

Figura 23 – Mistura manual dos materiais



Figura 24 – Colchão de partículas e pré-prensagem do material



Figura 25 – Prensa utilizada na prensagem a quente com controle de temperatura



Figura 26 – Painéis após prensagem a quente e armazenamento



4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS

Após a etapa de produção, os painéis foram esquadrejados para a realização dos testes físicos e mecânicos, segundo a ABNT NBR 14810-3 (2006). A Tabela 8 mostra, em resumo, os testes realizados e as dimensões dos corpos de prova para cada ensaio.

Tabela 8 – Dimensões e quantidade de amostras dos corpos de prova para ensaio de avaliação dos painéis de madeira aglomerada.

| Avaliações físico-mecânicas | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Quantidade de amostras por painel | Quantidade de amostra por tratamento |
|-----------------------------|------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Densidade | 50 | 50 | 6 | 18 |
| Flexão estática | 250 | 50 | 6 | 18 |
| Teor de umidade | 50 | 50 | 6 | 18 |
| Inchamento | 25 | 25 | 6 | 18 |
| Absorção de água | 25 | 25 | 6 | 18 |

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 14810-3 (2006).

Foram retiradas 6 unidades por ensaio, dentro das dimensões exigidas pela norma ABNT NBR 14810-3 para cada ensaio. Como os tratamentos foram feitos em triplicata, foi utilizado um total de 12 amostras por ensaio, estando dentro do padrão exigido pela norma, de 10 unidades. As metodologias utilizadas para a realização das análises físicas e mecânicas dos painéis estão descritas de maneira abreviada no Anexo IX.

Além dos testes físicos e mecânicos descritos acima, também foram realizadas análises químicas com o objetivo de determinar a concentração de metais presentes nos painéis de madeira aglomerada, bem como a classificação do mesmo segundo os testes de

lixiviação e solubilização conforme ABNT NBR 10.004 (2004), análises estrutural de DRX e análise de superfície MEV e EDX. As metodologias utilizadas foram às mesmas descritas no item 4.2 que descreve as análises de caracterização do lodo e maravalha.

Para comparação dos resultados foram realizados a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias, teste Tukey, com 95% de confiança, sendo significativo um p-valor $< 0,05$. Isto foi feito para verificar as diferenças significativas das eficácias de remoção dos parâmetros avaliados, através do programa estatístico STATSOFT STATISTICA versão 8.0.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. RESULTADOS REFERENTES À PRIMEIRA ETAPA

5.1.1. Caracterização das matérias primas

5.1.1.1. *Análises físicas*

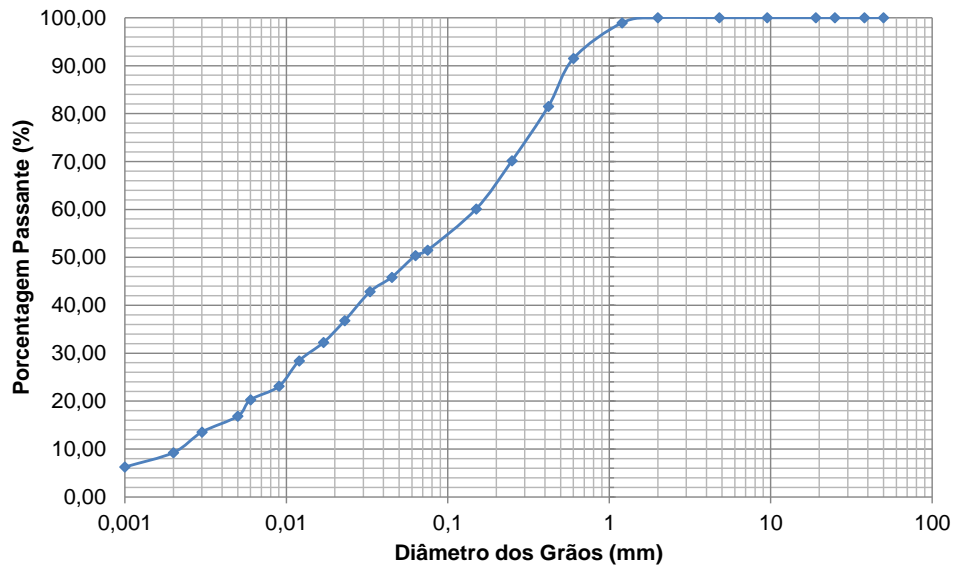
De acordo com a análise de umidade verificou-se que os resíduos de lodo de ETA e partículas de madeira apresentaram uma média de 9,03% e 8,88% em peso de água em sua composição, respectivamente.

Dados encontrados na literatura indicam uma umidade ótima de partícula entre 3 e 6% para a fabricação dos aglomerados de madeira, e afirmam que umidades elevadas podem causar danos nos painéis como a formação de bolhas e explosões nas chapas durante a prensagem (IWAKIRI, 2005). Porém Bertolini (2011) em seu estudo utilizou partículas de Pinus com uma umidade média de 8,6% e os painéis fabricados não apresentaram os defeitos expostos na literatura.

A secagem dos resíduos não foi realizada em estufa, logo os valores de umidade estão acima do ideal utilizado, porém, durante a fabricação dos painéis não notou-se defeitos aparentes como bolhas nos painéis devido a umidade.

A Figura 27 apresenta a curva granulométrica obtida para o lodo de ETA.

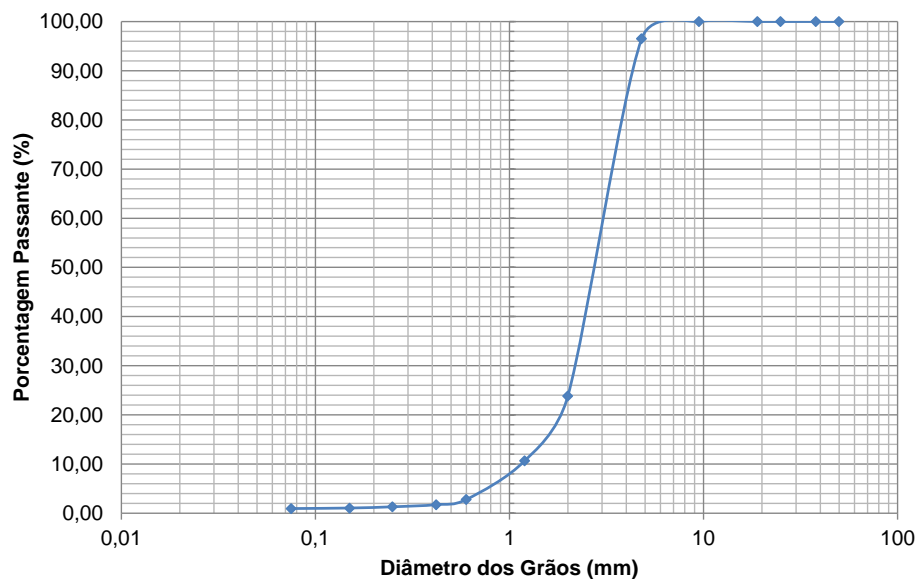
Figura 27 – Curva granulométrica para o lodo de ETA Maringá



Na análise granulométrica para o lodo de ETA (Figura 27), a distribuição do tamanho das partículas ficou na faixa de 0,001 a 1,2 mm, conforme mostra a Figura 27 que apresenta a curva granulométrica obtida para resíduos do lodo de ETA. Os resíduos apresentaram uma faixa ampla de distribuição do tamanho das partículas, pois neste trabalho optou-se por usar as partículas de lodo da forma que saíram do triturador.

A Figura 28 apresenta a curva granulométrica obtida para as partículas de madeira.

Figura 28 – Curva granulométrica para as partículas de madeira.



A Tabela 9 expõe a granulometria das partículas de madeira, expressa em peso e porcentagem de partículas acumuladas nas peneiras.

Tabela 9 – Granulometria das partículas de madeira em termos de peso e % massa retida.

| ABERTURA (mm) | Média da Massa retida (g) | % Massa Retida |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 50,00 | 0,00 | 0,00 |
| 38,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25,00 | 0,00 | 0,00 |
| 19,00 | 0,00 | 0,00 |
| 9,50 | 0,00 | 0,00 |
| 4,80 | 6,98 | 3,52 |
| 2,00 | 145,36 | 73,38 |
| 1,20 | 26,29 | 13,27 |
| 0,60 | 15,77 | 7,96 |
| 0,42 | 2,12 | 1,07 |
| 0,25 | 0,86 | 0,43 |
| 0,15 | 0,50 | 0,25 |
| 0,08 | 0,21 | 0,11 |

Na Figura 28 pode-se observar que a maior parte das partículas de madeira se encontram na faixa de 0,6 a 4,0 mm de diâmetro. Pode-se notar na Tabela 9 que 73,38% das partículas ficaram retidas na peneira com 2,00 mm de abertura. Segundo Silva et al. (2013), um fator importante que influencia diretamente nas propriedades finais dos painéis de madeira aglomerada é o tamanho de partículas utilizadas em sua confecção. Partículas grandes dificultam o processo de compactação do painel, e partículas pequenas possuem uma área superficial grande, com isso, necessitam de uma quantidade maior de resina.

De acordo com Peixoto e Brito (2000), deve ser observado que no Brasil não há muitos estudos sobre a melhor granulometria de partículas para a produção de painéis de madeira de *Pinus* spp, e que isto pode ser explicado pelo fato de que as fábricas utilizam madeira de *Pinus* spp em toras e não resíduos de madeira, e devido ao fato das tecnologias empregadas serem importadas. Logo pode-se afirmar que o estudo da utilização do resíduo de madeira é de grande importância para o meio ambiente, porém deve-se verificar qual granulometria do resíduo de madeira utilizado na fabricação dos painéis que confere uma melhor qualidade final.

Foi verificado também a massa específica para o lodo proveniente do tratamento da água, que apresentou um valor de $2,674 \text{ g.cm}^{-3}$, este valor está de acordo com os resultados

apresentados por Oliveira, Machado e Holanda (2004), que afirmam que esta ordem inclui o lodo na categoria de materiais argilosos

Diferente dos valores encontrados neste estudo e no estudo de Oliveira, Machado e Holanda (2004), Hoppen et al. (2005) encontraram um valor médio para a massa específica de $1,06 \pm 0,013 \text{ mg.m}^{-3}$ para o lodo *in natura*, coletado na ETA Passaúna, localizada na cidade de Curitiba, sendo que esta ETA utiliza sulfato de alumínio como coagulante químico. Com isso pode-se afirmar que os lodos de diferentes ETA podem apresentar características muito distintas, pois são vários os fatores que influenciam como, qualidade da água bruta tratada, tipo de coagulante utilizado, entre outros

5.1.1.2. Análises químicas

Foram realizadas as análises químicas de modo a avaliar as porcentagens de matéria orgânica (MO), resíduo mineral (RM)) e carbono orgânico (CO) nas amostras de lodo de ETA e partículas de madeira, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Média dos valores encontrados para as análises de MO, RM e CO.

| Material | MO (%) | RM (%) | CO (%) |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| Lodo de ETA | 20,31 | 79,69 | 11,28 |
| Maravalha | 99,71 | 0,29 | 55,4 |

Os valores encontrados na literatura, em relação ao lodo de ETA para esta análises variam muito. Variam de uma estação de tratamento para outra, devido principalmente ao local onde a água bruta é coletada para tratamento, e em uma mesma estação de tratamento pode variar dependendo da época do ano, do índice de chuva e também pode ocorrer algum despejo de resíduo no corpo d'água. Esta discrepância de valores pode ser avaliada nas referencias a seguir.

Botero et al. (2009) caracterizaram lodos de três estações de tratamento de água. Os lodos apresentaram uma porcentagem de matéria orgânica de 20,5%, 32,5% e 68,9%, para as ETAs de Jaboticabal – SP, Taquaritinga – SP e de Manaus – AM, respectivamente. Os valores encontrados são referentes à análise de matéria orgânica total obtida por calcinação. Os autores afirmam que os lodos apresentaram elevados teores de matéria orgânica, sendo que os maiores valores encontrados foram para a ETA Manaus-AM, e que isso se deve ao fato da elevada quantidade de matéria orgânica presente na água bruta captada, proveniente do Rio Negro – AM.

De acordo com Richter (2001) apud Portella et al. (2003), o lodo proveniente do tratamento de água com o uso do coagulante químico sulfato de alumínio, possui uma porcentagem de matéria orgânica entre 15 e 25%, porém Oliveira, Machado e Holanda (2004) encontraram porcentagens de matéria orgânica de 0,95% e carbono orgânico de 0,55%, do lodo proveniente da ETA de Campos de Goytacazes localizada no RJ, mostrando desta forma a grande diferença na porcentagem de MO encontrada nos lodos de ETA.

5.1.1.3. Análises de Superfície (MEV e EDX)

A fim de se realizar a caracterização morfológica e de composição química da superfície dos materiais, foram realizadas análises de MEV e EDX, e os resultados estão apresentados a seguir.

As Figuras 29 e 30 apresentam, respectivamente, as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), e o mapeamento por EDX, para o resíduo de lodo.

Figura 29 – Fotomicrografias obtidas por MEV do resíduo de lodo de ETA: a) 40 x b) 150 x c) 600x.

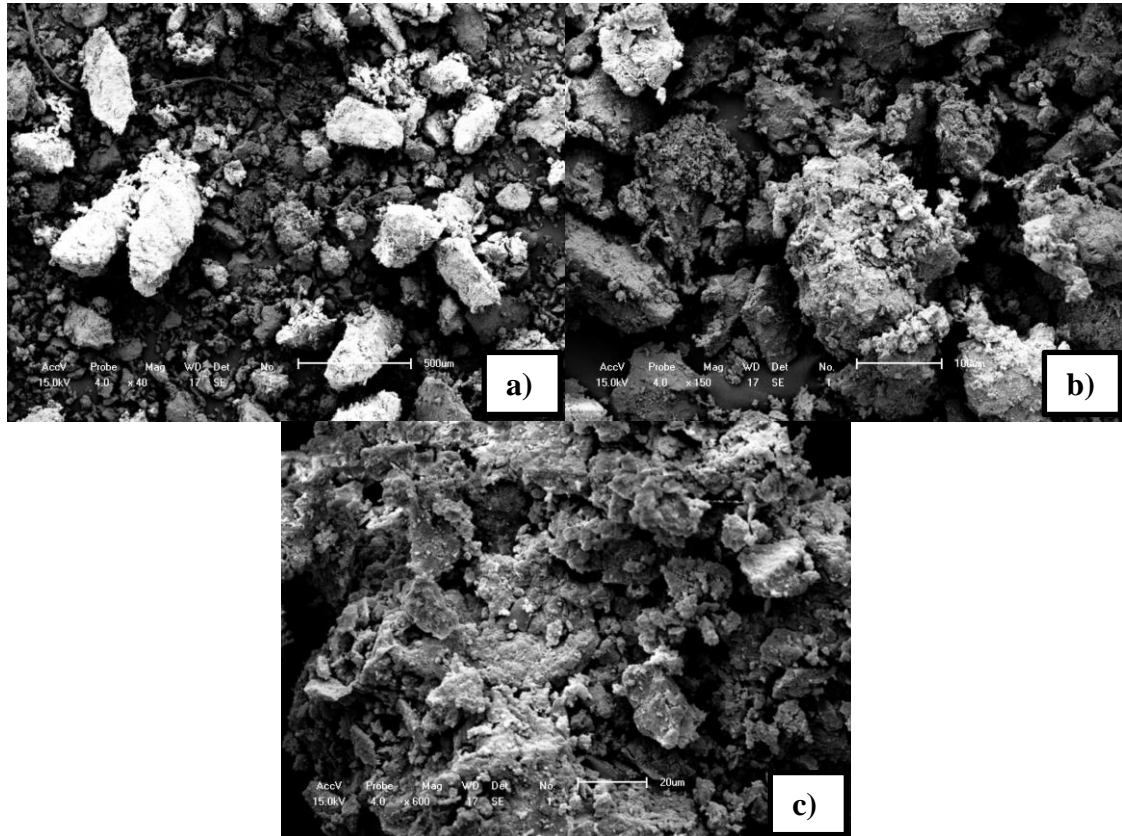
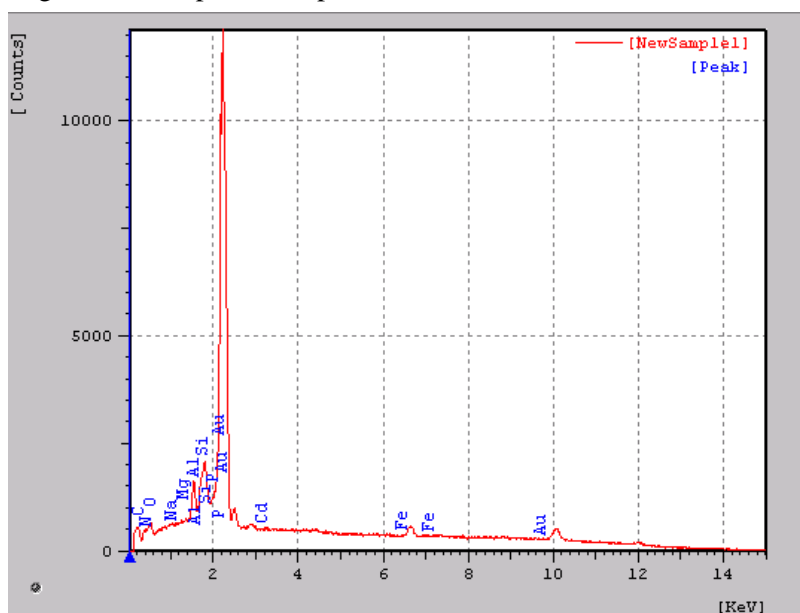


Figura 30 – Mapeamento por EDS do resíduo de lodo de ETA.



A micrografia da Figura 29 a) e b) apresentam o aspecto da morfologia da amostra do lodo de ETA, e a Figura 29 c) mostra a superfície de um grânulo do lodo de ETA. Nestas figuras verifica-se que o lodo possui uma grande distribuição de tamanho de partícula, assim como observado na análise granulométrica, não apresentando um formato e dimensão padronizada, ou seja, o resíduo de ETA apresenta um perfil irregular. O mapeamento por EDX do lodo de ETA, conforme mostra a Figura 30, indicou a presença de C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, Cd e Fe.

O alumínio e o ferro são provenientes dos produtos adicionados durante a etapa de coagulação/floculação no processo de tratamento da água bruta, de acordo com Yang et al (2010) compostos a base de alumínio, como o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio, são amplamente utilizados no tratamento da água, sendo que o Al é facilmente difundido em águas naturais podendo tornar-se tóxico. De acordo com Li et al. (2013) as características químicas encontradas no lodo de tratamento de água variam de acordo com a qualidade da água bruta e do tipo e quantidade de coagulante utilizado no tratamento.

Esta mesma característica, de perfil irregular e larga distribuição de tamanho de partículas foi também observado por Oliveira, Machado e Holanda (2004) porém, na análise química por EDS no material do estudo destes autores, foi encontrado os elementos Si, Al, Fe e Ti.

Segundo estudos realizados por Tartari et al. (2011) o lodo proveniente da ETA Tamanduá, apresentou em sua micrografia a estrutura formada por conglomerados de

partículas de distintos tamanhos, unidas por forças fracas, que originam partículas com distintos tamanhos sem dimensão, formato e perfil padronizado, e a composição obtida por EDS é majoritária de Al, Si, Fe e Ti, características estas semelhantes ao encontrado para o lodo ETA Maringá utilizado neste estudo.

A morfologia do lodo de ETA utilizado neste trabalho é semelhante ao encontrado na literatura, porém difere na composição química encontrada pela análise de EDS, esta diferença se deve principalmente ao tipo coagulante utilizado.

As Figuras 31 e 32 apresentam, respectivamente, as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), e o mapeamento por EDS, para o resíduo de maravalha.

Figura 31 – Fotomicrografias obtidas por MEV do resíduo de maravalha: a) 40 x b) 150 x c) 600x.

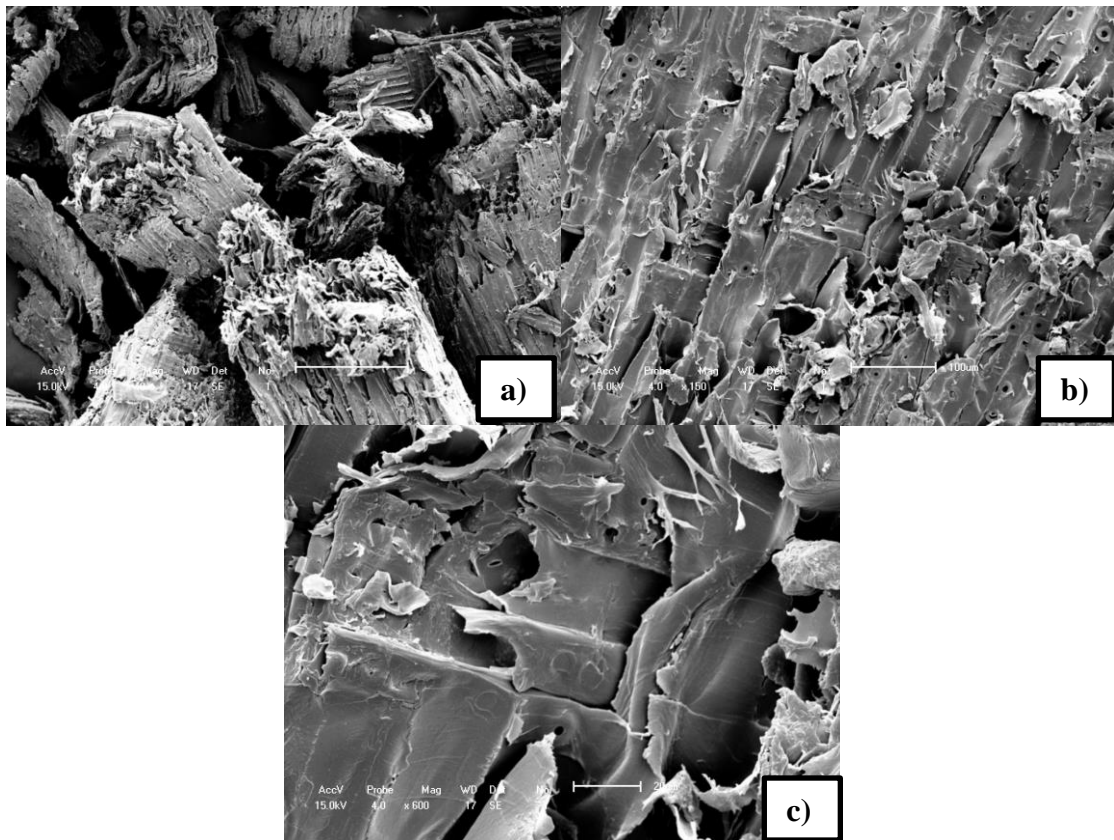
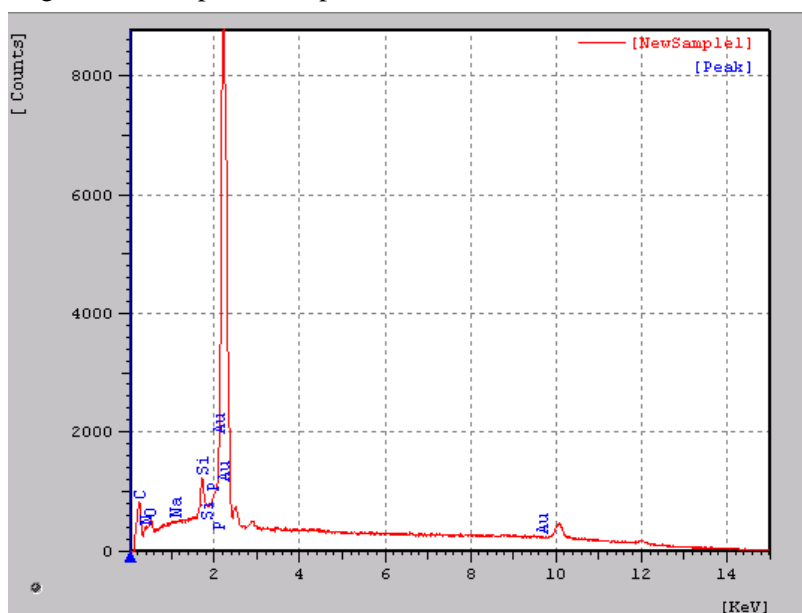


Figura 32 – Mapeamento por EDS do resíduo de maravalha.



A fotomicrografia da Figura 31 a) apresenta o aspecto da morfologia da amostra de maravalha, e as Figuras 31 b) e c) mostram a superfície de uma partícula de madeira. Através destas figuras verifica-se que a madeira não apresenta um formato e dimensão padronizada, ou seja, o resíduo de maravalha apresenta um perfil irregular. Também pode-se observar que as partículas apresentam algumas fibras rompidas, fato este que pode estar relacionado ao processamento da madeira.

O mapeamento por EDS do resíduo de madeira, conforme mostra a Figura 32, indicou a presença de C, N, O, Na, Si, P.

5.1.2. Análise nos painéis de madeira aglomerada

5.1.2.1. Análises Físicas

As médias dos resultados referentes às análises de densidade, teor de umidade, absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), após 2h e 24h, são apresentados na Tabela 11. Todos os resultados se encontram no Anexo VII.

Tabela 11 – Média das densidades e teores de umidade nos tratamentos.

| TRATAMENTO | | | PARAMETROS | | | | | |
|------------|--------|----------|---------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| TRAT. | % LODO | % RESINA | DENSIDADE (kg.m ⁻³) | TEOR DE UMIDADE (%) | % IE 2h | % IE 24h | % AA 2h | % AA 24h |
| 1 | 0 | 12 | 421,64 ^{bcd} | 14,35 ^{cd} | 8,50 ^{bcd} | 15,17 ^{bc} | 84,72 ^c | 113,49 ^d |
| 2 | 5 | 12 | 392,89 ^{bc} | 14,05 ^{cd} | 9,49 ^{cd} | 15,38 ^{bc} | 68,10 ^{abc} | 104,37 ^{cd} |
| 3 | 10 | 12 | 398,69 ^{bc} | 15,78 ^d | 6,85 ^{abc} | 12,30 ^{ab} | 56,90 ^a | 92,65 ^{bc} |
| 4 | 20 | 12 | 514,37 ^f | 11,39 ^a | 11,15 ^f | 17,42 ^c | 71,50 ^{abc} | 92,15 ^{bc} |
| 5 | 30 | 12 | 381,75 ^{ab} | 14,91 ^d | 7,39 ^{abcd} | 12,21 ^{ab} | 79,30 ^{bc} | 90,96 ^b |
| 6 | 0 | 16 | 334,05 ^a | 17,74 ^e | 4,43 ^a | 8,53 ^a | 58,90 ^{ab} | 82,85 ^{ab} |
| 7 | 5 | 16 | 455,11 ^{de} | 14,35 ^{cd} | 5,54 ^{ab} | 12,45 ^b | 63,36 ^{abc} | 76,47 ^a |
| 8 | 10 | 16 | 434,58 ^{cde} | 13,01 ^{bc} | 10,66 ^{df} | 15,66 ^{abc} | 70,88 ^{abc} | 91,88 ^{bc} |
| 9 | 20 | 16 | 484,12 ^{ef} | 12,50 ^{ab} | 4,48 ^a | 10,82 ^a | 51,22 ^a | 71,92 ^a |
| 10 | 30 | 16 | 520,15 ^f | 12,28 ^{ab} | 7,02 ^{abcd} | 9,75 ^a | 57,83 ^a | 76,76 ^a |

(1) Dentro de uma mesma coluna, as médias seguidas por mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de nível de significância.

De acordo com a Tabela 11 pode-se observar que os valores de densidade ficaram abaixo do valor pré-estabelecido neste estudo de 0,7 g.cm⁻³, ou seja 700 kg.m⁻³. O menor valor médio encontrado para a densidade foi de 334,05 kg.m⁻³ para o tratamento 6, que utilizou 100% de Pinus e 16% de resina. O maior valor médio encontrado foi de 520,15 kg.m⁻³ para o tratamento 10, que utilizou 30% de lodo de ETA e 70% de Pinus com 16% de resina.

A norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2006) classifica uma chapa de madeira aglomerada que apresenta o valor de densidade variando de 551 kg.m⁻³ a 750 kg.m⁻³ como sendo de média densidade. A média dos resultados apresentados na Tabela 11 não se enquadram nos valores estabelecidos pela norma sendo, então, classificadas como sendo de baixa densidade. Observando que quanto maior a porcentagem de resina, uma maior quantidade de lodo é possível ser adicionada na chapa.

De acordo com os resultados, os melhores tratamentos para o parâmetro densidade foram 4, 9 e 10 que não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey, a um nível de 5% de significância.

Após a retirada do painel da prensa quente e acondicionamento, ocorreu um aumento da espessura do painel, com consequente aumento do volume e redução da densidade inicial desejada, diminuindo assim a densidade final do painel, o que pode ser devido ao fato de que a distribuição da resina não ocorreu de forma homogênea, enfraquecendo a ligação entre as partículas, já que a mistura dos materiais foi realizada manualmente. Tendência semelhante de

redução da densidade pré determinada foi observada por Bertolini et al. (2014) em seu estudo com rejeitos de *Pinus* sp tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa, onde obteve uma densidade entre 0,76 e 0,88 g cm⁻³, valores estes menores que a densidade predeterminada na produção de 0,91 g cm⁻³. Segundo os autores os fatores que influenciaram a não atingirem o valor predeterminado de densidade foram à quantidade de resina utilizada e a utilização de madeira de *Pinus* tratada com preservante CCA.

O mesmo foi observado por Brito et al. (2005) que utilizaram partículas de *Pinus* e casca de *Eucalyptus*, com adição de resina de UF, densidade nominal de 0,7 g.cm⁻³, espessura de 1,27 cm, temperatura da prensa de 140°C, pressão de 30 kgf.cm⁻² e tempo de fechamento da prensa de 30 segundos. Os tratamentos com apenas partículas de *Pinus* e 6% de adesivo resultou em uma densidade média de 0,62 g.cm⁻³, e com 8% de resina obteve uma densidade média de 0,59 g.cm⁻³. Os autores afirmam que os tratamentos não diferenciam significativamente, segundo o teste de Tukey ao nível de 95% de significância, porém pode ter ocorrido algum erro na confecção dos painéis de madeira aglomerada já que as chapas não obtiveram a densidade pré-determinada de 0,7 g.cm⁻³.

Brito et al. (2006) estudaram a incorporação de fibra de coco em painéis de madeira aglomerada, utilizando madeira de *Pinus*. Em relação à densidade das chapas, foram obtidos valores médios que variaram em relação ao valor pré-estabelecido (0,70 g.cm⁻³), ficando abaixo do estabelecido, devido à dificuldade de homogeneização das fibras de coco com as partículas de madeira. O menor valor da densidade encontrado foi de 0,58 g.cm⁻³, para o tratamento com 20% de fibra de coco, 80% de partículas de *Pinus* e 6% de resina.

Em relação ao teor de umidade, a ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece que não deve ser menor que 5% nem maior que 11%. Os valores de umidade obtidos para as chapas, conforme observado na Tabela 11, variaram muito, sendo o menor valor de 11,39%, para o tratamento 4, e o maior de 17,74%, para o tratamento 6. Nenhum dos tratamentos ficou dentro do estabelecido pela norma brasileira, no entanto em comparação com a norma europeia EN 312 (2003) os tratamentos 4, 9 e 10 ficam na faixa de umidade estipulada pela norma que estabelece um valor entre 5 e 13% para os painéis de madeira aglomerada.

Este acontecimento pode ser explicado pelo fato de que não foi possível deixar as chapas em uma câmara climatizada, com controle de umidade e temperatura, para a devida estabilização após a sua fabricação. Avaliando os tratamentos, os menores resultados de umidade foram encontrados nos tratamentos 4, 9 e 10 que são as mesmas amostras que

apresentam menor valor para o parâmetro densidade, indicando que quanto maior a densidade do painel menor o teor de umidade.

Pode-se observar na Tabela 11 que a menor porcentagem média em inchamento em espessura para 2h e 24h foi para o tratamento 6, sendo a porcentagem encontrada de 4,43% após 2h e 8,53% após 24h, e o maior valor médio foi de 11,15% após 2h e 17,42% após 24h para o tratamento 4. A ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece um inchamento em espessura máximo de 8% após 2 horas. Comparando o limite estabelecido pela norma com os valores obtidos neste estudo, pode-se observar que os tratamentos que se enquadram no limite são 3, 5, 6, 7, 9 e 10, os quais não se diferiram estatisticamente. Esses tratamentos também se enquadram no limite estabelecido pela norma europeia EN 312 (2003) de 15% de IE após 24h, para um aglomerado tipo 4 de uso geral em condições secas.

Em relação às porcentagens médias obtidas para a absorção de água (AA), pode-se observar na Tabela 11 que o tratamento que obteve uma menor AA foi o tratamento 9, com 51,22% após 2h e 71,92% após 24h, e o que apresentou a maior porcentagem de AA foi o tratamento 1, com 82,43% após 2h e 113,49% após 24h. Porém o tratamento 9 não diferiu estatisticamente do tratamento 10 para a % AA após 2h. A norma técnica brasileira ABNT NBR 14810-2 (2006) não estabelece um valor limite para este parâmetro.

Os valores obtidos neste estudo em relação as análises de IE e AA foram significativamente menores quando comparados a alguns valores encontrados na literatura para painéis com diferentes tipos de resíduos incorporados. Brito et al. (2006), em relação à análise de inchamento em espessura (IE), considerando o tratamento sem a incorporação de fibra de coco e com 6% de adesivo conseguiram um valor médio superior aos demais tratamentos, de 49% após 2 horas e 57% após 24 horas. O menor valor absoluto de IE 2 horas e 24 horas foi de 14% de inchamento para 2h e 17% para 24h, obtido pelo tratamento com 80% de partículas de *Pinus elliottii*, 20% de fibra de *Cocus nucifera* e 8% de adesivo. Em relação a AA após 2h, obtiveram valores variando entre 87% e 111%, sendo o menor valor para o tratamento com 100% de partículas de *Pinus* e 8% de resina, e o maior para o tratamento com 100% de partículas de *Pinus* e 6% de resina. Para a AA após 24h os valores ficaram entre 96% e 125%, sendo o menor valor para os tratamentos com 10% de fibra de coco e 90% de *Pinus* com 8% de resina, e para o tratamento com 30% de fibra de coco e 70% de *Pinus* com 6% de resina, já o maior valor foi para o tratamento com 100% de *Pinus* e 6% de resina.

Lima et al. (2006) estudaram a incorporação de fibras de babaçu em painéis de madeira aglomerada com madeira de Pinus. Os autores afirmam que o melhor valor encontrado para a análise de IE foi para o tratamento que utilizou 30% de fibras de babaçu e 8% de resina. Os valores encontrados após 2h e 24 h foram de 32,10% e 37,86%, respectivamente, em IE. Em relação a análise de AA o melhor tratamento foi com 10% de fibras de babaçu e 8% de resina, os valores de AA após 2 e 24 h foram de 77,42% e 86,58% respectivamente.

Colli et al. (2010) observaram que os valores médios de inchamento em espessura das chapas, após 2 e 24 h de imersão em água, foram iguais a 10,2% e 11,79%, respectivamente. Foi verificado que os painéis produzidos com 8% de adesivo foram mais estáveis do que aquelas com 6%. Em relação à análise de AA, os autores observaram que a composição das partículas não afetou significativamente a absorção de água, após 2 ou 24 h de imersão. A absorção de água média encontrada foi igual a 194% e 220% após 2 e 24 h de imersão em água, respectivamente, sendo que houve elevada absorção de água em curto período de imersão. No entanto, a absorção de água foi afetada pelo teor de adesivo. As chapas fabricadas com 8% de adesivo absorveram significativamente menos água do que aquelas fabricadas com 6%.

A partir dos resultados obtidos nesta etapa foi realizado outro planejamento experimental na tentativa de melhorar a qualidade do painel fabricado e os resultados estão apresentados no item 5.2.

5.2. RESULTADOS REFERENTES À SEGUNDA ETAPA

5.2.1. Caracterização das matérias primas

5.2.1.1. *Análises Físicas*

A seguir são apresentados os resultados de pH, teor de umidade e granulometria do lodo ETA Apucarana e partículas de madeira.

Para a amostra de lodo foi encontrado um valor de pH de 6,4 e para as partículas de madeira de 4,7. Este parâmetro tem grande influência na qualidade final do painel fabricado. Segundo Nemli et al. (2006), as taxas de cura de resinas à base de formaldeído são dependentes do pH, se o pH for baixo pode ocorrer a pré-cura da resina. Quando acontece a

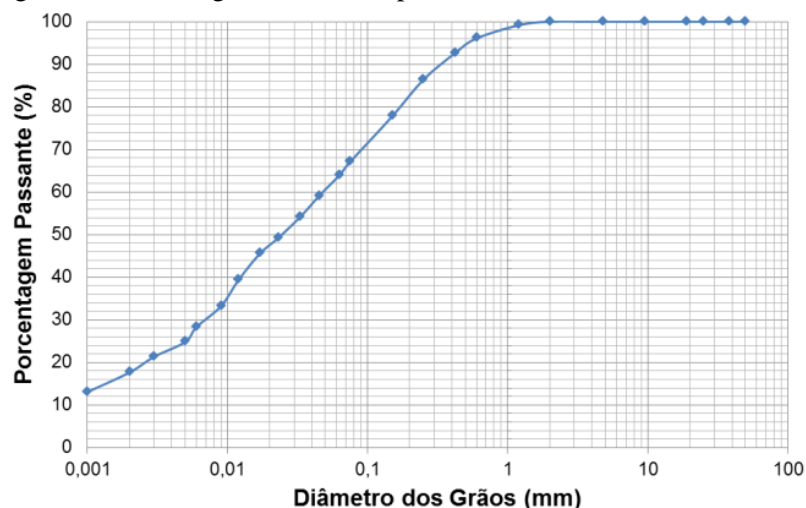
pré-cura de uma resina as camadas da placa são fracas, pois a resina cura antes da compressão das partículas e por isso, quando a prensa fecha as ligações da resina são quebradas.

Nair e Ahammed (2013) caracterizaram o lodo proveniente da Estação de Tratamento de Água Katargam, na Índia, que trata a água do Rio Tapi, e utilizam como coagulante o PAC. Este resíduo apresentou um valor de pH igual ao encontrado neste estudo de 6,4. Nair e Ahammed (2015) caracterizaram o lodo coletado na mesma ETA do trabalho desenvolvido em 2013, o valor de pH encontrado foi de 6,3, não diferindo muito do valor encontrado anteriormente. Os valores de pH encontrado na literatura para o lodo de ETA é similar ao encontrado no lodo de ETA utilizado neste estudo.

Em relação à análise de teor de umidade o lodo obteve um valor de 9% e as partículas de madeira de 11% de umidade. Os valores encontrados foram relativamente alto, pois não foi possível a secagem das partículas em estufa. Este parâmetro pode influenciar no processo de fabricação dos painéis, pois se a umidade das partículas for muito alta pode ocorrer à formação de bolhas durante o processo de prensagem a quente, porém neste trabalho, mesmo com a umidade não estando dentro do ideal de aproximadamente entre 3% e 6%, não foi observado esse comportamento nas placas.

A Figura 33 mostra a curva granulométrica encontrada para o resíduo de ETA, onde pode-se observar que a faixa de distribuição das partículas está entre 0,001 mm e 1,2 mm.

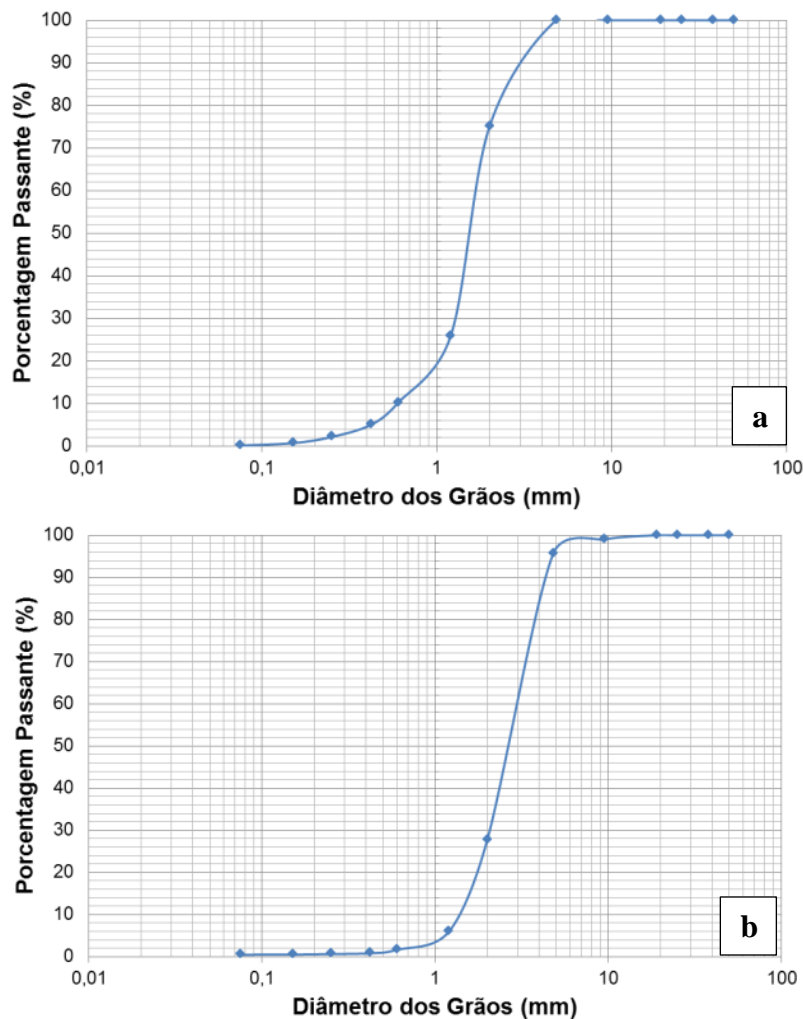
Figura 33 – Curva granulométrica para o lodo de ETA.



Nesta etapa do estudo foram utilizados dois tamanhos de partículas A e B para

avaliar se a granulometria teria grande influência na qualidade dos painéis. Os resultados referentes ao teste de granulometria para as partículas de madeira se encontram na Figura 34. Pode-se observar para as Partículas A (Figura 34a) que o diâmetro das partículas de madeira ficam na faixa entre 0,08 mm e 2,0 mm, sendo que a maior parte ficou retida na peneira de 16 mesh, ou seja 1,2 mm, já para as Partículas B (Figura 34b) ficam entre 0,42 mm e 9,5 mm, e a maior parte ficou retida na peneira de 10 mesh, ou seja 2 mm.

Figura 34 – Curva granulométrica para as partículas de madeira a) Partículas A b) Partículas B.



Zheng et al. (2006) estudaram os efeitos do tamanho das partículas nas propriedades dos aglomerados de madeira, avaliando as propriedades mecânicas e físicas de placas confeccionadas com partículas de 10-20 mesh, 20-40 mesh e 40-60 mesh. Concluíram que os painéis fabricados com partículas entre 20-40 mesh apresentaram as melhores propriedades físicas e mecânicas, pois, provavelmente as partículas tiveram uma melhor cobertura pela

resina, já os painéis com partículas entre 40-60 mesh apresentaram os piores resultados mecânicos, isso devido ao fato da grande área superficial, sendo necessário portanto uma quantidade de resina maior. Em relação ao painel que utilizou um tamanho de partícula entre 10-20 as partículas eram muito grande resultando em ligações fracas entre as partículas.

Comparando o tamanho das partículas de madeira usadas neste trabalho com os resultados obtidos por Zheng et al. (2006), pode-se dizer que as partículas utilizadas ainda podem estar muito grandes podendo então ter resultado em ligações fracas entre as partículas, influenciando na qualidade final do painel obtido.

5.2.1.2. Análises Químicas

A Tabela 12 mostra os resultados da análise de metais realizada nas partículas de lodo e madeira.

Tabela 12 – Análise de metais das partículas de lodo de ETA e madeira.

| Elemento | Concentração (mg kg ⁻¹) | |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|
| | Lodo ETA Apucarana | Partículas de madeira |
| Al | 56220,07 | 532,85 |
| K | 956,67 | 714,31 |
| Ca | 3343,24 | 2622,63 |
| Cr | 142,90 | 6,16 |
| Mn | 1917,96 | 133,10 |
| Fe | 128644,59 | 2476,70 |
| Cu | 328,77 | 32,89 |
| Zn | 141,97 | 46,03 |
| Se | 2,65 | n.d. |
| Br | 13,21 | 0,65 |
| Sr | 27,05 | 8,33 |
| Ag | n.d. | n.d. |

*nd – não detectado pelo equipamento.

Pode-se observar uma elevada concentração de Al e Fe no lodo de ETA, sendo esses metais provenientes do coagulante químico, policloreto de alumínio (PAC), utilizado durante o processo de tratamento da água bruta. Em relação à análise de metais nas partículas de madeira, Ca e Fe tiveram a maior concentração.

O lodo de ETA utilizado por Nair e Ahammed (2013) e Nair e Ahammed (2015) em seus estudos também apresentaram em sua composição uma elevada concentração

principalmente dos elementos Al e Fe, isso provavelmente se deve ao fato de ter sido utilizado o coagulante PAC durante o processo de tratamento da água bruta.

O extrato lixiviado do lodo de ETA e partículas de madeira foram analisados frente a alguns parâmetros, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Concentração de metais do extrato lixiviado do lodo de ETA e partículas de madeira.

| PARÂMETROS | MATÉRIA PRIMA (mg/L) | | LIMITE NBR 10004 (mg/L) ANEXO F |
|------------------|----------------------|---------|------------------------------------|
| | LODO | MADEIRA | |
| Alumínio (Al) | 0,967 | 0,675 | - |
| Arsênio (As) | 0,615 | 0,585 | 1 |
| Bário (Ba) | n.d. | n.d. | 70 |
| Cádmio (Cd) | n.d. | n.d. | 0,5 |
| Chumbo (Pb) | n.d. | n.d. | 1 |
| Cromo Total (Cr) | 0,005 | 0,004 | 5 |
| Mercúrio (Hg) | n.d. | n.d. | 0,1 |
| Prata (Ag) | 0,008 | 0,004 | 5 |
| Selênio (Se) | 0,451 | 0,463 | 1 |

*nd – não detectado pelo equipamento.

Os resultados obtidos pela análise do extrato lixiviado do lodo de ETA e partícula de madeira estudados, encontram-se de acordo com a respectiva Norma Técnica, não excedendo os limites máximos estabelecidos, indicando que estas amostras não representam um resíduo com características de periculosidade (resíduo Classe I). Logo ambos, lodo de ETA e partículas de madeira, são classificados como resíduos Classe II.

A Tabela 14 mostra os resultados referentes à análise de metais do extrato solubilizado do lodo de ETA e partículas de madeira.

Tabela 14 – Concentração de metais do extrato solubilizado do lodo de ETA e partículas de madeira.

| PARÂMETROS | MATÉRIA PRIMA (mg/L) | | LIMITE (mg/L) NBR |
|------------------|----------------------|---------|-------------------|
| | LODO | MADEIRA | 10004 ANEXO G |
| Alumínio (Al) | 0,410 | 0,535 | 0,2 |
| Arsênio (As) | 0,405 | 0,405 | 0,01 |
| Bário (Ba) | n.d. | n.d. | 0,7 |
| Cádmio (Cd) | n.d. | n.d. | 0,005 |
| Chumbo (Pb) | n.d. | n.d. | 0,001 |
| Cobre (Cu) | n.d. | 0,080 | 2 |
| Cromo Total (Cr) | 0,017 | 0,021 | 0,05 |
| Ferro(Fe) | 0,039 | n.d. | 0,3 |
| Manganês (Mn) | 3,744 | 1,345 | 0,1 |
| Mercúrio (Hg) | n.d. | n.d. | 0,001 |
| Prata (Ag) | n.d. | n.d. | 0,05 |
| Selênio (Se) | 0,292 | 0,162 | 0,01 |
| Sódio (Na) | 7,417 | 1,523 | 200 |
| Zinco (Zn) | n.d. | 0,340 | 5 |

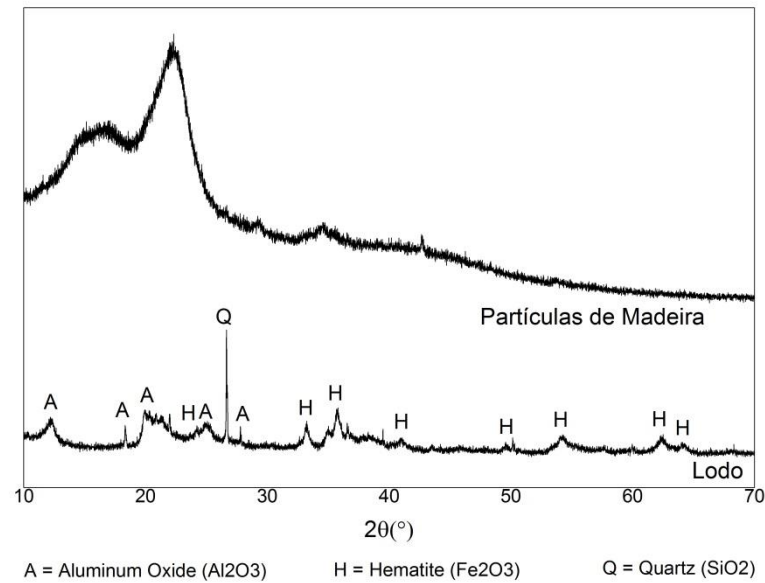
*nd – não detectado pelo equipamento.

A análise do extrato obtido pela execução dos ensaios de solubilização indica solubilização dos elementos Al, As, Mn e Se acima do limite máximo estabelecido pela ABNT NBR 10004 (2004) no Anexo G, tanto no lodo de ETA quanto nas partículas de madeira. Logo, ambos são classificados, segundo a norma técnica, como um resíduo Classe IIA, Não perigoso - Não Inerte. Os demais parâmetros quantificados no ensaio de solubilização se encontram dentro dos limites estabelecidos, não excedendo as concentrações máximas para o extrato solubilizado, estabelecidas para este ensaio. Silva et al. (2012) e Medeiros et al. (2014) também classificam o lodo proveniente do tratamento da água bruta como sendo Classe IIA.

5.2.1.3. *Análise Estrutural*

A Figura 35 apresenta os resultados referentes à análise de DRX para as amostras de lodo de ETA, proveniente da SANEPAR de Apucarana, e para as partículas de madeira utilizadas na confecção dos painéis de madeira aglomerada.

Figura 35 – Análise de DRX para o lodo de ETA e partículas de madeira



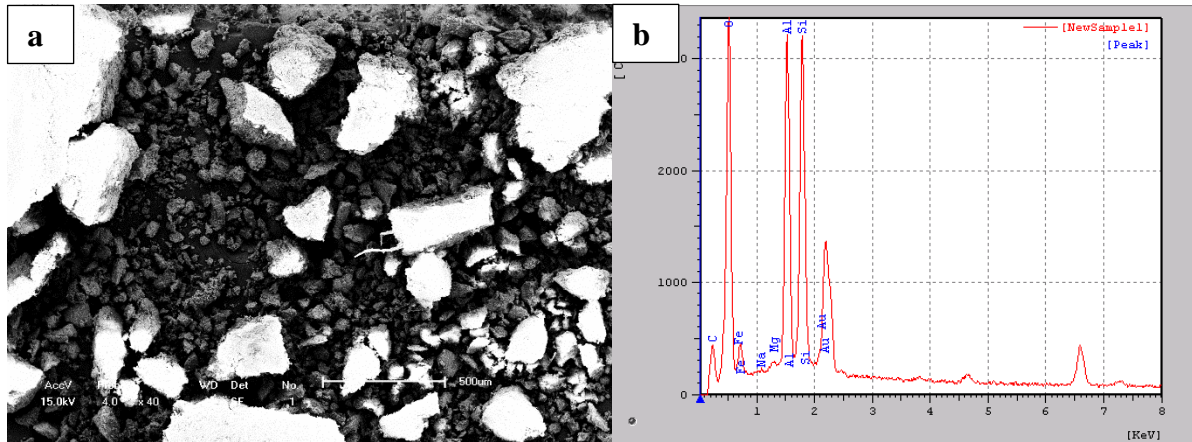
O resultado encontrado para a análise de DRX mostra que o lodo de ETA de Apucarana apresenta fases cristalinas de Al₂O₃, SiO₂ e Fe₂O₃ na forma hematita em sua composição, confirmando assim a presença da grande concentração de Al e Fe encontrado na análise de metais pesado. As partículas de madeira de Pinus apresentaram uma estrutura amorfa.

Suksiripattanapong et al. (2015) afirmaram através da análise de DRX que o lodo de ETA é composto principalmente pelas fases cristalinas de Al₂O₃ e SiO₂, possuindo características semelhante ao lodo utilizado neste trabalho.

5.2.1.4. Análise de superfície

A Figura 36 apresenta a fotomicrografia e o mapeamento dos elementos por EDX para o lodo de ETA Apucarana.

Figura 36 – Lodo da ETA de Apucarana a) MEV com magnitude de 40X, b) EDX



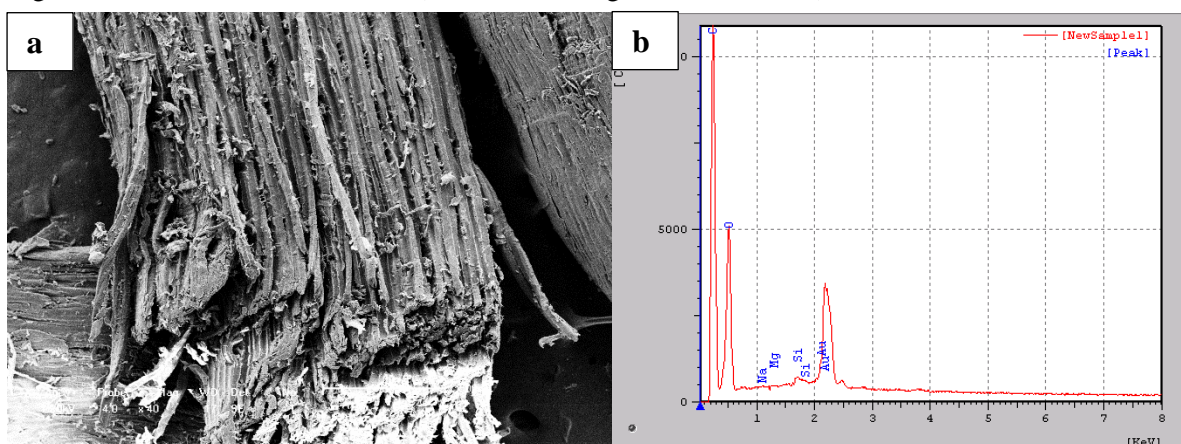
A Figura 36a mostra a fotomicrografia do lodo de ETA de Apucarana, em uma magnitude de 40X, apresentando uma grande variedade no tamanho das partículas, o que está de acordo com os resultados obtidos na análise granulométrica, e formato irregular. O EDX, Figura 36b, mostra que o lodo apresenta C, O, Fe Na, Mg, Al e Si em sua composição. Os metais encontrados corroboram os resultados de DRX, onde encontra-se estes metais na forma de óxidos. Suksiripattanapong et al. (2015) estudaram o lodo proveniente da estação de tratamento Bang Khen, Índia, e também encontraram partículas com formato irregular.

Comparando a composição dos elementos por EDX em relação aos lodos coletados na ETA de Maringá e Apucarana, os resíduos apresentam uma composição muito semelhante, todos os elementos encontrados no lodo de Apucarana também aparecem na composição do lodo de Maringá, porém, o lodo de Maringá apresenta alguns elementos a mais na sua composição que são o N, P e Cd, segundo resultados obtidos na análise do resíduo por EDX.

Esta diferença de alguns elementos na composição dos lodos se deve principalmente a qualidade da água bruta coletada, já que a água bruta captada para tratamento é proveniente de rios diferentes. Também pode ter ocorrido influência do clima ou de algum despejo no leito do rio.

A Figura 37 apresenta a fotomicrografia e o mapeamento dos elementos por EDX para as partículas de madeira.

Figura 37 – Partículas de madeira a) MEV com magnitude de 40X, b) EDX



A fotomicrografia da partícula de madeira, em uma magnitude de 40X, apresentada na Figura 37a, mostra as fibras da partícula de madeira de Pinus e sua irregularidade na ponta devido à trituração. O EDX das partículas de madeira (Figura 37b) mostra em sua composição os elementos C, O, Na, Mg e Si, apresentando características muito semelhantes as partículas utilizadas na primeira etapa, onde a única diferença encontrada foi na análise de EDX, as partículas da primeira etapa apresentaram na composição N e P, não aparecendo na composição das partículas da segunda etapa, enquanto que na segunda etapa apresentou Mg na composição não aparecendo na primeira etapa. Isso pode ser explicado devido ao fato da análise de EDX ser realizada em uma área muito pontual da amostra.

Os elementos encontrados na composição da madeira estão de acordo com Klock (2000), que afirma que alguns constituintes minerais são encontrados na madeira, eles são retirados do solo e são necessários para o crescimento das plantas, os principais constituintes minerais encontrados são Ca e K, também podendo ser encontrado Mg, Mn, Na, P, Cl e Si.

5.2.2. Análise nos painéis de madeira aglomerada

5.2.2.1. Análise física

As médias dos resultados referentes às análises de densidade, teor de umidade, absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), após 2h e 24h, são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultado das análises físicas do painel de madeira aglomerada

| Trat. | Densidade (kg/m ³) | Teor de umidade (%) | IE (%) após 2 horas | IE (%) após 24 horas | AA (%) após 2 horas | AA (%) após 24 horas |
|-------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1 | 382,59 ^f | 16,71 ^{e,f} | 8,82 ^{c,d,e} | 10,96 ^{c,d,e} | 72,19 ^{e,f} | 85,61 ^{f,g} |
| 2 | 387,94 ^{e,f} | 15,75 ^{d,e} | 6,74 ^{b,c,d,f} | 10,31 ^{b,c,d} | 78,56 ^{e,f} | 82,66 ^{e,f} |
| 3 | 382,46 ^f | 13,43 ^{a,b,c} | 13,69 ^{f,g} | 17,47 ^f | 87,78 ^f | 98,40 ^{g,h} |
| 4 | 388,90 ^{e,f} | 14,40 ^{a,b,c,d} | 9,89 ^{d,e} | 14,26 ^{d,e,f} | 75,17 ^{e,f} | 83,91 ^{e,f} |
| 5 | 379,62 ^f | 14,70 ^{b,c,d,e} | 4,19 ^{a,b} | 7,63 ^{a,b} | 51,15 ^{b,c} | 83,87 ^{e,f} |
| 6 | 506,81 ^a | 13,53 ^{a,b,c} | 3,14 ^a | 6,04 ^{a,b} | 42,04 ^b | 60,26 ^{a,b} |
| 7 | 433,67 ^{c,d} | 15,54 ^{c,d,e} | 3,77 ^{a,b} | 6,72 ^{a,b} | 24,32 ^a | 54,76 ^a |
| 8 | 497,93 ^{a,b} | 15,31 ^{c,d,e} | 4,70 ^{a,b,c} | 6,44 ^{a,b} | 42,58 ^b | 59,80 ^{a,b} |
| 9 | 362,70 ^f | 18,51 ^f | 12,33 ^{e,f} | 25,73 ^g | 54,34 ^{b,c} | 97,33 ^g |
| 10 | 503,00 ^{a,b} | 18,66 ^f | 4,99 ^{a,b,c} | 8,25 ^{a,b} | 53,61 ^{b,c,d} | 68,23 ^{b,c,d} |
| 11 | 451,09 ^c | 15,54 ^{c,d,e} | 14,66 ^g | 23,41 ^g | 70,41 ^{e,f} | 106,20 ^h |
| 12 | 461,02 ^{b,c} | 15,56 ^{c,d,e} | 5,04 ^{a,b,c} | 8,22 ^{a,b} | 67,04 ^{c,d,e} | 75,41 ^{c,d,e} |
| 13 | 395,65 ^{d,e,f} | 15,17 ^{c,d,e} | 4,85 ^{a,b,c} | 6,36 ^{a,b} | 67,82 ^{c,d,e} | 75,99 ^{c,d,e} |
| 14 | 438,25 ^{c,d} | 13,92 ^{a,b,c,d} | 4,49 ^{a,b} | 4,39 ^a | 70,26 ^{d,e,f} | 65,67 ^{a,b,c,d} |
| 15 | 426,18 ^{c,d,e} | 12,99 ^{a,b} | 11,85 ^{e,f} | 16,90 ^{e,f} | 52,39 ^{b,c} | 76,91 ^{d,e,f} |
| 16 | 511,21 ^a | 12,50 ^a | 7,56 ^{b,c,d} | 8,54 ^{a,b,c} | 52,92 ^{b,c} | 64,87 ^{a,b,c} |

(1) Dentro de uma mesma coluna, as médias seguidas por mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de nível de significância.

De acordo com a Tabela 15 pode-se observar que os valores de densidade ficaram abaixo do valor estabelecido pela ABNT NBR 14810-2 (2006) para classificar uma chapa de madeira aglomerada como sendo de densidade média, em que este valor de densidade varia entre 551 kg.m⁻³ a 750 kg.m⁻³, tendo em vista o maior valor médio encontrado, ou seja o que mais se aproximou do esperado, foi de 511,21 kg.m⁻³ para o tratamento 16, não sendo diferente estatisticamente do tratamento 6.

Também pode-se observar que em todos os tratamentos realizados, aqueles que tiveram a incorporação de 20% de lodo de ETA apresentaram um valor de densidade maior em comparação com os painéis sem resíduo sob as mesmas condições de confecção, como tempo e temperatura de prensagem.

Em relação do teor de umidade, a ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece que o teor não deve ser menor que 5% nem maior que 11%. Os valores de umidade obtidos para as chapas, conforme apresentado na Tabela 15, variaram muito, sendo o menor valor de 12,50% para o tratamento 16 e o maior de 18,66% para o tratamento 10, sendo que dessa forma

nenhum dos tratamentos ficou dentro do estabelecido pela norma brasileira, no entanto, quando comparado com a norma europeia EM 312 (2003) que estabelece um valor de umidade entre 5 e 13% o tratamento 16 fica dentro do limite estabelecido.

Tal acontecimento pode ser explicado pelo fato dos materiais, partícula de madeira e lodo, apresentarem umidade superior ao exigido antes do processo de fabricação, e também pelo fato de que não foi possível deixar as chapas em uma câmara climatizada, com controle de umidade e temperatura, para a devida estabilização após a sua fabricação.

No que se refere ao inchamento em espessura (IE), pode-se observar através dos dados apresentados, a menor porcentagem média em IE para 2h e 24h foi o tratamento 6, na qual encontra-se o valor de 3,14% após 2h e 6,04% após 24h. Enquanto que o maior valor médio foi de 14,66% após 2h para o tratamento 11 e 25,73 % após 24h para o tratamento 9.

A ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece um inchamento em espessura (IE) máximo de 8% após 2 horas. Comparando este limite com os valores obtidos neste estudo, pode-se observar que os tratamentos que se apresentam dentro dos parâmetros estabelecidos pela normativa são 2, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14 e 16. Em comparação com a norma europeia EM 312 (2003) que estabelece um limite de 15% de IE após 24h, para um aglomerado tipo 4 de uso geral em condições secas, a maioria dos tratamentos ficam dentro do limite estabelecido e apenas os tratamento 9, 11 e 15 não se enquadram no limite.

Em relação às porcentagens médias obtidas para a absorção de água (AA), pode-se observar na Tabela 15 que o tratamento que obteve uma menor AA foi o tratamento 7, com 24,32% após 2h e 54,76% após 24h, e o que apresentou a maior porcentagem de AA foi o tratamento 3, com 87,78% após 2h e o tratamento 11 com 106,20% após 24h. Apesar da normativa brasileira não trazer um limite para este parâmetro, os resultados encontrados estão de acordo com os apresentados em literatura, para incorporação de diferentes tipos de resíduos nos painéis, como por exemplo Brito *et al.* (2006) que estudou a incorporação de maravalha nos aglomerados, Lima *et al.* (2006) que utilizou fibras de babaçu em painéis e Colli *et al.* (2010) que estudou a incorporação de fibras de coco nos painéis de madeira aglomerada.

Nos painéis de madeira aglomerada, de baixa densidade, obtidos neste estudo, não foi notado uma diferença significativa nos resultados das análises físicas em relação aos parâmetros avaliados de tempo e temperatura de prensagem e tamanho das partículas de madeira.

Borges *et al.* (2014) avaliaram os efeitos do tempo de prensagem na resistência dos

painéis aglomerados e concluíram que o tempo de prensagem teve influência somente na análise física de IE (2h), e que quanto maior o tempo de prensagem menor o IE (2h). Os outros parâmetros físicos de densidade, IE (24h), AA (2 e 24h) não tiveram influência do tempo de prensagem.

Comparando os resultados obtidos nesta etapa do estudo com a primeira etapa pode-se observar que os valores encontrados nas análises física dos painéis com 20% de incorporação de lodo de ETA são muito semelhantes, mesmo com o aumento da quantidade de resina utilizada na confecção do painel, de 12% para 20%, evidenciando desta forma a importância da mistura dos materiais, de uma maneira de deixar o painel com uma distribuição do adesivo mais homogêneo.

Também pode-se observar que a incorporação de lodo de ETA em painéis de madeira aglomerada não influenciou na qualidade do painel obtido, ou seja, não diminuiu a qualidade do painel quando comparado com o painel sem resíduo fabricado neste estudo, logo pode-se afirmar que a incorporação do resíduo no painel seria vantajoso principalmente do ponto de vista ambiental.

5.2.2.2. *Análise mecânica*

A Tabela 16 apresenta os resultados de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) referentes à análise mecânica de flexão estática realizada nos painéis de madeira aglomerada.

Tabela 16 – Resultado referente à análise de flexão estática

| Tratamento | % Lodo | Tempo (min) | Temp. (°C) | MOR (Mpa) | MOE (Mpa) |
|-------------------|---------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 1 | 0 | 7 | 110 | 0,51 | 42,44 |
| 2 | 20 | 7 | 110 | 0,58 | 54,56 |
| 3 | 0 | 12 | 110 | 0,32 | 23,79 |
| 4 | 20 | 12 | 110 | 0,40 | 37,18 |
| 5 | 0 | 7 | 160 | 1,00 | 88,34 |
| 6 | 20 | 7 | 160 | 2,21 | 293,19 |
| 7 | 0 | 12 | 160 | 1,60 | 176,46 |
| 8 | 20 | 12 | 160 | 1,93 | 276,61 |
| 9 | 0 | 7 | 110 | 0,22 | 27,30 |
| 10 | 20 | 7 | 110 | 0,73 | 106,88 |
| 11 | 0 | 12 | 110 | 0,36 | 42,34 |
| 12 | 20 | 12 | 110 | 0,65 | 82,32 |
| 13 | 0 | 7 | 160 | 0,88 | 81,82 |
| 14 | 20 | 7 | 160 | 1,03 | 132,89 |
| 15 | 0 | 12 | 160 | 0,68 | 92,42 |
| 16 | 20 | 12 | 160 | 1,56 | 223,99 |

O limite que a ABNT NBR 14810-2 (2006) estabelece para um painel de madeira aglomerada em relação ao MOR, para um painel de média densidade com uma espessura entre 14 e 20 mm, é de no mínimo 16 MPa. Já em relação à análise de MOE a norma brasileira não estabelece um valor limite. A norma europeia EM 312 (2003) estabelece um limite para MOE de 1600 MPa para aglomerados com uma espessura entre 13 e 20mm e tipo P2, ou seja, para painéis de uso interior, incluindo móveis, em condições secas.

Os resultados obtidos para todos os tratamentos estão abaixo do especificado ao comparar com o limite mínimo estabelecido pela ABNT NBR 14810-2 (2006). Os painéis estudados apresentaram um valor de densidade referente a um aglomerado de baixa densidade, logo, a resistência mecânica do painel em relação à análise de flexão estática apresentou um valor abaixo do esperado. Comparando os tratamentos com e sem incorporação de lodo, com os mesmos tempos e temperaturas de prensagem, os tratamento que tiveram a adição do resíduo apresentaram um valor maior de MOR e MOE quando comparado ao painel sem resíduo de ETA, já que os painéis com a incorporação do resíduo apresentaram um maior valor de densidade, o que teve influência na resistência mecânica dos painéis.

Silva et al. (2013) estudaram a fabricação de painéis com resíduos de podas de árvores de Ipê e Chapéu de Sol, sem uma classificação de tamanho de partículas, utilizando como adesivo uma resina de UF. Os painéis apresentaram um valor de MOR de 6,03 MPa

para o resíduo de Ipê, com densidade de $0,75 \text{ g cm}^{-1}$, e de 2,64 para o de Chapéu de Sol, com densidade de $0,67 \text{ g cm}^{-1}$. De acordo com os resultados obtidos os autores afirmam a importância da classificação dos tamanhos de partículas durante o processo de fabricação de aglomerados de madeira.

Silva et al. (2013) concluíram que é importante a definição da granulometria das partículas de madeira utilizada na fabricação, podendo influenciar na qualidade do painel fabricado. Neste estudo optou-se por utilizar as partículas da forma que saiam do triturador a fim de reutilizar todo o resíduo de maravalha, porém isso pode ter resultado na baixa resistência mecânica do painel.

5.2.2.3. Análise química

A Tabela 17 apresenta os resultados da análise de presença e concentração de metais realizados nos painéis de madeira aglomerada referentes aos tratamentos 6, 8, 10 e 16. Estes tratamentos foram escolhidos, pois apresentaram os melhores valores de densidade dentre os tratamentos avaliados.

Tabela 17 – Análise de metais dos tratamentos 6, 8, 10 e 16

| Elemento | Concentração média (mg kg^{-1}) | | | |
|----------|--|----------|----------|----------|
| | T6 | T8 | T10 | T16 |
| Al | 17855,51 | 18582,89 | 24098,35 | 24461,45 |
| K | 666,65 | 716,56 | 764,53 | 784,59 |
| Ca | 2104,06 | 2047,00 | 1848,86 | 2039,60 |
| Cr | 105,99 | 92,33 | 77,76 | 88,55 |
| Mn | 579,97 | 681,70 | 714,98 | 812,52 |
| Fe | 38007,74 | 47739,61 | 46752,86 | 54017,11 |
| Cu | 662,66 | 194,60 | 133,52 | 150,30 |
| Zn | 68,90 | 78,64 | 69,30 | 67,30 |
| Se | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| Br | 4,39 | 5,19 | 5,34 | 6,05 |
| Sr | 10,02 | 12,47 | 12,23 | 14,10 |
| Ag | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |

*nd – não detectado pelo equipamento.

Os resultados referentes à análise de metais apresentados na Tabela 17 mostram que os painéis analisados apresentam em sua composição uma elevada concentração principalmente de Al, Fe. Em todos os metais analisados os valores encontrado nos painéis

são inferiores ao lodo, já que os painéis são resultados da mistura do lodo de ETA com a madeira.

O extrato lixiviado referente aos tratamentos T6, T8, T10 e T16 dos painéis de madeira aglomerada foram analisados em relação a alguns parâmetros, conforme Tabela 18.

Tabela 18 – Concentração de metais do extrato lixiviado dos painéis.

| PARÂMETROS | PAINÉIS (mg/L) | | | | LIMITE NBR 10004 (mg/L) ANEXO F |
|------------------|----------------|-------|--------|-------|------------------------------------|
| | T6 | T8 | T10 | T16 | |
| Alumínio (Al) | 7,855 | 5,400 | 10,668 | 7,290 | - |
| Arsênio (As) | 0,597 | 0,649 | 0,702 | 0,634 | 1 |
| Bário (Ba) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 70 |
| Cádmio (Cd) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,5 |
| Chumbo (Pb) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 1 |
| Cromo Total (Cr) | 0,014 | n.d. | 0,016 | 0,016 | 5 |
| Mercúrio (Hg) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,1 |
| Prata (Ag) | 0,003 | 0,012 | 0,013 | 0,003 | 5 |
| Selênio (Se) | 0,448 | 0,549 | 0,502 | 0,442 | 1 |

*nd – não detectado pelo equipamento.

Os resultados obtidos pela análise do extrato lixiviado dos tratamentos T6, T8, T10 e T16 dos painéis de madeira aglomerada, encontram-se de acordo com os limites máximos estabelecidos pela Norma Técnica ANBR NBR 10004 (2004) ANEXO F, indicando que estas amostras não representam um resíduo com características de periculosidade (resíduo Classe I). Logo os painéis analisados são classificados como resíduos Classe II.

A Tabela 19 mostra os resultados referentes à análise de metais do extrato solubilizado dos painéis.

Tabela 19 – Concentração de metais do extrato solubilizado dos painéis.

| PARÂMETROS | PAINÉIS (mg/L) | | | | LIMITE (mg/L) NBR 10004 ANEXO G |
|------------------|----------------|---------|---------|---------|------------------------------------|
| | T6 | T8 | T10 | T16 | |
| Alumínio (Al) | 131,161 | 119,006 | 137,509 | 123,166 | 0,2 |
| Arsênio (As) | 0,539 | 0,565 | 0,587 | 0,601 | 0,01 |
| Bário (Ba) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,7 |
| Cádmio (Cd) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,005 |
| Chumbo (Pb) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,001 |
| Cobre (Cu) | 0,299 | 0,174 | 0,216 | 0,174 | 2 |
| Cromo Total (Cr) | 0,044 | 0,040 | 0,046 | 0,039 | 0,05 |
| Ferro(Fe) | 15,102 | 13,218 | 11,928 | 11,166 | 0,3 |
| Manganês (Mn) | 26,776 | 28,879 | 31,792 | 30,013 | 0,1 |
| Mercúrio (Hg) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,001 |
| Prata (Ag) | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,05 |
| Selênio (Se) | 0,279 | 0,339 | 0,298 | 0,403 | 0,01 |
| Sódio (Na) | 39,404 | 36,812 | 22,142 | 20,765 | 200 |
| Zinco (Zn) | 1,285 | 1,131 | 1,304 | 1,230 | 5 |

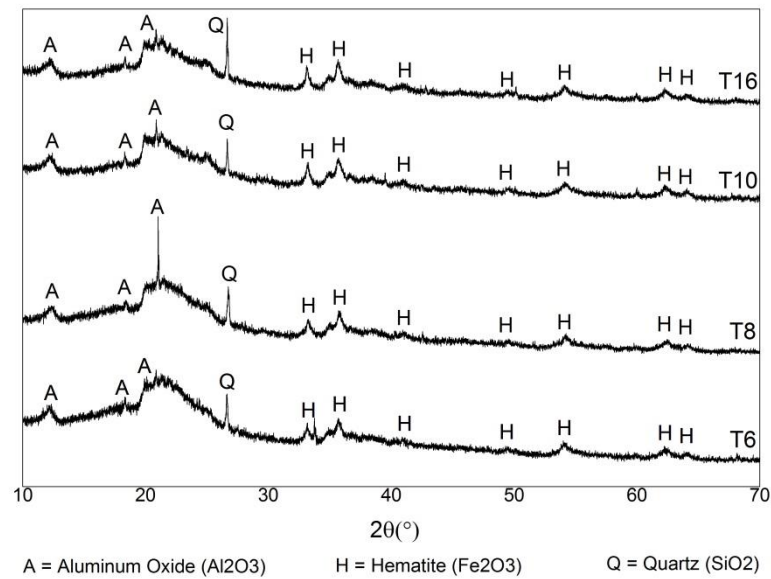
*nd – não detectado pelo equipamento.

A análise do extrato solubilizado indica solubilização dos elementos Al, As, Fe, Mn e Se acima do limite máximo estabelecido pela ABNT NBR 10004 (2004) no Anexo G para todos os painéis analisados. Logo, estes painéis são classificados, segundo a norma técnica, como um resíduo Classe IIA, Não perigoso - Não Inerte. Os demais parâmetros quantificados no ensaio de solubilização se encontram dentro dos limites estabelecidos, não excedendo as concentrações máximas para o extrato solubilizado, estabelecidas para este ensaio.

5.2.2.4. Análise estrutural

A Figura 38 mostra os resultados referentes à análise de DRX para os painéis de madeira aglomerada para os tratamentos 6, 8, 10 e 16.

Figura 38 – Análise de DRX dos painéis para os tratamentos 6, 8, 10 e 16



Os resultados encontrados para a análise de DRX mostram que em todos os painéis analisados apresentam fases cristalinas de Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 em sua composição. A presença destes elementos nos painéis de madeira aglomerada é devido à incorporação do lodo de ETA.

5.2.2.5. Análise de superfície

As fotomicrografias apresentadas neste item foram todas realizadas em uma magnitude de 40X. As análises de MEV e EDX para os tratamentos 6, 8, 10 e 16 estão apresentadas nas Figuras 39, 40, 41 e 42, respectivamente.

Figura 39 – Tratamento 6 a) MEV 40X de magnitude, b) EDX

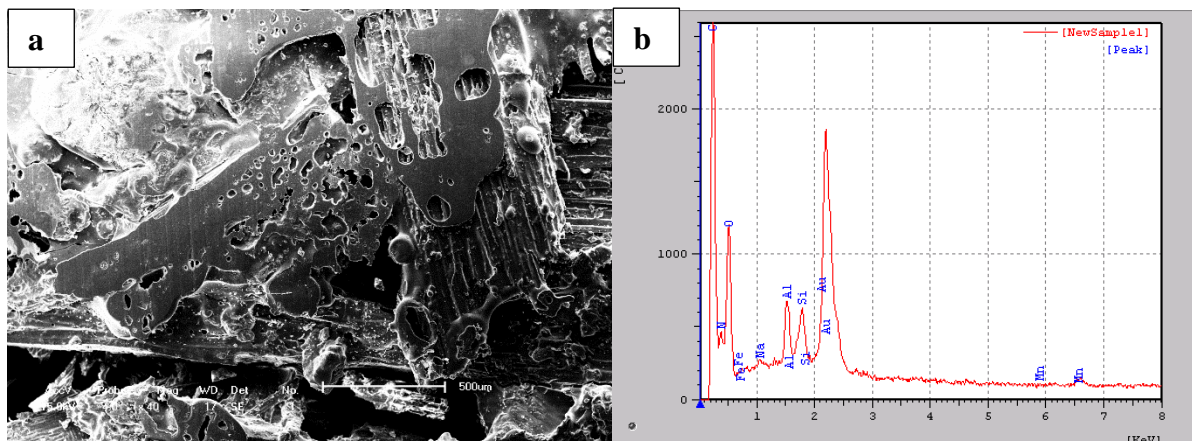


Figura 40 – Tratamento 8 a) MEV 40X de magnitude, b) EDX

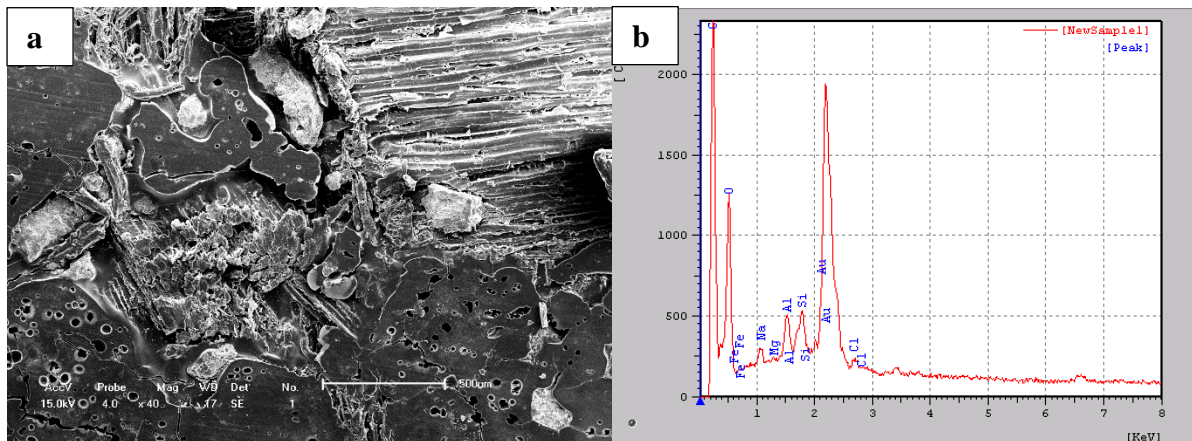


Figura 41 – Tratamento 10 a) MEV 40X de magnitude, b) EDX

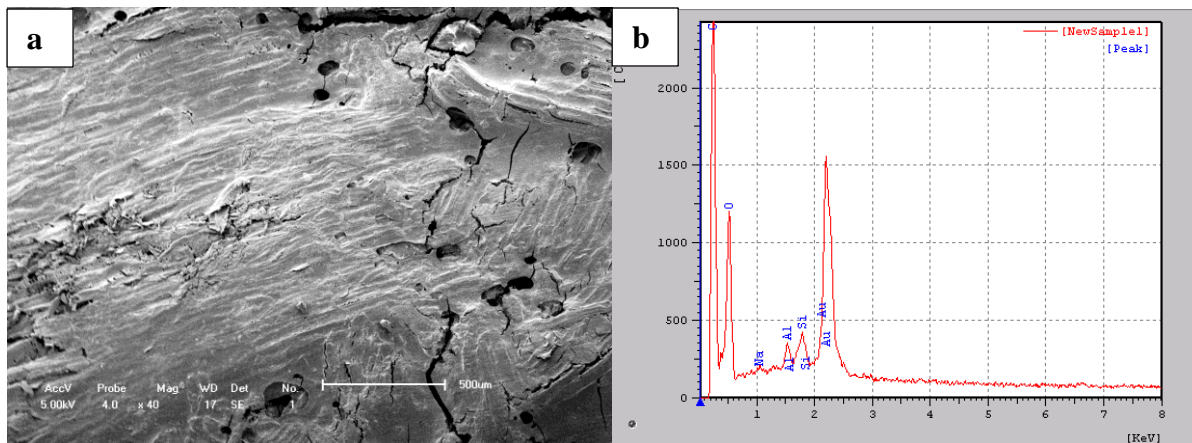
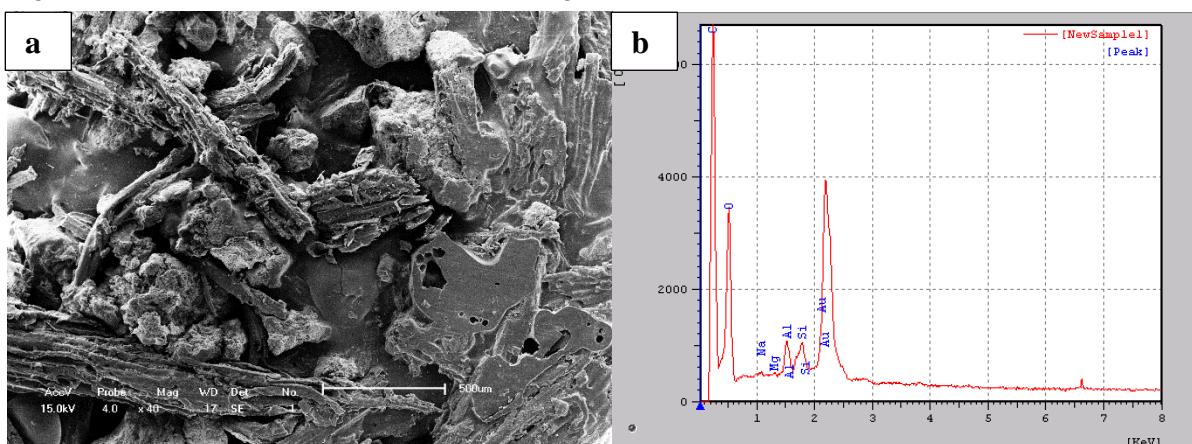


Figura 42 – Tratamento 16 a) MEV 40X de magnitude, b) EDX



As fotomicrografias dos painéis de madeira aglomerada mostram que em todos os tratamentos houve um acúmulo resina em partes dos painéis, com isso, pode-se concluir que não houve uma distribuição homogênea da resina de UF durante a mistura dos materiais

durante o processo de confecção dos painéis, prejudicando, desta forma, no valor da densidade, que ficou abaixo do esperado para todos os tratamentos avaliados, bem como o baixo valor em relação à análise de flexão estática (MOR e MOE)

Os resultados para a análise dos elementos por EDX foram aproximadamente às mesmas para os tratamentos avaliados, onde todos os painéis apresentaram em sua composição os elementos C, O, Al, Si e Na. Os tratamentos 8 e 16 além desses elementos também apresentaram Mg em sua composição. A presença de Al e Si na composição destes painéis se deve a incorporação do lodo proveniente do tratamento de água, sendo que o mesmo apresenta uma grande concentração de Al devido ao coagulante químico utilizado no processo de tratamento da água bruta.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Os painéis de madeira aglomerada com incorporação de lodo de ETA ainda estão com alguns parâmetros físicos e mecânicos fora dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 14.810-2 (2006) para painéis de madeira aglomerada de média densidade, porém os tratamentos que obtiveram as maiores densidades foram os tratamentos que tiveram a incorporação do lodo de ETA. Os painéis de baixa densidade obtidos neste trabalho podem ter algumas aplicações no mercado, que não seja necessário uma elevada resistência mecânica dos painéis, como por exemplo o uso em isolamentos.

Pode-se observar que a incorporação de lodo de ETA em painéis de madeira aglomerada não influenciou na qualidade final do painel obtido, ou seja, não diminuiu a qualidade do painel quando comparado com o painel sem resíduo confeccionado neste estudo.

Dentre os parâmetros avaliados, os que influenciaram de maneira mais direta foram a mistura dos materiais, já que não foi possível conseguir uma distribuição homogênea da resina, e o pH das partículas de madeira utilizadas, afetando diretamente na cura mais rápida da resina. Estes parâmetros tiveram grande influência na baixa densidade do painel obtida neste trabalho, porém pode-se realizar adequações no processo de fabricação para alcançar a qualidade final do painel desejada.

Desenvolver uma alternativa de disposição final adequada para o lodo de ETA é de extrema importância, pois é um resíduo que é gerado em grande quantidade e de modo contínuo no tratamento da água. A incorporação de lodo de ETA em painéis de madeira aglomerada é uma alternativa promissora de disposição final para este resíduo, desenvolvendo assim um subproduto e incentivando desta forma o desenvolvimento sustentável, colaborando com a sociedade e com o meio ambiente.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS

ABIPA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Produtos e tecnologia: nossos produtos. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em 24 Março 2013.

ANBT NBR 7.181. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Solo - Análise granulométrica. 1984.

ABNT NBR 10.004. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos sólidos – Classificação. 2ª Ed. 2004.

ABNT NBR 10.005. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 2ª Ed. 2004.

ABNT NBR 10.006. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. 2ª Ed. 2004.

ABNT – NBR 14.810-1. Chapas de madeira aglomerada. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – NBR 14.810-2. Chapas de madeira aglomerada. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – NBR 14.810-3. Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ACHON, C.; CORDEIRO, J. S. Análise crítica de implantação de sistemas naturais de remoção de água livre de lodo de ETA. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville - SC: ABES. 2003.

ACDA, M. N., CABANGON, R. J. Termite resistance and physico-mechanical properties of particleboard using waste tobacco stalk and wood particles. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 85, p. 354-358, 2013.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; PIO, N. S.; IWAKIRI, S.; TOMASELLI, I.; KEINERT JR, S. Diagnóstico da variação do conteúdo de umidade da madeira no processo de produção de chapas de madeira aglomerada. *Revista Floresta e Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 121 - 128, 2000.

ALBUQUERQUE, C. E. C. Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados. Tese de doutorado – Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba – PR. 2002.

ALMEIDA, J. E. Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Cuiabá, 2011.

ARAÚJO, A. P. M. Avaliação operacional e características do lodo gerado na indústria da água do litoral sul de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife – PE, 2006.

ATAR, I.; NEMLI, G.; AYRILMIS, N.; BAHAROGLU, M.; SARI, B.; BARDAK, S. Effects of hardener type, urea usage and conditioning period on the quality properties of particleboard. *Materials and Design*, v. 56, p. 91–96, 2014.

AYRILMIS, N., KWON, J. H., HAN, T. H. 2012. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, v. 38, p. 79–83. 2012.

AZAMBUJA, M. A.; NASCIMENTO, M. F.; LAHR, F. A. R.; SILVA, S. A. M.; MATTHIESEN, J. A. 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*, São Pedro – SP. 2006.

BARBOSA, R. M. A toxicidade de despejos (lodos) de estações de tratamento de água à *Daphnia similis* (Cladocera, Crustácea). IN: XXVII. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre-RS. 2000.

BARROS FILHO, R. M. Painéis aglomerado a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas ureia formaldeído e melamina formaldeído. Dissertação de mestrado – REDEMAT (UFOP – CETEC – UEMG). Ouro Preto, 2009.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Problemática dos metais pesados nos resíduos gerados em estações de tratamento de água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. ABES, 2001.

BATALHA, B. H. L. Água Potável: o Imperativo da Atualização. Disponível em: <http://www.profcupido.hpg.ig.com.br/agua_potavel.htm>. Acesso em 23 de Abril de 2013. 2006.

BAHAROGLU, M.; NEMLI, G.; SARI, B.; BARDAK, S.; AYRILMIS, N. The influence of moisture content of raw material on the physical and mechanical properties, surface roughness, wettability, and formaldehyde emission of particleboard composite. *Composites: Part B*, v. 43, p. 2448-2451, 2012.

BERTOLINI, M. S. Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana a base de mamona. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 2011.

BERTOLINI, M. S.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; AGNELLI, J. A. M. Accelerated Artificial Aging of Particleboards from Residues of CCB Treated *Pinus sp.* and Castor Oil Resin. *Materials Research*, v. 16, p. 293-303, 2013.

BERTOLINI, M. S., NASCIMENTO, M. F., CHRISTOFOTO, A. L., LAHR, F. A. R. Painéis de partículas provenientes de rejeitos de *Pinus sp.* tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa. *Revista Árvore*, v. 38, p. 339-346, 2014.

BIANCHE, J. J. Propriedade de aglomerado formado com partículas de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Vassoura (*Sida* spp.). Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2009.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: Painéis de Madeira. BNDES Setorial, v. 32, p. 49-90, 2010.

BIDONE, F.; SILVA, A. P.; MARQUES, D. M. Lodos Produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) – Desidratação em leitos de Secagem e Codisposição em Aterro Sanitário. In: ANDREOLI, C. V. (Org.). Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, PROJETO PROSAB. cap. 9. 2001.

BISWAS, D., BOSE, S. K., HOSSAIN, M. M. Physical and mechanical properties of urea formaldehyde-bonded particleboard made from bamboo waste. International Journal of Adhesion & Adhesives, v. 31, p. 84–87. 2011.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. S.; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.17, n.3, p. 315-324, 2012.

BORGES, J. P. C.; CÉSAR, A. A. S.; MENDES, L. M.; BUFALINO, L.; MESQUITA, R. G. A.; ROCHA, T. G.; FERRIOLI, N. C. Efeitos do tempo de prensagem na resistência de painéis aglomerados. XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal, RN, Brasil, 2014.

BOTERO, W. G.; SANTOS, A.; OLIVEIRA, L. C.; ROCHA, J. C. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. Revista Química Nova, v. 32, p. 2018-2022, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914 de 14 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF. 2011.

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF. 2010.

BRITO, E. O.; SÁ-ROCHA, J. D.; VIDAURRE, G. B.; BATISTA, D. C.; PASSOS, P. R. A.; MARQUES, L. G. C. Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus. *Floresta e Ambiente*. V. 11, n.2, p. 01 - 06, ago./dez. 2004.

BRITO, E. O.; BATISTA, D. C.; VIDAURRE, G. B.; SAMPAIO, L. C. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliotti* Engelm. com adição das cascas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Cerne*, Lavras, v. 11, p. 369-375. 2005.

BRITO, E. O.; SAMPAIO, L. C.; OLIVEIRA, J. N.; BATISTA, D. C. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. 72, p. 17-21, dezembro 2006.

BONDUELLE, A.; YAMAJI, F.; BORGES, C. C. Resíduos. *Revista madeira*. Edição 68. Disponível em http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=272&subject=Res%EDduos&title=Res%EDduos. Acesso em 31 de Março de 2013. Curitiba. 2002.

CARVALHO, M. J. H. Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável. Dissertação de Mestrado, Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, 2008.

CHIANG, K.; CHOU, P.; HUA, C.; CHIEN, K.; CHEESEMAN, C. Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. *Journal of Hazardous Materials*, v. 171, p. 76–82, 2009.

CIFLORESTAS – CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS. Pinus. Disponível em <<http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=pinus>>. Acesso em 24 de Março de 2013.

COLLI, A. Caracterização da madeira de Paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de

fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2007.

COLLI, A.; VITAL, E. R.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v. 34, p. 333-338, 2010.

CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: Noções gerais de tratamento e disposição adequada dos lodos de estações de tratamento de água. REALLI, M. A. P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, p. 1-19. 1999.

CORDEIRO, J. S. Micro propriedades de lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água. Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún – México. 2002.

DACOSTA, L. P. E. Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2004.

DASSANAYAKE, K. B.; JAYASINGHE, G. Y.; SURAPANENI, A.; HETHERINGTON, C. A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges. *Waste Management*, v. 38, p. 321–335, 2015.

DNER – ME 213. Departamento nacional de estradas e rodagens. Solos – Determinação do teor de umidade. 1994.

European Committee for Standardization. 2003. EN 312 Particleboard, specifications. Brussels.

FAGUNDES, H. A. V. Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

FERREIRA, E. P.; PANTALEÃO, F. S. Gestão operacional em estação de tratamento de água no modelo do programa de autogestão comunitária. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, nº.14; p. 1278. 2012

FRANCO, E. S. Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Mestrado em Engenharia Ambiental. Ouro Preto – MG, 2009.

GIRARDI, F. Tratamento de vinhaça utilizando coagulantes naturais. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Maringá – Pr, 2009.

GUERRA, R. C. Caracterização e biodegradabilidade de lodo de estação de tratamento de água para descarte em aterro sanitário. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista – Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada). Rio Claro, 2005.

HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; BERGER, R.; ELEOTÉRIO, J. R.; SCHEEREN, L. Resistência à flexão estática de alguns painéis aglomerados Comercializados no rio grande do sul. Ciência Florestal, Santa Maria, v.11, n.1, p.195-200. 2001.

HILLIG, E. Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino- formaldeído. 2000. 96 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2000.

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C. V.; PAULON, V. A. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. Revista Cerâmica, v. 51, p. 85-95. 2005.

IWAKIRI, S.; COSTA, A. F.; KLITZKE, R. J.; NIELSEN, I. R.; ALBERTI, R. A. R.; NIEFI, I. Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm. com inclusão laminar. CERNE, v.5, n.2, p.086-094. 1999.

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. Scientia Agraria, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Curitiba, 2005.

IWAKIRI, S.; CAPRARA, A. C.; SAKS, C. D. O.; GUI SANTES, S. P.; FRANZONI, J. A.; KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. Scientia Forestalis, n. 68, p.39-43, ago. 2005a.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. C.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. Cerne, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005 b.

KHAZAEIANA, A.; ASHORI, A.; DIZAJ, M. Y. Suitability of sorghum stalk fibers for production of particleboard. Carbohydrate Polymers, v. 120, p. 15–21, 2015.

KLOCK, U. QUALIDADE DA MADEIRA JUVENIL DE *Pinus maximinoi* H. E. MOORE. 321 p. Tese de doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2000.

KIZINIEVIC, O.; ZURAUSKIENE, R.; KIZINIEVIC, V.; ZURAUSKAS, R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. *Construction and Building Materials*, 41, 464-473, 2013

LI, X; CAI, Z.; WINANDY, J. E.; BASTA, A. H. Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 4662–4666. 2010.

LI, Z., JIANG, N., WU, F., ZHOU, Z. Experimental investigation of phosphorus adsorption capacity of the waterworks sludges from five cities in China. *Ecological Engineering*, 53, 165– 172, 2013.

LIMA, A. M.; VIDAURRE, G. B.; LIMA, R. M.; BRITO, E. O. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. *Revista Árvore*, Viçosa – MG, v.30, p. 645-650, 2006.

MACHADO, L. C. G. T.; PEREIRA, J. A. R.; CUNHA, M. V. P. O.; SILVA, M. N. A.; SOUSA, E. C. M. Caracterização do lodo gerado nos decantadores da ETA – Bolonha. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. 2002.

MACIEL, A. S. Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato. Tese de doutorado – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG. 2001.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the Effect of Saline Solution on the Extraction of the Moringa oleifera Seed's Active Component for Water Treatment. *Water Air Soil Pollut*, v. 211, pg. 409–415. 2010.

MATTOS, R. L.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, v. 27, p. 121-156, 2008.

MELO, R. R. Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2009.

MEDEIROS, E. N. M.; SPOSTO, R. M.; NEVES, G. A.; MENEZES, R. R. Technical feasibility of the incorporation of rice husk ash, sludge from water treatment plant and wood ash in clay for ceramic coating. *REM: R. Esc. Minas*, v. 67, 2014.

MEDEIROS-FILHO, C.F. UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, Capítulo VIII – Noções Sobre Tratamento de Água (13 Páginas). Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Tratam00.htm>>. Acesso em: 23 de Abril de 2013, 2006.

MORAIS, W. W. C. Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com Bambu, Pinus e Eucalipto. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS. 2011.

MOTA, S. Introdução à engenharia ambiental. ABES, Rio de Janeiro, 4^a edição, p. 343, 2006.

NAIR, A. T.; AHAMMED, M.M. The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. *Journal of Cleaner Production*, p. 1e10, 2013.

NAIR, A. T.; AHAMMED, M.M. Water treatment sludge for phosphate removal from the effluent of UASB reactor treating municipal wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 94, p. 105–112, 2015.

NEMLI, G.; GEZER, E. D.; YILDIZ, S.; TEMIZ, A.; AYDIN, A. Evaluation of the mechanical, physical properties and decay resistance of particleboard made from particles impregnated with *Pinus brutia* bark extractives. *Bioresource Technology*, v. 97, p. 2059–2064. 2006.

OLIVEIRA, E. M. S.; HOLANDA, J. M. F. Influência da adição de resíduo (lodo) de estação de tratamento de águas nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha. *Revista Cerâmica*, v. 54, p. 167-173. 2008.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. *Revista Cerâmica*, v. 50, p. 324-330. 2004.

PASSOS, P. R. A. Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 2005.

PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Dissertação de M.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2001.

PEIXOTO, G. L.; BRITO, E. O. Avaliação da granulometria de partículas de pinus taeda combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. Revista floresta e ambiente, v. 7, p.60 - 67. 2000.

PIERRE, F. C. Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu – SP, 2010.

PIRAYESH, H., KHAZAEIAN, A., TABARSA, T. The potential for using walnut (*Juglans regia* L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing. Composites: Part B, v. 43, p. 3276–3280. 2012.

PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A.; BARON, O. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinvile, 2003.

REALI, M.A.P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. REALI, M.A.P. (coordenador). PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Rio de Janeiro: ABES, p. 21-39. 1999.

RIBEIRO, F. L. M. Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de itabirito – MG. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos. Ouro Preto – MG, 2007.

SALES, A; CORDEIRO, J. S. Imobilização da Fase Sólida de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). Em PROSAB - Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos. Curitiba – PR. 2001.

SOUZA, F. R. Compósito de lodo de estação de tratamento de água e serragem de madeira para uso como agregado graúdo em concreto. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2010.

SILVA, A. P. da; BIDONE, F. R. A.; MARQUES, D. M. L da M. Avaliação da Lixiviação de Alumínio e da Produção de Ácidos Graxos Voláteis em Reatores Anaeróbios Utilizados para Estudar a Disposição Final de Lodos de ETAs em Aterros Sanitários. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, XXVII., Porto Alegre: AIDIS, 2000.

SILVA, C. A.; SILVEIRA, C.; SILVA, F. A.; KLEN, M. R. F.; BERGAMASCO, R. Classificação dos lodos formados durante o processo de coagulação/floculação da água com os coagulantes PAC e *Moringa oleifera*. ENGEVISTA, v. 14, p. 302-309, 2012.

SILVEIRA, C. Desaguamento de lodo de estações de tratamento de águas por leito de drenagem/secagem com manta geotêxtil. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina – PR. 2012.

SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminium chloride and bagasse fly ash. Colloids and Surfaces, 260, pg. 17-28. 2005.

STALGE SUNRISE. PAC – Policloreto de Alumínio. Disponível em: <<http://www.stalgesunrise.com.br/conteudo/item/pac---policloreto-de-alumnio>>. Acesso em 23 de Abril de 2013.

SUKSIRIPATTANAPONG, C.; HORPIBULSUK, S.; CHANPRASERT, P; SUKMAK, P.; ARULRAJAH, A. Compressive strength development in fly ash geopolymer masonry units manufactured from water treatment sludge. *Construction and Building Materials*, v. 82, p. 20–30, 2015.

TARTARI, R.; DIÁS-MORA, N.; MÓDENES, A. N.; PIANARO, S. A. Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte I: Caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. *Cerâmica*, v.57, p.288-293, 2011.

ULIANA, L. R.; NOLASCO, A. M. Diagnóstico da Geração de Resíduos na Produção Industrial de Móveis como Subsídio para a Gestão Empresarial. 2nd International Workshop, *Advances in Cleaner Production*. São Paulo – Brazil, 2009.

UWIMANA, A.; NHAPI A, I.; WALI A, U. G.; HOKO, Z. Sludge Characterization at Kadahokwa Water Treatment Plant, Rwanda. *Water Science and Technology: Water supply*. Vol. 10, nº 5, pp. 848-859. 2010.

VARANDA, L. D. Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2012.

VITAL B. R., HASELEIN C. R., DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). *Arvore*, Viçosa. v.16, n.1, p.88-96, 1992.

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa. *Cerâmica*, v. 55, p. 385-392. 2009.

WEBER, C. Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, mdf e mdp para produção de painéis aglomerados. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba – PR. 2011.

WEBER, P; TORRES, T. L. Estudo para caracterização quantitativa e qualitativa lodo de estação de tratamento de água. In: 24° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007.

WOLFF, E., SCHWABE, W. K., CONCEIÇÃO, S. V. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics. *Journal of Cleaner Production*, 1-8, 2014.

YANG, Z., GAO, B., YUE, Q. 2010. Coagulation performance and residual aluminum speciation of $Al_2(SO_4)_3$ and polyaluminum chloride (PAC) in Yellow River water treatment. *Chemical Engineering Journal*. 165, 122–132.

ZHENG, Y.; PAN, Z.; ZHANG, R.; JENKINS, B. M.; BLUNK, S. Properties of medium-density particleboard from saline Athel wood. *Industrial Crops and Products*, v. 23, p. 318–326, 2006.

ZHOU, Z.; YANG, Y.; LI, X.; ZHANG, Y.; GUO, X. Characterization of drinking water treatment sludge after ultrasound treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 24, p. 19–26, 2015.

ANEXOS

ANEXO I

Umidade Natural (DNER 213, 1994)

Foi utilizado para a realização deste teste o método gravimétrico com a secagem à estufa, segundo o procedimento descrito na Norma DNER 213/94. Esta norma técnica prescreve o método a ser adotado para determinação do teor de umidade em solos.

O procedimento utilizado para a realização desta análise encontra-se descrito abaixo:

- O recipiente limpo e seco foi pesado, anotando-se o valor obtido em g (m);
- Colocou-se no recipiente a amostra úmida, pesando o conjunto e anotando-se o valor obtido como a massa bruta úmida (mbu) em g;
- Foi colocado na estufa à temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, mantendo-o na estufa até que a sua massa se torne constante, que é pesado e anotado como a massa bruta seca (mbs).

O teor de umidade foi calculado segundo a fórmula abaixo:

$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100$$

Onde:

h = teor de umidade %;

mbu = massa bruta úmida correspondente à massa do recipiente mais a amostra do material úmido, g;

mbs = massa bruta seca correspondente à massa do recipiente mais a amostra do material seco, g;

m = massa do recipiente, g.

Obs: A massa bruta úmida deve ser pesada conforme a tabela X.

Tabela 20 – Massa mínima das amostras de material úmido, em função do tamanho máximo das partículas.

| Tamanho máximo das partículas (mm) – peneira | Massa mínima da amostra úmida (g) |
|---|--------------------------------------|
| 0,42 | 10 |
| 4,8 | 100 |
| 12,5 | 300 |
| 25,0 | 500 |
| 50,0 | 1000 |

Fonte: DNER 213, 1994.

ANEXO II

Matéria orgânica total, Resíduo mineral total, Carbono orgânico e Relação C/N (Kiehl, 1985)

Análise de matéria orgânica total (MO):

Levou-se a cápsula com o material da análise de umidade à mufla e ligá-la mantendo a porta entreaberta para proporcionar aeração; a amostra deve ser aquecida lentamente para ser queimada sem inflamar, pois, se formar labareda poderá ocorrer perda de material; recomenda-se, neste caso, que o procedimento seja repetido. Fechada a porta e alcançada a temperatura de 550°C, manter nessa temperatura por 1 hora, retirar a cápsula, resfriar em um dessecador e pesar P4.

$$MO_{TOTAL}(\%) = \frac{(P_3 - P_4)}{(P_3 - P_1)} \times 100$$

Análise de resíduo mineral total (RM):

O resíduo mineral que restou na cápsula é geralmente designado como cinza ou material não volátil ou resíduo mineral total. A determinação do resíduo total por simples cálculo a partir dos dados da análise de matéria orgânica total.

$$RM_{TOTAL}(\%) = \frac{(P_4 - P_1)}{(P_3 - P_1)} \times 100$$

Análise de carbono orgânico (CO):

Segundo KIEHL (1985), a porcentagem de carbono orgânico possui um fator de conversão entre 1,724 e 1,923 que corresponde a 52 e 58%, respectivamente, de carbono contido na matéria orgânica degradada, assim:

$$CO(\%) = \frac{MO_{TOTAL}(\%)}{1,8}$$

ANEXO III

Determinação da granulometria (NBR 7181/1984)

Pesou-se aproximadamente 70 g de amostra, para a sedimentação e o peneiramento fino. Passou-se esta amostra pela peneira de 2,0 mm.

Do material passante pela peneira de 2,0 mm, tomou-se cerca de 100 g para duas determinações da umidade higroscópica (h) pelo método da estufa. Esse valor foi usado para ajustar a massa da amostra total utilizada, pois todo o procedimento foi feito considerando a amostra sem umidade.

Lavou-se a parte retida na peneira de 2,0 mm a fim de eliminar o material fino aderente e secou-se em estufa a 105°C / 110°C, até consistência de peso. O material assim obtido foi usado no peneiramento grosso.

As massas retidas foram somadas com as massas obtidas na sedimentação e peneiramento fino, e foi obtida a relação de cada uma, considerando a massa total de material seco utilizado. Os resultados foram expressos em percentagem passante, que representa a massa passante em relação à massa total, cujos diâmetros são menores que o calculado.

Para a parcela passante, isto é para os grãos finos, utilizou-se o método de sedimentação para determinação da granulometria fina. O método de sedimentação pode ser assim descrito:

1. Do material passado na peneira de 2,0 mm tomou-se cerca de 70 g.
2. Transferiu-se o material assim obtido para um béquer de 250 mL e juntou-se, com o auxílio da proveta, 125 mL de defloculante (solução de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7 g do sal por 1.000 mL de solução). Agitou-se o béquer até que todo o material fique imerso e deixou-se em repouso, no mínimo 12 horas.
3. Verteu-se, então, a mistura no copo de dispersão, removendo-se com água destilada, com auxílio da bisnaga, o material adreido ao béquer. Adicionou-se água destilada até que seu nível fique 5 cm abaixo das bordas do copo e submeteu-se à ação do aparelho dispersor durante 15 minutos.
4. Transferiu-se a dispersão para uma proveta de 1000 ml e removeu-se com água destilada, com auxílio da pisseta, todo o material aderido ao copo. Acrescentou-se água destilada até que atingisse o traço correspondente a 1000 ml.

5. Tomou-se a proveta e, tapando-lhe a boca com uma das mãos, executou-se, com auxílio da outra, movimentos enérgicos de rotação, durante 1 minuto.

6. Imediatamente depois de terminada a agitação, colocou-se a proveta sobre uma mesa, anotou-se a hora exata do início da sedimentação e mergulhou-se cuidadosamente o densímetro na dispersão, iniciando-se assim as leituras no densímetro observando rigorosamente os intervalos de tempo determinados pela norma.

A parcela usada no peneiramento fino foi obtida por meio do despejo da suspensão sobre a peneira de 0,074 mm, sendo que essa massa foi lavada e levada para estufa.

Após a secagem em estufa, colocou-se a amostra em um jogo de peneiras padronizadas pela norma, e calculou-se a massa do material retido em cada uma das peneiras. As porcentagens dos materiais retidos nas peneiras entre 0,075 e 2,0 mm foram calculados por meio de uma equação.

Com os dados obtidos elaborou-se um gráfico relacionando os diâmetros das partículas com as porcentagens passantes em um conjunto de peneiras.

ANEXO IV

Determinação da massa específica \Rightarrow Método de Kiehl (1985) picnômetro

1. Pesou-se inicialmente o picnômetro vazio, obtendo-se (P).
2. Pesou-se cerca de 1 a 2 gramas da amostra de matéria seca (Pe) em vidro de relógio de tara conhecida.
3. Encheu-se o picnômetro com água, colocando-se a tampa e enxugando-se com papel de filtro a água que transbordar do aparelho e pesar, obtendo-se (Pa).
4. Retirou-se cerca da metade da água do picnômetro e passou-se cuidadosamente a amostra de matéria seca para o seu interior, completando-se o volume do picnômetro com água destilada.
5. Colocou-se a tampa e pesou-se, obtendo-se (Psa).

O cálculo da massa específica é realizado por meio da Equação:

$$\rho = \frac{\rho_{H_2O} \cdot (Pe - P)}{(Pe - P) - (Psa - Pa)}$$

Em que:

ρ = massa específica da amostra analisada, em g/cm³;

ρ_{H_2O} = massa específica da água na temperatura da determinação, em g/cm³;

Pe = peso da amostra seca, em g;

P = peso do picnômetro, em g;

Pa = peso do picnômetro com água, em g;

Psa = peso do picnômetro com água e amostra, em g.

ANEXO V

Determinação das concentrações elementares por fluorescência e raios X por Reflexão Total (TXRF)

As amostras foram moídas a fim de atingirem um tamanho de partícula de 50 μm . Pesou-se então 30 mg de amostra e adicionou-se a este 150 μL de solução padrão de Gálio (1000 mg L⁻¹), resultando em uma concentração do padrão interno de aproximadamente 5000 mg Kg⁻¹. Além disso, adicionou-se a mistura de solução padrão e amostra uma alíquota de 2,5 mL de Triton TM X-100 (Sigma Aldrich) a 1%, para que a amostra sólida ficasse dispersa homogeneamente no meio. Após perfeita mistura, pipetou-se 10 μL desta solução em um disco refletor de quartzo previamente preparado. Para o preparo do disco, estes foram imersos em várias soluções de lavagem, sendo estas solução de RBS 50TM 5%, água Milli-Q, ácido nítrico 10%, água Milli-Q, seguindo a ordem apresentada e em todas as lavagens mantendo as soluções sob aquecimento brando. Ao final dessa sequência de lavagens, os discos foram secos em capela de fluxo laminar, isenta de contaminantes. Após secos, os discos receberam na sua parte central uma gota de 10 μL de silicone em isopropanol para posterior fixação e imobilização da amostra, estando prontos para receber os 10 μL de amostra. Depois de pipetada a amostra contendo o padrão interno (Ga) e o Triton 1%, os discos foram secos em capela de fluxo laminar.

Foram preparadas duplicatas dos refletores de acrílico contendo as amostras, os quais foram irradiados para determinação das concentrações elementares presentes nas amostras. As amostras foram analisadas pela técnica da fluorescência e raios X por Reflexão Total (TXRF). Os refletores-amostras foram irradiados por 500 s sob reflexão total por um feixe de raios X de 20 keV, extraído da fonte radioativa de Molibdênio, sendo os raios X detectados utilizando-se um detector semicondutor. De cada amostra foi gerado um espectro TXRF, sendo as intensidades de pico das linhas K, L e M transformadas em termos de concentrações elementares (mg Kg⁻¹) pelo próprio software do equipamento (S2PICOFOX).

ANEXO VI

Ensaio para classificação de resíduos sólidos

Para a realização dos ensaios de classificação dos resíduos sólidos, as amostras de lodo foram desidratadas em estufa, até o lodo estar completamente seco.

A classificação dos resíduos sólidos foi realizada de acordo com a norma técnica ABNT NBR 10004 (2004) “Resíduos sólidos – Classificação”, vinculada a três outras normas: ABNT NBR 10005 (2004) “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos”; ABNT NBR 10006 (2004) “Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos” e ABNT NBR 10007 (2004) “Amostragem de resíduos sólidos”.

Deste modo a partir dos ensaios estabelecidos pela norma, os resíduos sólidos podem ser classificados e enquadrados nas seguintes categorias: Classe I – Resíduo perigoso e Classe II – Resíduo não perigoso, que é subdividida em Classe IIA – Não inertes e Classe IIB – Inertes.

A classificação dos resíduos sólidos envolve a identificação do processo que os originou, de seus constituintes e características, e a comparação estes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Os resíduos, cujas características não podem ser prontamente avaliadas, foram analisados segundo o fluxograma de classificação de resíduos sólidos (Figura 8).

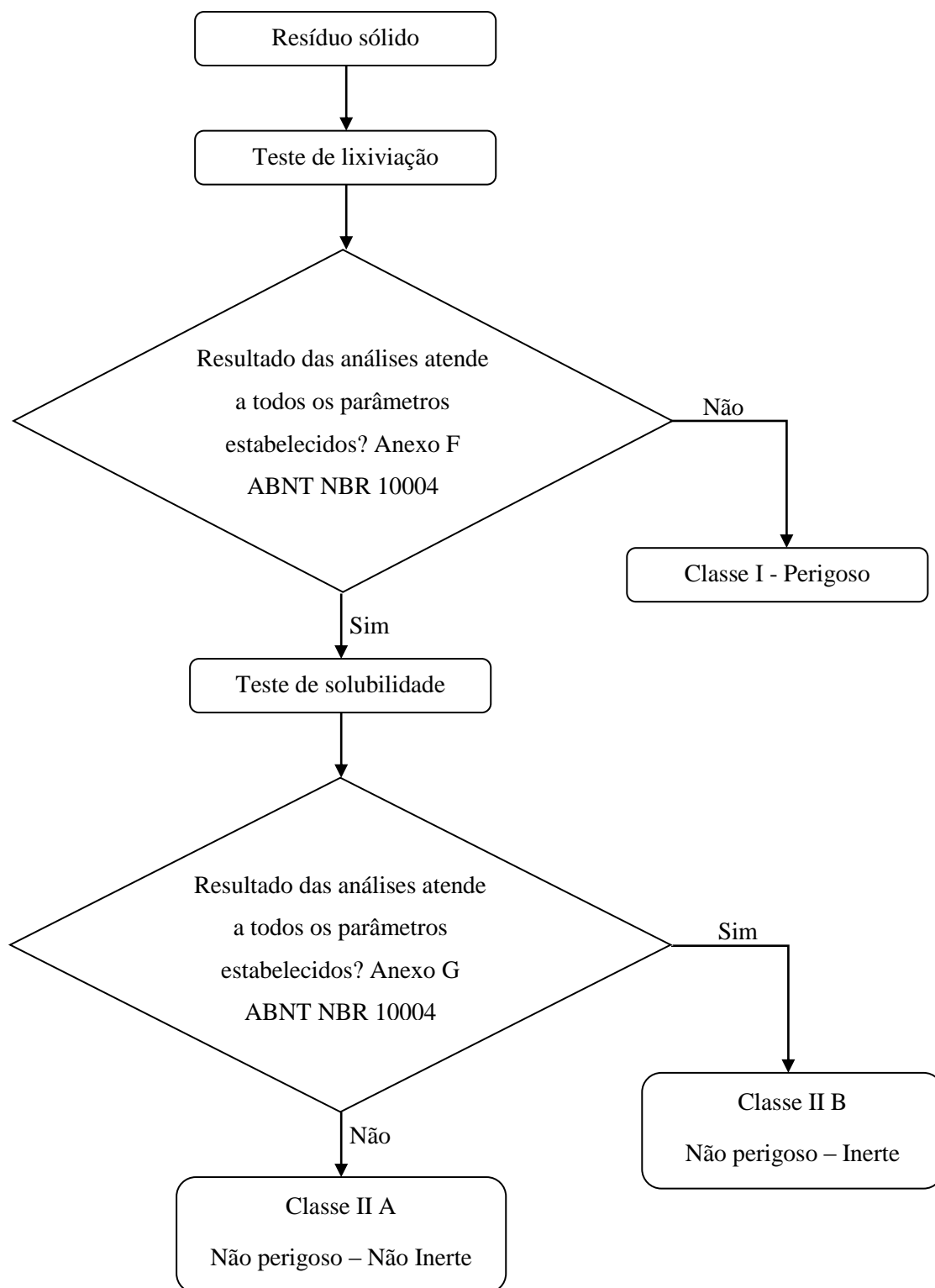


Figura 43 – Caracterização e classificação de resíduos sólidos.

Fonte: Adaptado da norma ABNT NBR 10004.

Procedimento de lixiviação (NBR 10005/2004):

Primeiramente, foram preparadas as soluções de extração:

a) Solução de extração nº 1: adicionar 5,7 mL de ácido acético glacial a água deionizada e adicionar 64,3 mL de NaOH 1,0 N. Completar o volume a 1 L. O pH desta solução deve ser $4,93 \pm 0,05$;

b) Solução de extração nº 2: adicionar 5,7 mL de ácido acético glacial a água deionizada e completar para o volume de 1 L. O pH desta solução deve ser $2,88 \pm 0,05$.

Inicialmente a amostra foi moída, até que passasse pela peneira de 9,5 mm. Em seguida, para a determinação da solução de extração, procedeu-se da seguinte maneira:

1. Pesou-se uma pequena quantidade do resíduo e reduziu-se o tamanho das partículas ≤ 9 mm de diâmetro e transferiu-se 5,0 g para um béquer;
2. Adicionou-se 96,5 mL de água deionizada, cobriu-se com vidro de relógio e agitou-se vigorosamente por 5 min com agitador magnético;
3. Mediu-se o pH. Se o pH for $\leq 5,0$, utilizar a solução de extração nº 1;
4. Se o pH for $> 5,0$, adicionar 3,5 mL de HCl 1 N, homogeneizar a solução, cobrir com vidro de relógio, aquecer a 50°C durante 10 min;
5. Esfriou-se a solução e mediu-se o pH. Se o pH for $\leq 5,0$, utilizar a solução de extração nº 1 e se for $> 5,0$ a solução de extração nº 2.

Os procedimentos do ensaio de lixiviação foram:

1. Pesou-se $(100 \pm 0,1)$ g de amostra preparada.
2. Transferiu-se a amostra para o frasco de lixiviação.
3. Utilizou-se uma quantidade de solução de extração, nº 1 ou nº 2, estabelecida conforme o procedimento para sua determinação, igual a 20 vezes a massa pesada.
4. Fechou-se o frasco e manteve-o sob agitação durante (18 ± 2) h a temperatura de até 25°C com uma rotação de (30 ± 2) rpm no agitador rotatório. Dependendo da amostra, pode ocorrer aumento de pressão interna. Nesse caso, deve se abrir o frasco após períodos de 15 min, 30 min e 1 h de agitação.
5. Após este período, filtrou-se a amostra utilizando-se aparelho de filtração pressurizada ou a vácuo, com filtro de fibra de vidro isento de resinas e com porosidade de 0,6

µm a 0,8 µm. Caso seja necessário, pode-se trocar o filtro, para facilitar a filtração. Para análise de metais, os filtros devem ser lavados com solução de HNO₃ 1,0N.

6. O filtrado obtido foi denominado extrato lixiviado.

7. Após obtenção do extrato lixiviado, determinou-se o pH.

8. Retiraram-se alíquotas e estas foram preservadas de acordo com os parâmetros a analisar, conforme estabelecido em APHA (2005).

9. No caso de análise de metais, deve ser feita a acidificação numa pequena alíquota. Caso ocorra a precipitação, não proceder à acidificação no restante da amostra. Utilizar parte do extrato não acidificado e analisar imediatamente.

Para determinação dos elementos químicos dos extratos lixiviados foi utilizado o espectrofotômetro de absorção atômica modelo SpectrAA 50B da Varian.

Procedimento de solubilização (NBR 10006/2004):

Inicialmente, secou-se a amostra à uma temperatura de até 42°C, utilizando-se uma estufa com circulação forçada de ar e exaustão ou estufa à vácuo, e determinou-se a percentagem de umidade. Em seguida, passou-se amostra em peneira de malha 9,5 mm, sendo, então, considerada pronta para a etapa de extração; caso contrário, ela deve ser triturada.

O procedimento de solubilização foi realizado da seguinte maneira:

1. Colocou-se uma amostra representativa de 250 g (base seca) do resíduo em frasco de 1500 mL. Pode-se utilizar o resíduo não seco, desde que ele represente 250 g de material seco; para isto, fazer a compensação de massa e volume.
2. Adicionou-se 1000 mL de água destilada, deionizada e isenta de compostos orgânicos e agitou-se a amostra em baixa velocidade, por 5 min.
3. Tampou-se o frasco e deixou-se em repouso por 7 dias, em temperatura de até 25°C.
4. Filtrou-se a solução com aparelho de filtração guarnecido com membrana filtrante com 0,45 µm de porosidade.
5. Definiu-se o filtrado obtido como sendo o extrato solubilizado.
6. Determinou-se o pH após a obtenção do extrato solubilizado.
7. Retiraram-se alíquotas e estas foram preservadas de acordo com os parâmetros a analisar, conforme estabelecido em APHA (2005).

8. No caso de análise de metais, deve ser feita a acidificação numa pequena alíquota. Caso ocorra a precipitação, não proceder à acidificação no restante da amostra. Utilizar parte do extrato não acidificado e analisar imediatamente.

Para determinação dos elementos químicos dos extratos solubilizados foi utilizado o espectrofotômetro de absorção atômica modelo SpectrAA 50B da Varian.

ANEXO VII

DENSIDADE

Para o cálculo da densidade foram utilizadas as Fórmulas 10 e 11 descritas abaixo.

$$D = \frac{M}{V} \times 1000000 \quad (10)$$

$$V = L \times C \times E \quad (11)$$

Onde:

D = densidade em (kg.m⁻³)

M= massa (g)

V= volume (mm³)

L= largura (mm)

C= comprimento (mm)

E= espessura (mm)

TEOR DE UMIDADE

Para o cálculo do teor de umidade foi utilizada a Fórmula 12 descrita abaixo.

$$U = \frac{MU-MS}{MS} \times 100 \quad (12)$$

Onde:

U = umidade (%)

MU = massa úmida do corpo de prova (g)

MS = massa seca do corpo de prova (g)

ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA

Para o cálculo do inchamento em espessura (IE) foi utilizada a Fórmula 13 descrita abaixo.

$$IE = \frac{E1-E0}{E0} \times 100 \quad (13)$$

Onde:

IE = inchamento em espessura (%)

E1 = espessura após a imersão (mm)
 E0 = espessura antes da imersão (mm)

Para o cálculo da absorção de água (AA) foi utilizada a Fórmula 14 descrita abaixo.

$$AA = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100 \quad (14)$$

Onde:

AA = absorção de água (%)
 M1 = massa após imersão (g)
 M0 = massa antes imersão (g)

FLEXÃO (MOR e MOE)

O equipamento utilizado nesta análise foi a máquina universal de ensaio da marca EMIC, conforme mostra a Figura 44.

Figura 44 – Equipamento utilizado no ensaio de Flexão.



Para o cálculo do MOR e MOE foram utilizadas as Fórmulas 15 e 16 respectivamente.

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (15)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura (Mpa)

P = carga de ruptura (N)

D = distância entre os apoios do aparelho (mm)

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

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

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (16)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade (Mpa)

P1 = carga no limite proporcional (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 do corpo-de-prova (mm)

ANEXO VIII

Resultados referentes à primeira etapa desenvolvida neste estudo.

Tabela 21 – Tabela das medidas realizadas para o teste de densidade.

| TRAT. | % LODO | % RESINA | LARGURA (mm) | COMPRIM. (mm) | EXPESSURA CENTRO | DENSIDADE (kg/m ³) | | | | | ESPESSURA MÉDIA (mm) | VOLUME (mm ³) | PESO (g) | DENSIDADE (kg/m ³) |
|-------|--------|----------|--------------|---------------|------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------|----------------------|---------------------------|----------|--------------------------------|
| | | | | | | EXPESS. 1 | EXPESS. 2 | EXPESS. 3 | EXPESS. 4 | | | | | |
| T11 | 0 | 12 | 49,00 | 50,70 | 22,11 | 22,00 | 22,03 | 22,44 | 21,23 | 21,96 | 54560,20 | 23,43 | 429,43 | |
| | 0 | 12 | 50,40 | 50,00 | 22,46 | 21,98 | 22,04 | 21,98 | 22,10 | 22,11 | 55722,24 | 22,23 | 398,94 | |
| | 0 | 12 | 43,50 | 49,00 | 21,56 | 21,85 | 21,46 | 22,47 | 21,21 | 21,71 | 46274,87 | 21,21 | 458,35 | |
| | 0 | 12 | 50,00 | 50,00 | 22,22 | 21,93 | 22,03 | 22,01 | 22,35 | 22,11 | 55270,00 | 23,22 | 420,12 | |
| | 0 | 12 | 50,30 | 50,80 | 22,48 | 22,11 | 22,07 | 22,20 | 22,50 | 22,27 | 56910,31 | 23,73 | 416,97 | |
| | 0 | 12 | 49,00 | 50,60 | 22,53 | 21,62 | 22,64 | 22,14 | 22,44 | 22,27 | 55226,16 | 24,47 | 443,09 | |
| T12 | 0 | 12 | 50,00 | 50,00 | 22,53 | 22,03 | 22,76 | 21,51 | 21,79 | 22,12 | 55310,00 | 25,41 | 459,41 | |
| | 0 | 12 | 51,00 | 49,00 | 21,95 | 22,09 | 21,51 | 21,22 | 21,65 | 21,68 | 54188,32 | 23,81 | 439,39 | |
| | 0 | 12 | 51,00 | 51,00 | 21,51 | 21,20 | 21,20 | 21,05 | 21,13 | 21,22 | 55188,02 | 21,76 | 394,29 | |
| | 0 | 12 | 51,30 | 50,60 | 22,00 | 22,00 | 21,49 | 21,51 | 21,12 | 21,62 | 56131,15 | 25,33 | 451,26 | |
| | 0 | 12 | 50,40 | 50,00 | 22,64 | 21,93 | 21,49 | 21,55 | 22,74 | 22,07 | 55616,40 | 27,35 | 491,76 | |
| | 0 | 12 | 51,00 | 50,40 | 22,51 | 22,73 | 22,62 | 22,23 | 22,30 | 22,48 | 57777,45 | 26,86 | 464,89 | |
| T13 | 0 | 12 | 48,20 | 48,00 | 22,47 | 22,76 | 22,65 | 22,66 | 22,22 | 22,55 | 52176,31 | 20,28 | 388,68 | |
| | 0 | 12 | 50,80 | 50,70 | 22,33 | 21,88 | 21,83 | 21,56 | 21,91 | 21,90 | 56409,92 | 19,57 | 346,92 | |
| | 0 | 12 | 46,00 | 49,40 | 22,10 | 21,54 | 22,23 | 20,73 | 20,42 | 21,40 | 48638,45 | 17,76 | 365,14 | |
| | 0 | 12 | 48,00 | 47,80 | 23,18 | 22,49 | 22,86 | 23,56 | 23,00 | 23,02 | 52812,50 | 22,45 | 425,09 | |
| | 0 | 12 | 49,00 | 47,10 | 20,85 | 24,24 | 23,67 | 23,55 | 24,13 | 23,29 | 53746,38 | 23,49 | 437,05 | |
| | 0 | 12 | 51,00 | 50,90 | 23,02 | 22,82 | 22,99 | 23,16 | 22,11 | 22,82 | 59238,44 | 21,25 | 358,72 | |
| T21 | 5 | 12 | 51,00 | 50,20 | 21,64 | 21,96 | 20,92 | 20,99 | 20,85 | 21,27 | 54460,57 | 18,79 | 345,02 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 5 | 12 | 48,00 | 50,40 | 21,11 | 20,63 | 20,52 | 20,74 | 20,59 | 20,72 | 50120,99 | 16,71 | 333,39 |
| | 5 | 12 | 48,50 | 50,80 | 19,77 | 18,84 | 20,32 | 20,21 | 18,13 | 19,45 | 47930,77 | 15,35 | 320,25 |
| | 5 | 12 | 49,40 | 50,00 | 23,31 | 23,26 | 23,40 | 23,15 | 22,82 | 23,19 | 57274,36 | 24,36 | 425,32 |
| | 5 | 12 | 59,00 | 50,20 | 22,52 | 21,84 | 22,09 | 22,04 | 22,04 | 22,11 | 65473,55 | 20,69 | 316,01 |
| | 5 | 12 | 49,10 | 50,50 | 23,13 | 23,02 | 22,81 | 22,42 | 22,37 | 22,75 | 56409,76 | 23,05 | 408,62 |
| T22 | 5 | 12 | 51,00 | 50,00 | 19,80 | 19,70 | 19,47 | 19,56 | 19,83 | 19,67 | 50163,60 | 20,09 | 400,49 |
| | 5 | 12 | 50,20 | 51,00 | 20,07 | 19,66 | 19,46 | 19,58 | 19,58 | 19,67 | 50359,13 | 20,79 | 412,83 |
| | 5 | 12 | 50,50 | 50,90 | 18,30 | 17,80 | 17,64 | 18,60 | 17,79 | 18,03 | 46334,93 | 17,10 | 369,05 |
| | 5 | 12 | 50,50 | 50,90 | 21,87 | 21,35 | 21,59 | 21,88 | 21,49 | 21,64 | 55614,26 | 24,08 | 432,98 |
| | 5 | 12 | 51,00 | 50,60 | 22,00 | 21,37 | 21,52 | 22,15 | 21,62 | 21,73 | 56081,60 | 24,48 | 436,51 |
| | 5 | 12 | 50,80 | 50,80 | 21,69 | 21,28 | 21,10 | 21,29 | 21,13 | 21,30 | 54962,47 | 22,19 | 403,73 |
| T23 | 5 | 12 | 51,00 | 51,00 | 19,72 | 19,93 | 19,79 | 19,48 | 19,63 | 19,71 | 51265,71 | 20,88 | 407,29 |
| | 5 | 12 | 50,80 | 51,00 | 19,22 | 18,67 | 19,35 | 18,51 | 18,72 | 18,89 | 48950,58 | 19,50 | 398,36 |
| | 5 | 12 | 51,20 | 51,20 | 19,97 | 19,32 | 19,54 | 19,82 | 19,16 | 19,56 | 51280,61 | 20,51 | 399,96 |
| | 5 | 12 | 51,50 | 50,80 | 19,95 | 19,95 | 19,87 | 19,69 | 19,78 | 19,85 | 51926,34 | 21,92 | 422,14 |
| | 5 | 12 | 50,80 | 51,00 | 19,76 | 20,08 | 19,80 | 19,79 | 19,99 | 19,88 | 51515,47 | 22,31 | 433,07 |
| | 5 | 12 | 52,00 | 51,00 | 20,40 | 19,79 | 20,35 | 20,01 | 19,97 | 20,10 | 53315,81 | 21,70 | 407,01 |
| T31 | 10 | 12 | 50,60 | 50,60 | 25,29 | 24,75 | 25,27 | 24,97 | 21,47 | 24,35 | 62344,77 | 23,01 | 369,08 |
| | 10 | 12 | 49,80 | 50,00 | 23,31 | 22,80 | 22,98 | 23,24 | 22,73 | 23,01 | 57299,88 | 21,85 | 381,33 |
| | 10 | 12 | 49,60 | 50,60 | 25,37 | 24,58 | 25,14 | 25,47 | 25,17 | 25,15 | 63110,42 | 25,82 | 409,12 |
| | 10 | 12 | 50,70 | 49,70 | 24,59 | 24,69 | 24,59 | 23,98 | 24,11 | 24,39 | 61462,72 | 27,26 | 443,52 |
| | 10 | 12 | 50,60 | 50,60 | 24,12 | 23,67 | 23,92 | 24,34 | 23,91 | 23,99 | 61428,16 | 27,31 | 444,58 |
| | 10 | 12 | 50,50 | 50,70 | 21,44 | 24,23 | 24,15 | 24,20 | 24,06 | 23,62 | 60465,23 | 28,07 | 464,23 |
| T32 | 10 | 12 | 48,50 | 50,60 | 21,28 | 21,24 | 20,98 | 21,40 | 20,80 | 21,14 | 51879,67 | 21,14 | 407,48 |
| | 10 | 12 | 50,00 | 49,60 | 21,82 | 21,06 | 21,89 | 21,82 | 21,10 | 21,54 | 53414,24 | 21,73 | 406,82 |
| | 10 | 12 | 50,50 | 49,90 | 21,71 | 21,76 | 21,34 | 21,58 | 21,42 | 21,56 | 54335,16 | 22,51 | 414,28 |
| | 10 | 12 | 50,90 | 50,20 | 20,87 | 20,81 | 21,10 | 20,55 | 20,67 | 20,80 | 53147,74 | 21,92 | 412,44 |
| | 10 | 12 | 50,20 | 49,00 | 20,57 | 20,05 | 20,01 | 20,64 | 19,88 | 20,23 | 49761,75 | 20,92 | 420,40 |
| | 10 | 12 | 51,20 | 50,00 | 21,57 | 20,98 | 21,64 | 20,04 | 20,47 | 20,94 | 53606,40 | 19,38 | 361,52 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| T33 | 10 | 12 | 50,80 | 50,30 | 20,78 | 20,09 | 20,52 | 20,58 | 20,67 | 20,53 | 52453,97 | 20,24 | 385,86 |
| | 10 | 12 | 50,30 | 50,30 | 21,06 | 21,44 | 20,24 | 20,38 | 21,37 | 20,90 | 52873,82 | 18,34 | 346,86 |
| | 10 | 12 | 50,00 | 49,50 | 21,26 | 21,13 | 20,70 | 20,59 | 20,93 | 20,92 | 51781,95 | 20,35 | 392,99 |
| | 10 | 12 | 51,00 | 48,60 | 21,09 | 20,59 | 20,79 | 20,84 | 20,89 | 20,84 | 51654,02 | 18,68 | 361,64 |
| | 10 | 12 | 50,70 | 50,10 | 20,44 | 20,04 | 20,34 | 20,48 | 20,12 | 20,28 | 51522,78 | 18,32 | 355,57 |
| | 10 | 12 | 50,90 | 50,30 | 20,63 | 19,94 | 20,65 | 20,22 | 20,22 | 20,33 | 52055,41 | - | - |
| T41 | 20 | 12 | 51,00 | 50,90 | 18,35 | 18,45 | 18,51 | 18,40 | 18,34 | 18,41 | 47790,52 | 27,02 | 565,38 |
| | 20 | 12 | 50,60 | 51,30 | 19,08 | 18,69 | 18,64 | 19,24 | 18,61 | 18,85 | 48935,64 | 29,34 | 599,56 |
| | 20 | 12 | 51,10 | 51,50 | 18,33 | 17,78 | 18,08 | 18,02 | 17,67 | 17,98 | 47306,54 | 30,18 | 637,97 |
| | 20 | 12 | 51,00 | 51,20 | 17,89 | 17,81 | 17,88 | 17,81 | 18,07 | 17,89 | 46719,59 | 29,01 | 620,94 |
| | 20 | 12 | 51,60 | 51,10 | 18,25 | 18,13 | 17,91 | 17,95 | 17,95 | 18,04 | 47561,88 | 28,94 | 608,47 |
| | 20 | 12 | 50,60 | 51,40 | 17,89 | 18,08 | 17,79 | 18,00 | 17,87 | 17,93 | 46622,66 | 28,33 | 607,64 |
| T42 | 20 | 12 | 49,80 | 49,50 | 18,01 | 17,91 | 18,09 | 17,69 | 17,69 | 17,88 | 44071,06 | 23,80 | 540,04 |
| | 20 | 12 | 50,20 | 49,70 | 17,80 | 17,28 | 17,69 | 18,00 | 17,69 | 17,69 | 44140,48 | 21,94 | 497,05 |
| | 20 | 12 | 49,50 | 50,50 | 16,75 | 16,76 | 16,60 | 16,19 | 16,16 | 16,49 | 41225,88 | 16,83 | 408,24 |
| | 20 | 12 | 49,50 | 49,60 | 18,32 | 18,11 | 18,20 | 17,83 | 18,18 | 18,13 | 44507,87 | 22,25 | 499,91 |
| | 20 | 12 | 50,30 | 50,00 | 18,06 | 17,92 | 18,08 | 18,04 | 17,77 | 17,97 | 45204,61 | 21,43 | 474,07 |
| | 20 | 12 | 50,20 | 49,90 | 18,04 | 18,06 | 18,37 | 17,95 | 17,79 | 18,04 | 45194,85 | 23,36 | 516,87 |
| T43 | 20 | 12 | 50,40 | 49,70 | 15,88 | 15,89 | 16,27 | 0,33 | 16,51 | 12,98 | 32503,32 | 16,48 | 507,03 |
| | 20 | 12 | 50,40 | 50,80 | 15,95 | 16,01 | 15,59 | 15,91 | 16,55 | 16,00 | 40970,24 | 18,82 | 459,36 |
| | 20 | 12 | 49,80 | 50,80 | 16,52 | 15,93 | 16,19 | 16,17 | 16,03 | 16,17 | 40902,45 | 19,45 | 475,52 |
| | 20 | 12 | 51,00 | 50,10 | 16,38 | 16,38 | 16,24 | 15,88 | 16,11 | 16,20 | 41387,51 | 18,82 | 454,73 |
| | 20 | 12 | 50,90 | 50,50 | 16,98 | 17,13 | 16,78 | 16,89 | 16,69 | 16,89 | 43425,18 | 17,40 | 400,69 |
| | 20 | 12 | 51,30 | 50,70 | 16,85 | 16,76 | 16,58 | 16,69 | 16,84 | 16,74 | 43549,64 | 16,78 | 385,31 |
| T51 | 30 | 12 | 49,80 | 49,60 | 19,32 | 19,37 | 19,30 | 19,16 | 19,24 | 19,28 | 47618,20 | 17,18 | 360,79 |
| | 30 | 12 | 49,10 | 49,10 | 19,25 | 18,06 | 17,42 | 19,49 | 18,84 | 18,61 | 44870,00 | 14,76 | 328,95 |
| | 30 | 12 | 48,70 | 49,40 | 20,00 | 20,19 | 19,81 | 18,81 | 19,89 | 19,74 | 47490,10 | 17,04 | 358,81 |
| | 30 | 12 | 49,30 | 49,40 | 19,07 | 18,96 | 19,15 | 19,09 | 18,84 | 19,02 | 46326,56 | 16,61 | 358,54 |
| | 30 | 12 | 48,30 | 50,30 | 18,20 | 18,84 | 18,11 | 18,43 | 17,74 | 18,26 | 44372,21 | 15,54 | 350,22 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|--------|
| | 30 | 12 | 49,50 | 50,40 | 19,44 | 19,60 | 16,09 | 19,61 | 17,59 | 18,47 | 46068,98 | 17,33 | 376,18 |
| T52 | 30 | 12 | 51,00 | 47,90 | 22,56 | 22,25 | 21,54 | 22,41 | 22,30 | 22,21 | 54261,69 | 21,64 | 398,81 |
| | 30 | 12 | 49,90 | 47,60 | 21,94 | 22,20 | 20,94 | 21,27 | 21,92 | 21,65 | 51433,45 | 20,43 | 397,21 |
| | 30 | 12 | 51,00 | 45,10 | 22,91 | 22,34 | 22,74 | 22,11 | 22,22 | 22,46 | 51669,45 | 17,58 | 340,24 |
| | 30 | 12 | 48,00 | 50,40 | 3,09 | 23,45 | 22,90 | 22,84 | 23,30 | 19,12 | 46245,43 | 20,74 | 448,48 |
| | 30 | 12 | 49,80 | 50,50 | 21,34 | 19,39 | 20,37 | 21,24 | 21,02 | 20,67 | 51988,01 | 15,28 | 293,91 |
| | 30 | 12 | 47,90 | 49,80 | 20,78 | 20,63 | 20,85 | 20,68 | 20,40 | 20,67 | 49301,86 | 18,32 | 371,59 |
| | T53 | 30 | 12 | 50,10 | 48,30 | 20,63 | 19,74 | 20,72 | 20,47 | 20,17 | 20,35 | 49233,86 | 20,24 |
| 30 | | 12 | 51,10 | 49,20 | 20,51 | 19,91 | 20,47 | 20,09 | 20,28 | 20,25 | 50915,96 | 21,28 | 417,94 |
| 30 | | 12 | 49,80 | 48,20 | 19,02 | 18,51 | 19,03 | 18,56 | 18,16 | 18,66 | 44781,12 | 19,43 | 433,89 |
| 30 | | 12 | 50,80 | 52,10 | 20,98 | 20,57 | 20,70 | 20,65 | 21,21 | 20,82 | 55109,17 | 24,73 | 448,75 |
| 30 | | 12 | 48,90 | 50,80 | 18,75 | 17,91 | 17,71 | 18,62 | 18,56 | 18,31 | 45484,24 | 17,25 | 379,25 |
| 30 | | 12 | 49,10 | 50,80 | 18,85 | 17,71 | 17,93 | 18,90 | 17,95 | 18,27 | 45565,51 | 18,08 | 396,79 |
| T61 | 0 | 16 | 50,90 | 51,30 | 24,77 | 24,08 | 24,51 | 25,03 | 24,16 | 24,51 | 63999,78 | 21,74 | 339,69 |
| | 0 | 16 | 51,50 | 51,00 | 26,39 | 26,34 | 26,23 | 25,73 | 25,84 | 26,11 | 68567,41 | 19,33 | 281,91 |
| | 0 | 16 | 51,20 | 50,40 | 21,29 | 21,44 | 21,58 | 21,89 | 20,89 | 21,42 | 55268,72 | 15,89 | 287,50 |
| | 0 | 16 | 48,80 | 51,20 | 25,86 | 25,36 | 25,50 | 25,37 | 26,14 | 25,65 | 64078,07 | 19,13 | 298,54 |
| | 0 | 16 | 50,60 | 51,00 | 26,32 | 25,60 | 25,63 | 26,12 | 26,11 | 25,96 | 66982,05 | 21,21 | 316,65 |
| | 0 | 16 | 51,10 | 51,80 | 21,83 | 20,58 | 20,98 | 21,90 | 20,85 | 21,23 | 56190,09 | 15,10 | 268,73 |
| T62 | 0 | 16 | 50,60 | 48,00 | 21,90 | 22,17 | 22,44 | 21,18 | 21,34 | 21,81 | 52962,41 | 18,31 | 345,72 |
| | 0 | 16 | 50,70 | 49,00 | 22,57 | 21,38 | 22,46 | 22,57 | 21,65 | 22,13 | 54967,62 | 18,13 | 329,83 |
| | 0 | 16 | 50,50 | 49,30 | 22,15 | 21,33 | 22,30 | 21,82 | 21,35 | 21,79 | 54249,47 | 16,85 | 310,60 |
| | 0 | 16 | 47,90 | 49,70 | 22,06 | 21,04 | 21,59 | 22,29 | 21,95 | 21,79 | 51864,41 | 16,77 | 323,34 |
| | 0 | 16 | 48,40 | 48,30 | 22,60 | 22,91 | 22,83 | 22,04 | 21,94 | 22,46 | 52514,54 | 17,98 | 342,38 |
| | 0 | 16 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T63 | 0 | 16 | 49,90 | 49,30 | 22,33 | 22,69 | 22,64 | 22,64 | 22,14 | 22,49 | 55322,05 | 20,36 | 368,03 |
| | 0 | 16 | 49,90 | 49,30 | 23,25 | 22,61 | 22,43 | 22,77 | 23,14 | 22,84 | 56188,00 | 20,78 | 369,83 |
| | 0 | 16 | 50,00 | 49,50 | 22,95 | 22,82 | 22,79 | 22,86 | 22,57 | 22,80 | 56425,05 | 21,94 | 388,83 |
| | 0 | 16 | 50,00 | 50,00 | 20,94 | 21,73 | 21,09 | 21,55 | 21,47 | 21,36 | 53390,00 | 18,83 | 352,69 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 0 | 16 | 49,70 | 50,00 | 21,34 | 21,40 | 21,43 | 21,25 | 21,18 | 21,32 | 52980,20 | 19,92 | 375,99 |
| | 0 | 16 | 49,50 | 49,90 | 21,48 | 21,81 | 21,44 | 21,43 | 21,73 | 21,58 | 53298,74 | 20,18 | 378,62 |
| T71 | 5 | 16 | 50,50 | 49,70 | 20,13 | 20,84 | 20,61 | 20,20 | 20,24 | 20,40 | 51210,98 | 25,26 | 493,25 |
| | 5 | 16 | 49,70 | 50,70 | 19,88 | 19,91 | 19,92 | 19,91 | 19,79 | 19,88 | 50098,46 | 23,64 | 471,87 |
| | 5 | 16 | 49,20 | 50,80 | 21,37 | 21,40 | 21,21 | 21,04 | 21,44 | 21,29 | 53216,37 | 22,89 | 430,13 |
| | 5 | 16 | 50,80 | 50,30 | 20,95 | 20,91 | 0,64 | 20,97 | 21,09 | 16,91 | 43214,22 | 26,62 | 616,00 |
| | 5 | 16 | 50,00 | 50,30 | 20,95 | 21,26 | 21,15 | 20,59 | 21,26 | 21,04 | 52920,63 | 25,08 | 473,92 |
| | 5 | 16 | 49,30 | 50,20 | 20,86 | 21,01 | 20,37 | 20,41 | 21,07 | 20,74 | 51338,50 | 23,06 | 449,18 |
| | 5 | 16 | 49,10 | 50,70 | 21,58 | 21,37 | 21,24 | 21,42 | 21,97 | 21,52 | 53561,28 | 22,60 | 421,95 |
| T72 | 5 | 16 | 49,50 | 50,60 | 21,73 | 21,70 | 21,48 | 21,81 | 21,84 | 21,71 | 54382,05 | 21,01 | 386,34 |
| | 5 | 16 | 49,40 | 50,60 | 22,23 | 22,01 | 21,89 | 21,98 | 22,06 | 22,03 | 55077,07 | 23,14 | 420,14 |
| | 5 | 16 | 50,30 | 49,70 | 21,27 | 21,56 | 21,43 | 20,58 | 20,69 | 21,11 | 52763,10 | 21,14 | 400,66 |
| | 5 | 16 | 44,50 | 50,70 | 21,90 | 21,55 | 21,66 | 21,70 | 21,53 | 21,67 | 48886,26 | 23,47 | 480,09 |
| | 5 | 16 | 48,70 | 50,30 | 21,93 | 21,30 | 21,26 | 21,34 | 22,17 | 21,60 | 52911,58 | 22,64 | 427,88 |
| | 5 | 16 | 49,30 | 51,00 | 21,51 | 21,20 | 20,95 | 21,25 | 21,14 | 21,21 | 53328,30 | 24,03 | 450,61 |
| T73 | 5 | 16 | 49,80 | 51,00 | 21,82 | 21,79 | 20,13 | 20,44 | 20,97 | 21,03 | 53411,99 | 24,08 | 450,84 |
| | 5 | 16 | 49,00 | 48,50 | 22,24 | 20,71 | 22,07 | 20,07 | 19,88 | 20,99 | 49892,24 | 21,86 | 438,14 |
| | 5 | 16 | 51,00 | 50,70 | 21,54 | 21,49 | 21,43 | 21,33 | 21,24 | 21,41 | 55349,49 | 27,38 | 494,67 |
| | 5 | 16 | 51,00 | 50,30 | 21,65 | 21,34 | 21,30 | 21,34 | 21,40 | 21,41 | 54912,81 | 24,45 | 445,25 |
| | 5 | 16 | 50,30 | 50,00 | 21,76 | 21,51 | 21,28 | 21,13 | 21,40 | 21,42 | 53861,24 | 23,76 | 441,13 |
| | 10 | 16 | 50,70 | 48,90 | 19,40 | 19,61 | 19,26 | 19,07 | 19,17 | 19,30 | 47854,10 | 19,63 | 410,21 |
| T81 | 10 | 16 | 50,40 | 48,50 | 19,44 | 19,22 | 19,22 | 19,37 | 19,29 | 19,31 | 47196,48 | 20,91 | 443,04 |
| | 10 | 16 | 50,30 | 49,50 | 19,19 | 19,43 | 18,85 | 19,02 | 19,46 | 19,19 | 47780,22 | 24,13 | 505,02 |
| | 10 | 16 | 49,80 | 50,30 | 18,92 | 18,80 | 18,78 | 17,87 | 17,94 | 18,46 | 46246,20 | 23,70 | 512,47 |
| | 10 | 16 | 50,70 | 49,50 | 18,78 | 18,52 | 18,59 | 18,76 | 18,86 | 18,70 | 46935,47 | 24,28 | 517,31 |
| | 10 | 16 | 49,40 | 50,40 | 18,84 | 18,60 | 18,61 | 18,24 | 18,18 | 18,49 | 46045,62 | 22,79 | 494,94 |
| | 10 | 16 | 50,40 | 47,50 | 20,47 | 19,65 | 20,62 | 20,47 | 19,94 | 20,23 | 48430,62 | 17,94 | 370,43 |
| T82 | 10 | 16 | 49,40 | 49,80 | 19,78 | 19,06 | 19,40 | 19,80 | 20,02 | 19,61 | 48247,87 | 16,49 | 341,78 |
| | 10 | 16 | 50,70 | 49,70 | 19,56 | 19,26 | 19,31 | 19,60 | 19,63 | 19,47 | 49065,35 | 17,45 | 355,65 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 10 | 16 | 50,80 | 49,40 | 19,85 | 19,69 | 19,94 | 20,16 | 19,76 | 19,88 | 49889,26 | 20,83 | 417,52 |
| | 10 | 16 | 50,70 | 50,40 | 20,29 | 19,95 | 19,83 | 19,99 | 20,46 | 20,10 | 51371,35 | 21,53 | 419,11 |
| | 10 | 16 | 50,40 | 50,20 | 19,47 | 19,34 | 18,67 | 19,08 | 19,81 | 19,27 | 48764,76 | 20,81 | 426,74 |
| T83 | 10 | 16 | 50,00 | 50,20 | 22,52 | 22,53 | 22,06 | 22,39 | 22,34 | 22,37 | 56143,68 | 25,04 | 446,00 |
| | 10 | 16 | 50,60 | 50,80 | 22,17 | 22,40 | 22,09 | 21,74 | 21,88 | 22,06 | 56694,51 | 23,91 | 421,73 |
| | 10 | 16 | 50,60 | 50,70 | 22,04 | 22,14 | 21,79 | 21,44 | 21,53 | 21,79 | 55895,37 | 23,73 | 424,54 |
| | 10 | 16 | 50,30 | 51,30 | 22,17 | 21,69 | 21,92 | 21,79 | 22,18 | 21,95 | 56639,56 | 24,59 | 434,15 |
| | 10 | 16 | 51,10 | 50,20 | 22,48 | 22,30 | 22,06 | 22,33 | 22,12 | 22,26 | 57096,67 | 25,18 | 441,01 |
| | 10 | 16 | 51,50 | 50,50 | 22,60 | 22,13 | 22,33 | 22,37 | 22,63 | 22,41 | 58288,01 | 25,69 | 440,74 |
| T91 | 20 | 16 | 50,80 | 50,10 | 16,42 | 16,62 | 16,59 | 16,23 | 16,11 | 16,39 | 41724,04 | 20,81 | 498,75 |
| | 20 | 16 | 50,60 | 50,10 | 16,58 | 16,28 | 16,92 | 16,44 | 16,80 | 16,60 | 42092,14 | 21,15 | 502,47 |
| | 20 | 16 | 50,30 | 50,30 | 17,16 | 17,31 | 16,84 | 16,83 | 16,87 | 17,00 | 43016,59 | 23,13 | 537,70 |
| | 20 | 16 | 50,40 | 50,60 | 16,63 | 16,85 | 16,77 | 16,41 | 16,54 | 16,64 | 42435,99 | 20,52 | 483,55 |
| | 20 | 16 | 50,30 | 50,60 | 17,22 | 16,40 | 16,83 | 17,77 | 16,23 | 16,89 | 42988,09 | 17,42 | 405,23 |
| | 20 | 16 | 50,40 | 50,20 | 16,95 | 16,35 | 15,79 | 16,79 | 16,64 | 16,50 | 41756,44 | 16,81 | 402,57 |
| T92 | 20 | 16 | 51,00 | 51,30 | 20,23 | 20,39 | 20,05 | 20,23 | 20,29 | 20,24 | 52948,68 | 26,64 | 503,13 |
| | 20 | 16 | 50,90 | 51,20 | 20,50 | 20,33 | 20,14 | 20,25 | 20,52 | 20,35 | 53028,52 | 26,79 | 505,20 |
| | 20 | 16 | 50,70 | 51,20 | 20,83 | 20,80 | 20,83 | 20,39 | 20,42 | 20,65 | 53614,48 | 29,65 | 553,02 |
| | 20 | 16 | 50,80 | 51,40 | 20,69 | 20,71 | 20,57 | 20,35 | 20,40 | 20,54 | 53642,85 | 29,40 | 548,07 |
| | 20 | 16 | 50,50 | 51,30 | 20,52 | 20,36 | 20,32 | 20,18 | 20,49 | 20,37 | 52781,90 | 26,77 | 507,18 |
| | 20 | 16 | 49,20 | 49,50 | 20,51 | 20,08 | 20,33 | 20,99 | 20,30 | 20,44 | 49784,45 | 21,59 | 433,67 |
| T93 | 20 | 16 | 50,30 | 50,50 | 17,72 | 16,66 | 17,81 | 17,55 | 17,48 | 17,44 | 44310,38 | 21,28 | 480,25 |
| | 20 | 16 | 50,40 | 50,80 | 17,76 | 17,30 | 17,68 | 17,58 | 17,44 | 17,55 | 44938,74 | 21,14 | 470,42 |
| | 20 | 16 | 50,90 | 50,70 | 17,09 | 17,58 | 17,35 | 17,17 | 17,27 | 17,29 | 44624,25 | 19,68 | 441,02 |
| | 20 | 16 | 50,60 | 50,80 | 17,57 | 17,61 | 17,38 | 17,09 | 17,27 | 17,38 | 44685,22 | 20,90 | 467,72 |
| | 20 | 16 | 50,80 | 50,50 | 17,37 | 17,45 | 17,26 | 16,71 | 17,14 | 17,19 | 44088,96 | 21,47 | 486,97 |
| | 20 | 16 | 50,80 | 50,90 | 16,49 | 16,89 | 17,08 | 16,83 | 16,66 | 16,79 | 43414,24 | 21,15 | 487,17 |
| T101 | 30 | 16 | 51,10 | 49,00 | 17,94 | 17,82 | 17,74 | 17,68 | 17,91 | 17,82 | 44614,49 | 21,12 | 473,39 |
| | 30 | 16 | 51,10 | 48,60 | 17,36 | 17,52 | 17,33 | 17,53 | 17,74 | 17,50 | 43450,62 | 19,83 | 456,38 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 30 | 16 | 51,00 | 48,00 | 17,27 | 17,22 | 17,03 | 17,19 | 16,57 | 17,06 | 41753,09 | 18,78 | 449,79 |
| | 30 | 16 | 51,20 | 48,00 | 17,66 | 17,59 | 17,33 | 17,26 | 17,29 | 17,43 | 42826,14 | 25,44 | 594,03 |
| | 30 | 16 | 51,30 | 47,70 | 17,79 | 17,25 | 17,43 | 17,57 | 17,62 | 17,53 | 42900,98 | 25,38 | 591,59 |
| | 30 | 16 | 50,30 | 40,70 | 17,72 | 16,94 | 17,13 | 16,49 | 16,69 | 16,99 | 34790,29 | 21,81 | 626,90 |
| | 30 | 16 | 50,60 | 49,00 | 16,39 | 16,49 | 16,54 | 16,24 | 16,07 | 16,35 | 40528,27 | 21,90 | 540,36 |
| | 30 | 16 | 49,00 | 50,40 | 16,64 | 16,49 | 16,20 | 16,29 | 16,29 | 16,38 | 40456,99 | 21,38 | 528,46 |
| T102 | 30 | 16 | 58,90 | 50,80 | 16,41 | 16,31 | 16,07 | 16,07 | 16,25 | 16,22 | 48538,17 | 21,58 | 444,60 |
| | 30 | 16 | 49,20 | 50,70 | 16,28 | 16,08 | 15,92 | 16,00 | 16,06 | 16,07 | 40080,66 | 20,49 | 511,22 |
| | 30 | 16 | 48,60 | 50,50 | 16,07 | 15,75 | 15,98 | 15,88 | 15,33 | 15,80 | 38782,85 | 18,87 | 486,56 |
| | 30 | 16 | 49,50 | 50,60 | 16,12 | 15,86 | 16,44 | 15,88 | 15,02 | 15,86 | 39734,56 | 17,83 | 448,73 |
| | 30 | 16 | 50,80 | 59,60 | 17,37 | 17,15 | 17,22 | 17,41 | 17,13 | 17,26 | 52245,65 | 23,99 | 459,18 |
| | 30 | 16 | 49,90 | 50,30 | 17,62 | 16,92 | 17,07 | 17,90 | 17,20 | 17,34 | 43527,90 | 24,58 | 564,70 |
| T103 | 30 | 16 | 48,90 | 50,40 | 17,48 | 16,99 | 17,33 | 17,01 | 17,14 | 17,19 | 42365,79 | 22,65 | 534,63 |
| | 30 | 16 | 48,70 | 49,50 | 17,57 | 17,57 | 17,16 | 17,48 | 17,69 | 17,49 | 42171,91 | 21,75 | 515,75 |
| | 30 | 16 | 49,40 | 50,40 | 17,25 | 17,67 | 17,78 | 17,21 | 17,03 | 17,39 | 43291,95 | 24,25 | 560,15 |
| | 30 | 16 | 49,40 | 50,60 | 17,74 | 17,67 | 17,59 | 17,44 | 17,27 | 17,54 | 43848,68 | 25,27 | 576,30 |

Tabela 22 – Tabela das medidas realizadas para o teste de Teor de Umidade.

| TEOR DE UMIDADE | | | | | |
|-----------------|--------|----------|----------------|---------------|-------------|
| TRATAMENTO | % LODO | % RESINA | PESO UMIDO (g) | PESO SECO (g) | UMIDADE (%) |
| T11 | 0 | 12 | 23,43 | 20,50 | 14,29 |
| | 0 | 12 | 22,23 | 19,47 | 14,18 |
| | 0 | 12 | 21,21 | 18,57 | 14,22 |
| | 0 | 12 | 23,22 | 20,31 | 14,33 |
| | 0 | 12 | 23,73 | 20,73 | 14,47 |
| | 0 | 12 | 24,47 | 21,40 | 14,35 |
| T12 | 0 | 12 | 25,41 | 22,30 | 13,95 |
| | 0 | 12 | 23,81 | 20,92 | 13,81 |
| | 0 | 12 | 21,76 | 19,03 | 14,35 |
| | 0 | 12 | 25,33 | 22,18 | 14,20 |
| | 0 | 12 | 27,35 | 23,79 | 14,96 |
| | 0 | 12 | 26,86 | 23,47 | 14,44 |
| T13 | 0 | 12 | 20,28 | 17,75 | 14,25 |
| | 0 | 12 | 19,57 | 17,13 | 14,24 |
| | 0 | 12 | 17,76 | 15,58 | 13,99 |
| | 0 | 12 | 22,45 | 19,62 | 14,42 |
| | 0 | 12 | 23,49 | 20,42 | 15,03 |
| | 0 | 12 | 21,25 | 18,52 | 14,74 |
| T21 | 5 | 12 | 18,79 | 16,42 | 14,43 |
| | 5 | 12 | 16,71 | 14,62 | 14,30 |
| | 5 | 12 | 15,35 | 13,53 | 13,45 |
| | 5 | 12 | 24,36 | 21,34 | 14,15 |
| | 5 | 12 | 20,69 | 18,11 | 14,25 |

| | | | | | |
|-----|----|----|-------|-------|-------|
| | 5 | 12 | 23,05 | 20,25 | 13,83 |
| T22 | 5 | 12 | 20,09 | 17,59 | 14,21 |
| | 5 | 12 | 20,79 | 18,17 | 14,42 |
| | 5 | 12 | 17,10 | 15,00 | 14,00 |
| | 5 | 12 | 24,08 | 21,04 | 14,45 |
| | 5 | 12 | 24,48 | 21,35 | 14,66 |
| | 5 | 12 | 22,19 | 19,33 | 14,80 |
| T23 | 5 | 12 | 20,88 | 18,44 | 13,23 |
| | 5 | 12 | 19,50 | 17,17 | 13,57 |
| | 5 | 12 | 20,51 | 17,99 | 14,01 |
| | 5 | 12 | 21,92 | 19,26 | 13,81 |
| | 5 | 12 | 22,31 | 19,62 | 13,71 |
| | 5 | 12 | 21,70 | 19,09 | 13,67 |
| T31 | 10 | 12 | 23,01 | 19,92 | 15,51 |
| | 10 | 12 | 21,85 | 18,65 | 17,16 |
| | 10 | 12 | 25,82 | 22,36 | 15,47 |
| | 10 | 12 | 27,26 | 23,56 | 15,70 |
| | 10 | 12 | 27,31 | 23,52 | 16,11 |
| | 10 | 12 | 28,07 | 24,11 | 16,42 |
| T32 | 10 | 12 | 21,14 | 18,30 | 15,52 |
| | 10 | 12 | 21,73 | 18,72 | 16,08 |
| | 10 | 12 | 22,51 | 19,45 | 15,73 |
| | 10 | 12 | 21,92 | 19,05 | 15,07 |
| | 10 | 12 | 20,92 | 18,18 | 15,07 |
| | 10 | 12 | 19,38 | 16,78 | 15,49 |
| T33 | 10 | 12 | 20,24 | 17,65 | 14,67 |
| | 10 | 12 | 18,34 | 15,94 | 15,06 |
| | 10 | 12 | 20,35 | 17,74 | 14,71 |
| | 10 | 12 | 18,68 | 16,25 | 14,95 |

| | | | | | |
|-----|----|----|-------|-------|-------|
| | 10 | 12 | 18,32 | 16,02 | 14,36 |
| | 10 | 12 | - | - | - |
| | 20 | 12 | 27,02 | 24,40 | 10,74 |
| | 20 | 12 | 29,34 | 26,44 | 10,97 |
| T41 | 20 | 12 | 30,18 | 27,46 | 9,91 |
| | 20 | 12 | 29,01 | 26,31 | 10,26 |
| | 20 | 12 | 28,94 | 26,06 | 11,05 |
| | 20 | 12 | 28,33 | 25,54 | 10,92 |
| | 20 | 12 | 23,80 | 21,36 | 11,42 |
| | 20 | 12 | 21,94 | 19,72 | 11,26 |
| T42 | 20 | 12 | 16,83 | 15,11 | 11,38 |
| | 20 | 12 | 22,25 | 20,02 | 11,14 |
| | 20 | 12 | 21,43 | 19,31 | 10,98 |
| | 20 | 12 | 23,36 | 20,81 | 12,25 |
| | 20 | 12 | 16,48 | 14,80 | 11,35 |
| | 20 | 12 | 18,82 | 15,98 | 17,77 |
| T43 | 20 | 12 | 19,45 | 17,51 | 11,08 |
| | 20 | 12 | 18,82 | 16,99 | 10,77 |
| | 20 | 12 | 17,40 | 15,69 | 10,90 |
| | 20 | 12 | 16,78 | 15,14 | 10,83 |
| | 30 | 12 | 17,18 | 15,26 | 12,58 |
| | 30 | 12 | 14,76 | 12,91 | 14,33 |
| T51 | 30 | 12 | 17,04 | 14,90 | 14,36 |
| | 30 | 12 | 16,61 | 14,57 | 14,00 |
| | 30 | 12 | 15,54 | 13,59 | 14,35 |
| | 30 | 12 | 17,33 | 15,31 | 13,19 |
| | 30 | 12 | 21,64 | 18,89 | 14,56 |
| T52 | 30 | 12 | 20,43 | 17,87 | 14,33 |
| | 30 | 12 | 17,58 | 15,33 | 14,68 |

| | | | | | |
|-----|----|----|-------|-------|-------|
| | 30 | 12 | 20,74 | 17,97 | 15,41 |
| | 30 | 12 | 15,28 | 13,25 | 15,32 |
| | 30 | 12 | 18,32 | 15,94 | 14,93 |
| | 30 | 12 | 20,24 | 17,41 | 16,26 |
| | 30 | 12 | 21,28 | 18,28 | 16,41 |
| T53 | 30 | 12 | 19,43 | 16,65 | 16,70 |
| | 30 | 12 | 24,73 | 21,39 | 15,61 |
| | 30 | 12 | 17,25 | 14,97 | 15,23 |
| | 30 | 12 | 18,08 | 15,58 | 16,05 |
| | 0 | 16 | 21,74 | 18,08 | 20,24 |
| | 0 | 16 | 19,33 | 16,10 | 20,06 |
| T61 | 0 | 16 | 15,89 | 13,27 | 19,74 |
| | 0 | 16 | 19,13 | 15,98 | 19,71 |
| | 0 | 16 | 21,21 | 17,55 | 20,85 |
| | 0 | 16 | 15,10 | 12,77 | 18,25 |
| | 0 | 16 | 18,31 | 15,63 | 17,15 |
| | 0 | 16 | 18,13 | 15,19 | 19,35 |
| T62 | 0 | 16 | 16,85 | 14,20 | 18,66 |
| | 0 | 16 | 16,77 | 14,09 | 19,02 |
| | 0 | 16 | 17,98 | 15,09 | 19,15 |
| | 0 | 16 | - | - | - |
| | 0 | 16 | 20,36 | 17,65 | 15,35 |
| | 0 | 16 | 20,78 | 18,06 | 15,06 |
| T63 | 0 | 16 | 21,94 | 19,07 | 15,05 |
| | 0 | 16 | 18,83 | 16,44 | 14,54 |
| | 0 | 16 | 19,92 | 17,37 | 14,68 |
| | 0 | 16 | 20,18 | 17,59 | 14,72 |
| T71 | 5 | 16 | 25,26 | 22,24 | 13,58 |
| | 5 | 16 | 23,64 | 21,01 | 12,52 |

| | | | | | |
|-----|----|----|-------|-------|-------|
| | 5 | 16 | 22,89 | 20,12 | 13,77 |
| | 5 | 16 | 26,62 | 23,53 | 13,13 |
| | 5 | 16 | 25,08 | 22,09 | 13,54 |
| | 5 | 16 | 23,06 | 20,45 | 12,76 |
| T72 | 5 | 16 | 22,60 | 19,91 | 13,51 |
| | 5 | 16 | 21,01 | 18,44 | 13,94 |
| | 5 | 16 | 23,14 | 20,23 | 14,38 |
| | 5 | 16 | 21,14 | 18,62 | 13,53 |
| | 5 | 16 | 23,47 | 20,61 | 13,88 |
| | 5 | 16 | 22,64 | 18,18 | 24,53 |
| T73 | 5 | 16 | 24,03 | 21,02 | 14,32 |
| | 5 | 16 | 24,08 | 21,08 | 14,23 |
| | 5 | 16 | 21,86 | 19,21 | 13,79 |
| | 5 | 16 | 27,38 | 23,94 | 14,37 |
| | 5 | 16 | 24,45 | 21,38 | 14,36 |
| | 5 | 16 | 23,76 | 20,80 | 14,23 |
| T81 | 10 | 16 | 19,63 | 17,34 | 13,21 |
| | 10 | 16 | 20,91 | 18,38 | 13,76 |
| | 10 | 16 | 24,13 | 21,20 | 13,82 |
| | 10 | 16 | 23,70 | 20,92 | 13,29 |
| | 10 | 16 | 24,28 | 21,47 | 13,09 |
| | 10 | 16 | 22,79 | 20,17 | 12,99 |
| T82 | 10 | 16 | 17,94 | 15,94 | 12,55 |
| | 10 | 16 | 16,49 | 14,67 | 12,41 |
| | 10 | 16 | 17,45 | 15,60 | 11,86 |
| | 10 | 16 | 20,83 | 18,45 | 12,90 |
| | 10 | 16 | 21,53 | 19,12 | 12,60 |
| | 10 | 16 | 20,81 | 18,53 | 12,30 |
| T83 | 10 | 16 | 25,04 | 22,16 | 13,00 |

| | | | | | |
|------|----|----|-------|-------|-------|
| | 10 | 16 | 23,91 | 21,16 | 13,00 |
| | 10 | 16 | 23,73 | 20,97 | 13,16 |
| | 10 | 16 | 24,59 | 21,69 | 13,37 |
| | 10 | 16 | 25,18 | 22,17 | 13,58 |
| | 10 | 16 | 25,69 | 22,69 | 13,22 |
| | 20 | 16 | 20,81 | 18,59 | 11,94 |
| | 20 | 16 | 21,15 | 18,87 | 12,08 |
| T91 | 20 | 16 | 23,13 | 20,54 | 12,61 |
| | 20 | 16 | 20,52 | 18,49 | 10,98 |
| | 20 | 16 | 17,42 | 15,76 | 10,53 |
| | 20 | 16 | 16,81 | 15,15 | 10,96 |
| | 20 | 16 | 26,64 | 23,66 | 12,60 |
| | 20 | 16 | 26,79 | 23,69 | 13,09 |
| T92 | 20 | 16 | 29,65 | 26,22 | 13,08 |
| | 20 | 16 | 29,40 | 26,01 | 13,03 |
| | 20 | 16 | 26,77 | 23,72 | 12,86 |
| | 20 | 16 | 21,59 | 19,14 | 12,80 |
| | 20 | 16 | 21,28 | 18,85 | 12,89 |
| | 20 | 16 | 21,14 | 18,67 | 13,23 |
| T93 | 20 | 16 | 19,68 | 17,39 | 13,17 |
| | 20 | 16 | 20,90 | 18,42 | 13,46 |
| | 20 | 16 | 21,47 | 18,98 | 13,12 |
| | 20 | 16 | 21,15 | 18,80 | 12,50 |
| | 30 | 16 | 21,12 | 18,83 | 12,16 |
| | 30 | 16 | 19,83 | 17,66 | 12,29 |
| T101 | 30 | 16 | 18,78 | 16,78 | 11,92 |
| | 30 | 16 | 25,44 | 22,85 | 11,33 |
| | 30 | 16 | 25,38 | 22,65 | 12,05 |
| | 30 | 16 | 21,81 | 19,42 | 12,31 |

| | | | | | |
|------|----|----|-------|-------|-------|
| | 30 | 16 | 21,90 | 19,66 | 11,39 |
| | 30 | 16 | 21,38 | 19,09 | 12,00 |
| T102 | 30 | 16 | 21,58 | 19,25 | 12,10 |
| | 30 | 16 | 20,49 | 18,20 | 12,58 |
| | 30 | 16 | 18,87 | 16,76 | 12,59 |
| | 30 | 16 | 17,83 | 15,86 | 12,42 |
| | 30 | 16 | 23,99 | 21,31 | 12,58 |
| | 30 | 16 | 24,58 | 21,81 | 12,70 |
| T103 | 30 | 16 | 22,65 | 20,09 | 12,74 |
| | 30 | 16 | 21,75 | 19,29 | 12,75 |
| | 30 | 16 | 24,25 | 21,54 | 12,58 |
| | 30 | 16 | 25,27 | 22,47 | 12,46 |

Tabela 23 – Tabela das medidas realizadas para os testes de AA e IE após 2h e 24h.

| TRAT. | ESPESSURA (mm) | PESO (g) | APÓS 2 HORAS | | APÓS 24 HORAS | | INCHAMENTO EM ESPESSURA (%) APÓS 2 HORAS | INCHAMENTO EM ESPESSURA (%) APÓS 24 HORAS | ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) APÓS 2 HORAS | ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) APÓS 24 HORAS |
|-------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|--|---|---|--|
| | | | ESPESSURA (mm) | PESO (g) | ESPESSURA (mm) | PESO (g) | | | | |
| T11 | 22,74 | 20,02 | 24,97 | 41,24 | 26,05 | 43,17 | 9,81 | 14,56 | 106,03 | 115,64 |
| | 23,00 | 20,04 | 25,76 | 41,12 | 27,00 | 42,50 | 12,00 | 17,39 | 105,16 | 112,03 |
| | 22,60 | 18,15 | 25,00 | 37,72 | 26,88 | 38,46 | 10,62 | 18,94 | 107,88 | 111,91 |
| | 22,36 | 23,39 | 25,00 | 41,86 | 26,48 | 51,13 | 11,81 | 18,43 | 78,95 | 118,61 |
| | 22,62 | 22,12 | 24,34 | 37,55 | 26,64 | 47,38 | 7,60 | 17,77 | 69,75 | 114,20 |
| | 22,60 | 20,62 | 25,25 | 37,43 | 26,42 | 46,71 | 11,73 | 16,90 | 81,48 | 126,50 |
| T12 | 20,80 | 20,59 | 22,42 | 27,56 | 24,12 | 40,38 | 7,79 | 15,96 | 33,85 | 96,11 |
| | 21,00 | 21,40 | 22,55 | 36,54 | 24,62 | 45,79 | 7,38 | 17,24 | 70,79 | 113,99 |
| | 21,30 | 21,83 | 22,82 | 30,74 | 24,76 | 46,85 | 7,14 | 16,24 | 40,81 | 114,61 |
| | 20,90 | 22,15 | 21,81 | 31,08 | 23,72 | 41,69 | 4,35 | 13,49 | 40,32 | 88,19 |
| | 20,30 | 22,33 | 21,61 | 29,83 | 23,70 | 45,04 | 6,45 | 16,75 | 33,58 | 101,68 |
| | 20,90 | 21,94 | 22,00 | 27,98 | 23,44 | 39,99 | 5,26 | 12,15 | 27,50 | 82,23 |
| T13 | 24,08 | 25,98 | 26,23 | 53,34 | 27,16 | 53,81 | 8,93 | 12,79 | 105,29 | 107,12 |
| | 23,96 | 25,35 | 26,36 | 53,16 | 27,14 | 58,13 | 10,02 | 13,27 | 109,66 | 129,29 |
| | 24,54 | 25,31 | 27,00 | 52,64 | 27,74 | 57,37 | 10,02 | 13,04 | 107,99 | 126,67 |
| | 24,20 | 24,31 | 26,00 | 49,29 | 27,20 | 53,61 | 7,44 | 12,40 | 102,75 | 120,51 |
| | 24,00 | 19,09 | 25,33 | 44,36 | 26,58 | 45,43 | 5,54 | 10,75 | 132,42 | 137,99 |
| | 22,90 | 18,53 | 25,00 | 42,52 | 26,32 | 41,80 | 9,17 | 14,93 | 129,47 | 125,58 |
| T21 | 21,88 | 21,39 | 23,78 | 31,19 | 25,36 | 40,08 | 8,68 | 15,90 | 45,78 | 87,32 |
| | 21,90 | 21,49 | 23,52 | 32,46 | 25,72 | 43,72 | 7,40 | 17,44 | 51,03 | 103,42 |
| | 21,92 | 20,92 | 23,65 | 31,33 | 25,00 | 43,31 | 7,89 | 14,05 | 49,75 | 106,99 |
| | 22,38 | 21,43 | 24,00 | 34,51 | 25,30 | 44,25 | 7,24 | 13,05 | 61,04 | 106,49 |
| | 22,16 | 19,64 | 24,00 | 31,58 | 25,90 | 39,60 | 8,30 | 16,88 | 60,85 | 101,67 |
| | 22,08 | 20,22 | 23,23 | 32,95 | - | - | 5,21 | - | 62,93 | - |
| T22 | 21,58 | 24,84 | 23,00 | 38,10 | 24,80 | 46,83 | 6,58 | 14,92 | 53,35 | 88,51 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 20,82 | 21,38 | 22,77 | 35,22 | 24,00 | 45,44 | 9,37 | 15,27 | 64,75 | 112,55 |
| | 20,16 | 19,55 | 22,00 | 34,85 | 23,05 | 43,96 | 9,13 | 14,34 | 78,27 | 124,87 |
| | 20,30 | 23,74 | 21,76 | 38,53 | 22,86 | 45,14 | 7,19 | 12,61 | 62,31 | 90,17 |
| | 20,80 | 23,90 | 22,42 | 38,93 | 23,84 | 46,85 | 7,79 | 14,62 | 62,89 | 96,02 |
| | 21,10 | 23,24 | 23,00 | 37,98 | 24,00 | 47,61 | 9,00 | 13,74 | 63,40 | 104,84 |
| | 20,30 | 20,51 | 22,85 | 37,68 | 23,82 | 42,59 | 12,56 | 17,34 | 83,70 | 107,65 |
| | 20,14 | 19,02 | 22,78 | 37,43 | - | - | 13,11 | - | 96,82 | - |
| T23 | 20,10 | 20,15 | 22,42 | 35,95 | 22,86 | 43,87 | 11,54 | 13,73 | 78,43 | 117,72 |
| | 20,14 | 20,20 | 22,76 | 36,25 | 22,66 | 42,85 | 13,01 | 12,51 | 79,44 | 112,12 |
| | 20,08 | 21,04 | 22,85 | 38,36 | 24,44 | 41,68 | 13,79 | 21,71 | 82,27 | 98,08 |
| | 20,34 | 19,66 | 23,00 | 37,10 | 24,00 | 41,57 | 13,08 | 17,99 | 88,73 | 111,48 |
| | 23,02 | 21,29 | 24,00 | 33,92 | 25,60 | 41,22 | 4,26 | 11,21 | 59,28 | 93,56 |
| | 22,86 | 21,10 | 24,52 | 33,32 | 25,40 | 38,61 | 7,26 | 11,11 | 57,90 | 82,94 |
| T31 | 23,00 | 20,26 | 24,00 | 29,94 | 25,52 | 38,23 | 4,35 | 10,96 | 47,74 | 88,64 |
| | 24,92 | 22,31 | 26,66 | 37,48 | 28,24 | 48,89 | 6,98 | 13,32 | 67,99 | 119,16 |
| | 23,54 | 26,50 | 25,00 | 39,27 | 26,00 | 48,91 | 6,20 | 10,45 | 48,21 | 84,58 |
| | 23,04 | 24,47 | 24,60 | 38,96 | 25,32 | 44,10 | 6,77 | 9,90 | 59,18 | 80,19 |
| | 21,40 | 21,67 | 23,00 | 34,79 | 24,00 | 40,21 | 7,48 | 12,15 | 60,56 | 85,61 |
| | 21,30 | 19,86 | 23,20 | 35,23 | 24,00 | 39,51 | 8,92 | 12,68 | 77,40 | 98,91 |
| T32 | 20,46 | 22,35 | 23,00 | 37,81 | 23,46 | 40,89 | 12,41 | 14,66 | 69,23 | 83,01 |
| | 20,48 | 20,52 | 22,00 | 36,41 | 22,56 | 39,48 | 7,42 | 10,16 | 77,47 | 92,44 |
| | 20,00 | 20,00 | 21,00 | 37,31 | 22,00 | 41,43 | 5,00 | 10,00 | 86,55 | 107,13 |
| | 19,62 | 19,93 | 21,45 | 36,70 | 22,50 | 39,88 | 9,33 | 14,68 | 84,11 | 100,10 |
| | 19,00 | 19,90 | 20,45 | 30,26 | 21,74 | 37,98 | 7,63 | 14,42 | 52,12 | 90,90 |
| | 20,28 | 23,09 | 21,34 | 30,04 | 23,34 | 47,75 | 5,23 | 15,09 | 30,11 | 106,79 |
| T33 | 19,98 | 22,90 | 20,75 | 29,25 | 22,00 | 42,54 | 3,85 | 10,11 | 27,73 | 85,75 |
| | 19,20 | 21,64 | 20,65 | 27,62 | 22,42 | 39,33 | 7,55 | 16,77 | 27,62 | 81,72 |
| | 19,82 | 20,63 | 21,00 | 29,89 | 22,16 | 40,60 | 5,95 | 11,81 | 44,89 | 96,78 |
| | 19,30 | 20,28 | 20,60 | 29,61 | 21,62 | 38,43 | 6,74 | 12,02 | 46,03 | 89,55 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| T41 | 18,24 | 26,37 | 20,86 | 44,45 | 21,70 | 50,16 | 14,36 | 18,97 | 68,55 | 90,20 |
| | 18,46 | 26,04 | 20,80 | 43,91 | 21,82 | 48,51 | 12,68 | 18,20 | 68,65 | 86,30 |
| | 19,80 | 24,67 | 20,86 | 39,44 | 22,00 | 44,02 | 5,35 | 11,11 | 59,87 | 78,45 |
| | 18,30 | 20,55 | 20,40 | 37,68 | 21,58 | 38,28 | 11,48 | 17,92 | 83,35 | 86,25 |
| | 18,80 | 21,59 | 21,20 | 40,76 | 22,56 | 40,86 | 12,77 | 20,00 | 88,81 | 89,30 |
| | 17,10 | 19,69 | 19,74 | 36,01 | 20,80 | 37,10 | 15,44 | 21,64 | 82,86 | 88,41 |
| T42 | 17,52 | 21,42 | 18,98 | 33,24 | 20,00 | 40,16 | 8,33 | 14,16 | 55,22 | 87,55 |
| | 17,00 | 17,65 | 18,44 | 29,20 | 19,82 | 36,45 | 8,47 | 16,59 | 65,44 | 106,50 |
| | 17,26 | 21,04 | 19,00 | 33,15 | 21,36 | 44,41 | 10,08 | 23,75 | 57,57 | 111,09 |
| | 16,88 | 18,99 | 18,50 | 32,50 | 19,78 | 35,18 | 9,60 | 17,18 | 71,17 | 85,27 |
| | 16,68 | 18,82 | 18,98 | 30,28 | 19,12 | 34,55 | 13,79 | 14,63 | 60,93 | 83,60 |
| | 16,88 | 19,28 | 18,24 | 23,01 | 19,52 | 35,55 | 8,06 | 15,64 | 19,35 | 84,43 |
| T43 | 17,50 | 25,85 | 19,72 | 43,76 | 21,00 | 48,59 | 12,69 | 20,00 | 69,28 | 87,96 |
| | 19,62 | 24,90 | 20,40 | 44,49 | 21,64 | 50,25 | 3,98 | 10,30 | 78,68 | 101,81 |
| | 18,00 | 22,61 | 20,50 | 39,72 | 20,00 | 40,67 | 13,89 | 11,11 | 75,69 | 79,91 |
| | 18,42 | 21,01 | 20,70 | 40,16 | 22,00 | 43,04 | 12,38 | 19,44 | 91,15 | 104,86 |
| | 18,70 | 20,16 | 21,50 | 39,48 | 22,94 | 40,98 | 14,97 | 22,67 | 95,87 | 103,31 |
| | 19,02 | 18,99 | 21,38 | 36,96 | 22,86 | 38,64 | 12,41 | 20,19 | 94,61 | 103,45 |
| T51 | 21,43 | 31,12 | 24,40 | 53,84 | 22,40 | 58,13 | 13,86 | 4,53 | 72,98 | 86,77 |
| | 21,68 | 30,68 | 23,94 | 52,78 | 26,38 | 57,69 | 10,42 | 21,68 | 72,05 | 88,06 |
| | 21,10 | 32,53 | 21,96 | 49,82 | 22,40 | 55,47 | 4,08 | 6,16 | 53,15 | 70,54 |
| | 21,08 | 34,76 | 23,00 | 54,98 | 24,42 | 60,59 | 9,11 | 15,84 | 58,18 | 74,31 |
| | 19,60 | 16,15 | 20,00 | 30,61 | 20,86 | 32,07 | 2,04 | 6,43 | 89,56 | 98,60 |
| | 21,30 | 28,49 | 25,22 | 54,48 | 26,88 | 57,97 | 18,40 | 26,20 | 91,25 | 103,50 |
| T52 | 23,30 | 24,20 | 25,00 | 43,24 | 25,92 | 45,50 | 7,30 | 11,24 | 78,67 | 88,01 |
| | 23,00 | 23,56 | 25,60 | 46,17 | 26,68 | 46,13 | 11,30 | 16,00 | 95,94 | 95,78 |
| | 21,80 | 26,36 | 23,70 | 49,42 | 24,72 | 53,09 | 8,72 | 13,39 | 87,45 | 101,39 |
| | 22,30 | 23,05 | 23,80 | 44,10 | 25,30 | 48,15 | 6,73 | 13,45 | 91,28 | 108,85 |
| | 22,40 | 27,73 | 24,20 | 49,64 | 25,60 | 54,55 | 8,04 | 14,29 | 79,00 | 96,70 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|--------|
| | 22,34 | 28,50 | 24,40 | 52,86 | 25,24 | 57,46 | 9,22 | 12,98 | 85,48 | 101,63 |
| T53 | 19,74 | 17,36 | 20,00 | 34,15 | 21,00 | 34,16 | 1,32 | 6,38 | 96,74 | 96,79 |
| | 19,40 | 17,27 | 19,68 | 29,83 | 20,70 | 32,76 | 1,44 | 6,70 | 72,68 | 89,65 |
| | 19,22 | 20,59 | 20,46 | 35,16 | 21,46 | 37,67 | 6,45 | 11,65 | 70,79 | 82,96 |
| | 19,20 | 19,94 | 20,58 | 35,31 | 21,54 | 36,26 | 7,19 | 12,19 | 77,05 | 81,82 |
| | 19,50 | 16,47 | 19,70 | 28,38 | 21,00 | 31,59 | 1,03 | 7,69 | 72,30 | 91,75 |
| | 18,80 | 16,67 | 20,00 | 30,45 | 21,24 | 30,02 | 6,38 | 12,98 | 82,67 | 80,11 |
| T61 | 25,00 | 22,76 | 25,98 | 36,54 | 27,00 | 41,50 | 3,92 | 8,00 | 60,56 | 82,34 |
| | 20,38 | 15,48 | 21,68 | 29,18 | - | - | 6,38 | - | 88,55 | - |
| | 25,80 | 20,29 | 26,88 | 38,24 | 27,27 | 38,24 | 4,19 | 5,70 | 88,47 | 88,47 |
| | 27,40 | 20,35 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 24,58 | 21,29 | 25,40 | 31,80 | 26,84 | 39,19 | 3,34 | 9,19 | 49,34 | 84,06 |
| | 27,18 | 22,27 | 28,64 | 37,91 | - | - | 5,37 | - | 70,19 | - |
| T62 | 23,60 | 15,95 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 23,44 | 17,27 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 23,50 | 17,54 | 24,80 | 28,52 | 25,18 | 33,51 | 5,53 | 7,15 | 62,64 | 91,04 |
| | 23,50 | 20,10 | 24,60 | 32,01 | 25,50 | 36,57 | 4,68 | 8,51 | 59,31 | 81,97 |
| | 24,00 | 19,78 | 24,94 | 30,99 | 25,62 | 35,97 | 3,92 | 6,75 | 56,73 | 81,87 |
| | 23,70 | 19,68 | 24,22 | 30,99 | 25,00 | 35,52 | 2,19 | 5,49 | 57,51 | 80,54 |
| T63 | 23,40 | 20,85 | 24,62 | 30,19 | 25,50 | 38,14 | 5,21 | 8,97 | 44,79 | 82,96 |
| | 22,90 | 22,34 | 23,54 | 32,28 | 25,00 | 41,57 | 2,79 | 9,17 | 44,47 | 86,06 |
| | 22,70 | 21,52 | 23,74 | 29,49 | 25,62 | 37,95 | 4,58 | 12,86 | 37,06 | 76,37 |
| | 22,28 | 23,14 | 23,60 | 33,83 | 24,72 | 41,69 | 5,92 | 10,95 | 46,16 | 80,15 |
| | 23,40 | 23,90 | 24,50 | 38,29 | 25,34 | 42,12 | 4,70 | 8,29 | 60,21 | 76,26 |
| | 23,44 | 23,10 | 24,32 | 36,39 | 25,74 | 42,72 | 3,75 | 9,81 | 57,52 | 84,92 |
| T71 | 20,88 | 21,34 | 22,10 | 42,97 | 23,46 | 41,52 | 5,84 | 12,36 | 101,34 | 94,54 |
| | 21,10 | 23,39 | 22,28 | 42,68 | 24,00 | 43,83 | 5,59 | 13,74 | 82,50 | 87,40 |
| | 21,54 | 25,70 | 23,08 | 38,28 | 24,62 | 43,03 | 7,15 | 14,30 | 48,94 | 67,42 |
| | 20,00 | 23,27 | 20,78 | 32,94 | 22,36 | 38,20 | 3,90 | 11,80 | 41,57 | 64,16 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 19,82 | 24,00 | 21,00 | 37,18 | 22,00 | 41,48 | 5,95 | 11,00 | 54,90 | 72,85 |
| | 20,00 | 23,06 | 21,40 | 33,42 | 22,44 | 39,71 | 7,00 | 12,20 | 44,93 | 72,22 |
| T72 | 20,66 | 21,84 | 21,60 | 33,74 | 23,00 | 38,38 | 4,55 | 11,33 | 54,46 | 75,71 |
| | 20,20 | 21,46 | 21,18 | 34,87 | 23,12 | 39,67 | 4,85 | 14,46 | 62,46 | 84,83 |
| | 20,18 | 21,70 | 20,20 | 31,07 | 22,26 | 37,22 | 0,10 | 10,31 | 43,18 | 71,51 |
| | 21,68 | 23,91 | 23,80 | 36,45 | 24,72 | 42,45 | 9,78 | 14,02 | 52,46 | 77,58 |
| | 21,18 | 23,54 | 22,18 | 39,29 | 23,60 | 41,10 | 4,72 | 11,43 | 66,94 | 74,60 |
| | 21,00 | 21,94 | 22,30 | 34,71 | 23,74 | 38,39 | 6,19 | 13,05 | 58,21 | 74,96 |
| | | 22,18 | 23,96 | 23,52 | 40,06 | 25,08 | 43,90 | 6,04 | 13,07 | 67,15 |
| T73 | 21,98 | 24,76 | 23,08 | 38,93 | 25,00 | 42,78 | 5,00 | 13,74 | 57,25 | 72,81 |
| | 22,60 | 26,62 | 23,34 | 39,39 | 24,86 | 44,69 | 3,27 | 10,00 | 47,97 | 67,87 |
| | 22,00 | 19,72 | 22,78 | 39,33 | 24,62 | 35,56 | 3,55 | 11,91 | 99,49 | 80,34 |
| | 22,00 | 21,26 | 24,10 | 41,13 | 25,12 | 38,73 | 9,55 | 14,18 | 93,45 | 82,14 |
| | 22,00 | 23,60 | 23,48 | 38,56 | 24,46 | 40,70 | 6,73 | 11,18 | 63,35 | 72,41 |
| | | 21,10 | 28,84 | 27,50 | 42,81 | 24,22 | 51,33 | 30,33 | 14,79 | 48,42 |
| T81 | 20,90 | 27,22 | 22,46 | 42,56 | 24,00 | 51,45 | 7,46 | 14,83 | 56,37 | 89,03 |
| | 21,00 | 24,26 | 23,38 | 38,43 | 24,00 | 49,57 | 11,33 | 14,29 | 58,38 | 104,30 |
| | 20,88 | 23,22 | 23,08 | 42,44 | 25,00 | 44,66 | 10,54 | 19,73 | 82,80 | 92,39 |
| | 21,09 | 24,34 | 23,18 | 42,93 | 25,64 | 47,85 | 9,91 | 21,57 | 76,39 | 96,63 |
| | 20,50 | 24,29 | 24,34 | 46,81 | 24,68 | 52,25 | 18,73 | 20,39 | 92,76 | 115,12 |
| | | 21,90 | 24,80 | 23,02 | 40,88 | 25,00 | 49,61 | 5,11 | 14,16 | 64,84 |
| T82 | 21,50 | 23,73 | 22,86 | 40,63 | 24,12 | 44,92 | 6,33 | 12,19 | 71,17 | 89,26 |
| | 21,20 | 22,66 | 22,58 | 35,61 | 24,00 | 41,96 | 6,51 | 13,21 | 57,19 | 85,20 |
| | 21,86 | 25,28 | 28,10 | 41,86 | 24,40 | 44,35 | 28,55 | 11,62 | 65,56 | 75,39 |
| | 21,38 | 22,20 | 22,56 | 35,20 | 23,40 | 42,41 | 5,52 | 9,45 | 58,58 | 91,07 |
| | 21,50 | 25,28 | 23,14 | 40,86 | 24,42 | 42,79 | 7,63 | 13,58 | 61,64 | 69,26 |
| | | 20,36 | 20,39 | 22,00 | 37,13 | 23,52 | 40,50 | 8,06 | 15,52 | 82,08 |
| T83 | 20,70 | 21,69 | 23,24 | 44,64 | 24,80 | 45,77 | 12,27 | 19,81 | 105,80 | 111,01 |
| | 21,30 | 27,72 | 22,20 | 42,18 | 24,12 | 50,06 | 4,23 | 13,24 | 52,16 | 80,60 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|--------|
| | 17,88 | 15,33 | 19,00 | 28,59 | - | - | 6,26 | - | 86,53 | - |
| | 19,20 | 18,09 | 20,72 | 33,31 | 22,56 | 35,56 | 7,92 | 17,50 | 84,14 | 96,59 |
| | 19,38 | 17,37 | 20,38 | 29,69 | 23,32 | 32,90 | 5,16 | 20,33 | 70,98 | 89,44 |
| T91 | 17,80 | 22,06 | 18,10 | 31,18 | 19,10 | 37,22 | 1,69 | 7,30 | 41,37 | 68,73 |
| | 17,88 | 24,64 | 19,00 | 33,65 | 19,72 | 39,22 | 6,26 | 10,29 | 36,55 | 59,17 |
| | 18,10 | 26,22 | 19,40 | 31,35 | 20,52 | 41,93 | 7,18 | 13,37 | 19,54 | 59,89 |
| | 18,22 | 26,43 | 19,12 | 35,46 | 20,44 | 41,96 | 4,94 | 12,18 | 34,17 | 58,75 |
| | 18,30 | 26,90 | 18,76 | 35,34 | 19,82 | 42,68 | 2,51 | 8,31 | 31,39 | 58,65 |
| | 17,90 | 22,98 | 18,74 | 35,22 | 19,00 | 40,03 | 4,69 | 6,15 | 53,25 | 74,18 |
| T92 | 18,98 | 25,62 | 20,64 | 43,28 | 20,88 | 46,01 | 8,75 | 10,01 | 68,91 | 79,55 |
| | 19,12 | 27,56 | 20,08 | 40,62 | 21,72 | 46,95 | 5,02 | 13,60 | 47,39 | 70,34 |
| | 19,30 | 26,23 | 20,48 | 42,48 | 21,20 | 46,75 | 6,11 | 9,84 | 61,97 | 78,24 |
| | 19,32 | 27,29 | 20,50 | 42,14 | 21,44 | 49,01 | 6,11 | 10,97 | 54,37 | 79,56 |
| | 19,40 | 24,68 | 20,36 | 39,68 | 21,34 | 42,37 | 4,95 | 10,00 | 60,80 | 71,68 |
| | 19,28 | 23,76 | 20,22 | 39,02 | 25,90 | 43,44 | 4,88 | 34,34 | 64,19 | 82,81 |
| T93 | 21,20 | 29,49 | 21,78 | 42,63 | 22,26 | 49,11 | 2,74 | 5,00 | 44,54 | 66,50 |
| | 21,10 | 26,99 | 21,70 | 42,28 | 22,72 | 48,26 | 2,84 | 7,68 | 56,62 | 78,79 |
| | 21,18 | 23,74 | 21,60 | 40,59 | 22,32 | 44,58 | 1,98 | 5,38 | 71,00 | 87,81 |
| | 20,70 | 27,25 | 21,58 | 42,30 | 23,00 | 46,64 | 4,25 | 11,11 | 55,23 | 71,16 |
| | 20,20 | 28,77 | 21,18 | 46,46 | 22,00 | 49,81 | 4,85 | 8,91 | 61,50 | 73,15 |
| | 19,36 | 29,12 | 19,52 | 46,37 | 21,34 | 51,12 | 0,83 | 10,23 | 59,24 | 75,55 |
| T101 | 19,68 | 28,23 | 20,50 | 44,76 | 20,80 | 49,72 | 4,17 | 5,69 | 58,57 | 76,13 |
| | 19,63 | 29,06 | 20,42 | 41,49 | 21,22 | 49,48 | 4,02 | 8,10 | 42,77 | 70,25 |
| | 19,62 | 33,06 | 20,26 | 45,82 | 21,12 | 50,04 | 3,26 | 7,65 | 38,60 | 51,38 |
| | 19,50 | 27,40 | 21,36 | 43,33 | 21,96 | 48,92 | 9,54 | 12,62 | 58,16 | 78,56 |
| | 19,60 | 26,82 | 21,20 | 43,28 | 21,54 | 45,74 | 8,16 | 9,90 | 61,38 | 70,57 |
| | 19,96 | 22,22 | 21,20 | 41,56 | 21,78 | 43,65 | 6,21 | 9,12 | 87,03 | 96,40 |
| T102 | 16,20 | 12,44 | 16,90 | 27,95 | 17,10 | 31,21 | 4,32 | 5,56 | 124,65 | 150,87 |
| | 16,50 | 21,02 | 17,14 | 31,52 | 17,30 | 36,05 | 3,88 | 4,85 | 50,00 | 71,53 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 16,48 | 19,37 | 17,20 | 26,31 | 18,00 | 34,36 | 4,37 | 9,22 | 35,80 | 77,39 |
| | 16,10 | 17,71 | 17,20 | 26,45 | 17,72 | 31,60 | 6,83 | 10,06 | 49,38 | 78,42 |
| | 16,00 | 15,73 | 17,26 | 27,27 | 17,32 | 30,35 | 7,88 | 8,25 | 73,40 | 92,96 |
| | 16,00 | 15,26 | 17,66 | 27,62 | 18,00 | 28,43 | 10,38 | 12,50 | 81,02 | 86,34 |
| | 17,60 | 25,46 | 18,54 | 37,01 | 19,00 | 42,80 | 5,34 | 7,95 | 45,36 | 68,10 |
| | 16,80 | 28,13 | 18,60 | 42,15 | 19,14 | 46,00 | 10,71 | 13,93 | 49,86 | 63,53 |
| T103 | 16,98 | 25,70 | 18,14 | 37,12 | 19,00 | 43,03 | 6,83 | 11,90 | 44,41 | 67,41 |
| | 17,18 | 26,86 | 18,44 | 38,22 | 18,82 | 43,70 | 7,33 | 9,55 | 42,29 | 62,68 |
| | 16,98 | 25,27 | 19,66 | 40,19 | 20,00 | 41,22 | 15,78 | 17,79 | 59,04 | 63,09 |
| | 17,08 | 27,09 | 18,34 | 37,73 | 18,94 | 42,28 | 7,38 | 10,89 | 39,25 | 56,05 |

ANEXO IX

Resultados referentes à segunda etapa desenvolvida neste estudo.

Tabela 24 – Tabela das medidas realizadas para o teste de densidade.

| TRAT. | DENSIDADE (kg/m ³) | | | | | | | | VOLUME (mm ³) | PESO (g) | DENSIDADE (kg/m ³) |
|-------|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------|------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| | LARGURA (mm) | COMPRIMENTO (mm) | EXPESSURA CENTRO (mm) | EXPESSURA 1 | EXPESSURA 2 | EXPESSURA 3 | EXPESSURA 4 | EXPESSURA MÉDIA (mm) | | | |
| T11 | 49,60 | 48,90 | 29,40 | 29,20 | 28,30 | 28,90 | 29,60 | 29,08 | 70531,80 | 24,84 | 352,18 |
| | 49,70 | 49,30 | 29,10 | 27,90 | 28,20 | 28,00 | 26,70 | 27,98 | 68556,88 | 24,30 | 354,45 |
| | 49,90 | 49,40 | 30,10 | 29,20 | 30,00 | 29,30 | 29,00 | 29,52 | 72768,57 | 23,73 | 326,10 |
| | 50,00 | 49,80 | 27,80 | 27,70 | 27,50 | 27,70 | 25,80 | 27,30 | 67977,00 | 24,36 | 358,36 |
| | 48,80 | 48,30 | 29,60 | 28,30 | 29,00 | 29,30 | 29,20 | 29,08 | 68542,72 | 23,20 | 338,48 |
| | 50,10 | 49,50 | 29,50 | 28,90 | 28,90 | 28,70 | 29,20 | 29,04 | 72017,75 | 24,43 | 339,22 |
| | 50,30 | 28,80 | 26,20 | 26,10 | 24,90 | 25,50 | 26,10 | 25,76 | 37316,97 | 20,42 | 547,20 |
| T12 | 50,70 | 50,50 | 27,40 | 26,90 | 26,40 | 25,50 | 26,70 | 26,58 | 68054,10 | 21,82 | 320,63 |
| | 49,00 | 50,70 | 26,90 | 26,20 | 26,40 | 26,00 | 26,50 | 26,40 | 65585,52 | 21,52 | 328,12 |
| | 50,20 | 50,70 | 28,70 | 28,20 | 29,20 | 29,20 | 28,40 | 28,74 | 73147,32 | 26,33 | 359,96 |
| | 50,70 | 51,00 | 29,40 | 28,80 | 28,30 | 28,00 | 28,20 | 28,54 | 73795,88 | 28,76 | 389,72 |
| | 50,60 | 50,90 | 29,00 | 29,10 | 29,10 | 28,80 | 29,20 | 29,04 | 74793,68 | 28,68 | 383,45 |
| T13 | 50,40 | 49,90 | 25,80 | 25,70 | 25,90 | 25,60 | 25,20 | 25,64 | 64483,57 | 23,40 | 362,88 |
| | 49,40 | 49,70 | 28,00 | 26,80 | 27,50 | 27,40 | 26,90 | 27,32 | 67075,52 | 29,42 | 438,61 |
| | 51,00 | 49,80 | 26,60 | 26,00 | 26,80 | 27,00 | 26,30 | 26,54 | 67406,29 | 28,74 | 426,37 |
| | 50,10 | 49,60 | 26,20 | 26,40 | 25,80 | 25,90 | 26,20 | 26,10 | 64857,46 | 26,53 | 409,05 |
| | 50,20 | 49,70 | 27,30 | 27,30 | 26,80 | 26,60 | 27,40 | 27,08 | 67562,98 | 29,22 | 432,49 |
| | 50,30 | 50,50 | 26,30 | 26,70 | 26,00 | 25,40 | 25,90 | 26,06 | 66196,31 | 27,76 | 419,36 |
| T21 | 48,60 | 50,30 | 25,20 | 24,60 | 25,20 | 25,90 | 24,20 | 25,02 | 61163,39 | 21,36 | 349,23 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 50,40 | 50,50 | 25,20 | 25,50 | 25,60 | 25,00 | 24,50 | 25,16 | 64037,23 | 21,58 | 336,99 |
| | 50,00 | 49,20 | 25,30 | 24,60 | 24,90 | 25,20 | 25,10 | 25,02 | 61549,20 | 22,11 | 359,22 |
| | 49,90 | 50,30 | 25,50 | 24,70 | 23,70 | 25,20 | 25,60 | 24,94 | 62598,65 | 21,93 | 350,33 |
| | 47,60 | 50,70 | 24,90 | 24,70 | 25,10 | 25,00 | 24,70 | 24,88 | 60043,40 | 21,75 | 362,24 |
| | 50,70 | 50,90 | 24,90 | 24,50 | 24,30 | 23,90 | 23,50 | 24,22 | 62502,86 | 22,52 | 360,30 |
| | 50,60 | 50,10 | 25,00 | 24,90 | 24,90 | 24,80 | 25,10 | 24,94 | 63224,40 | 23,94 | 378,65 |
| | 50,80 | 50,30 | 25,50 | 25,80 | 25,50 | 25,00 | 25,10 | 25,38 | 64851,99 | 23,67 | 364,98 |
| | 50,90 | 50,00 | 25,30 | 24,00 | 24,40 | 25,10 | 24,90 | 24,74 | 62963,30 | 21,08 | 334,80 |
| T22 | 51,40 | 51,20 | 24,70 | 24,90 | 25,00 | 24,80 | 24,40 | 24,76 | 65160,40 | 24,18 | 371,08 |
| | 51,60 | 49,50 | 25,40 | 25,30 | 25,20 | 25,40 | 25,40 | 25,34 | 64723,43 | 24,69 | 381,47 |
| | 50,10 | 51,60 | 24,80 | 24,40 | 24,90 | 25,10 | 24,40 | 24,72 | 63905,16 | 23,53 | 368,20 |
| | 52,70 | 52,70 | 21,30 | 20,60 | 19,90 | 21,20 | 21,90 | 20,98 | 58267,54 | 25,90 | 444,50 |
| | 52,30 | 51,50 | 22,00 | 21,80 | 21,40 | 21,80 | 21,90 | 21,78 | 58663,34 | 27,18 | 463,32 |
| T23 | 52,10 | 52,50 | 22,80 | 21,70 | 22,00 | 22,50 | 21,20 | 22,04 | 60284,91 | 25,47 | 422,49 |
| | 52,10 | 52,50 | 23,20 | 23,20 | 23,10 | 23,00 | 22,60 | 23,02 | 62965,46 | 27,39 | 435,00 |
| | 52,00 | 52,30 | 23,00 | 22,70 | 22,20 | 22,00 | 22,70 | 22,52 | 61245,39 | 26,58 | 433,99 |
| | 51,70 | 52,50 | 23,40 | 23,20 | 23,60 | 23,40 | 23,30 | 23,38 | 63459,17 | 29,58 | 466,13 |
| | 48,70 | 49,00 | 28,50 | 28,50 | 28,70 | 28,10 | 27,10 | 28,18 | 67245,93 | 23,06 | 342,92 |
| | 49,30 | 49,00 | 28,50 | 28,50 | 28,50 | 28,40 | 28,40 | 28,46 | 68750,82 | 23,20 | 337,45 |
| T31 | 49,00 | 48,90 | 28,30 | 28,20 | 28,10 | 28,00 | 28,00 | 28,12 | 67378,33 | 23,06 | 342,25 |
| | 48,70 | 48,50 | 28,10 | 28,10 | 27,50 | 27,70 | 28,60 | 28,00 | 66134,60 | 24,20 | 365,92 |
| | 49,10 | 49,30 | 28,80 | 28,30 | 28,10 | 28,20 | 28,20 | 28,32 | 68552,24 | 27,24 | 397,36 |
| | 49,40 | 49,40 | 27,90 | 27,70 | 27,40 | 27,00 | 27,80 | 27,56 | 67256,32 | 25,37 | 377,21 |
| | 51,40 | 51,40 | 29,50 | 29,00 | 28,90 | 28,40 | 29,20 | 29,00 | 76616,84 | 29,62 | 386,60 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T32 | 52,70 | 51,00 | 30,80 | 30,60 | 30,40 | 30,20 | 30,30 | 30,46 | 81867,34 | 35,04 | 428,01 |
| | 52,00 | 51,80 | 31,00 | 31,00 | 30,50 | 29,70 | 30,40 | 30,52 | 82208,67 | 33,35 | 405,67 |
| | 51,60 | 51,80 | 29,10 | 29,00 | 29,40 | 29,10 | 29,40 | 29,20 | 78048,10 | 32,58 | 417,43 |
| | 51,90 | 52,00 | 27,70 | 27,20 | 26,20 | 26,50 | 27,50 | 27,02 | 72921,58 | 24,93 | 341,87 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|--------|
| T33 | 50,80 | 50,50 | 27,70 | 27,70 | 27,50 | 27,50 | 27,50 | 27,58 | 70753,73 | 29,69 | 419,62 |
| | 50,60 | 50,90 | 27,20 | 27,30 | 27,00 | 26,50 | 28,88 | 27,38 | 70507,98 | 28,88 | 409,60 |
| | 50,90 | 51,20 | 27,00 | 27,00 | 26,90 | 26,10 | 27,00 | 26,80 | 69842,94 | 28,48 | 407,77 |
| | 51,20 | 50,50 | 27,30 | 27,60 | 26,90 | 26,60 | 26,80 | 27,04 | 69914,62 | 28,14 | 402,49 |
| | 51,40 | 50,90 | 28,80 | 28,60 | 27,30 | 27,00 | 27,50 | 27,84 | 72836,68 | 24,53 | 336,78 |
| | 50,70 | 52,10 | 28,50 | 28,60 | 27,10 | 27,90 | 28,00 | 28,02 | 74013,99 | 28,33 | 382,77 |
| T41 | 48,40 | 45,10 | 23,30 | 22,30 | 22,70 | 22,50 | 24,00 | 22,96 | 50118,01 | 16,93 | 337,80 |
| | 46,30 | 46,90 | 23,90 | 22,50 | 23,50 | 21,20 | 22,40 | 22,70 | 49292,37 | 16,97 | 344,27 |
| | 50,20 | 48,90 | 25,10 | 23,70 | 25,00 | 24,90 | 24,60 | 24,66 | 60534,87 | 25,28 | 417,61 |
| | 49,10 | 46,20 | 24,30 | 22,60 | 19,90 | 23,10 | 21,30 | 22,24 | 50449,66 | 18,58 | 368,29 |
| | 49,20 | 47,50 | 24,20 | 23,40 | 22,60 | 20,40 | 22,40 | 22,60 | 52816,20 | 17,68 | 334,75 |
| | 48,90 | 48,00 | 24,70 | 24,10 | 23,50 | 25,00 | 24,50 | 24,36 | 57177,79 | 24,95 | 436,31 |
| | 49,00 | 52,00 | 26,10 | 23,30 | 25,40 | 24,60 | 25,60 | 25,00 | 63700,00 | 23,49 | 368,76 |
| | 48,60 | 51,20 | 27,00 | 26,00 | 25,50 | 25,20 | 25,30 | 25,80 | 64198,66 | 23,01 | 358,42 |
| T42 | 50,60 | 51,10 | 25,50 | 24,00 | 24,70 | 25,20 | 24,80 | 24,84 | 64227,79 | 24,95 | 388,46 |
| | 50,40 | 49,90 | 26,10 | 25,10 | 25,40 | 25,90 | 24,90 | 25,48 | 64081,18 | 24,44 | 381,39 |
| | 49,20 | 50,50 | 26,40 | 25,10 | 26,50 | 26,40 | 25,20 | 25,92 | 64400,83 | 25,73 | 399,53 |
| | 51,30 | 50,90 | 24,30 | 23,10 | 20,70 | 24,00 | 24,50 | 23,32 | 60892,48 | 21,41 | 351,60 |
| | 49,40 | 50,80 | 21,00 | 20,70 | 21,00 | 20,70 | 20,90 | 20,86 | 52348,59 | 20,96 | 400,39 |
| T43 | 50,10 | 50,10 | 22,70 | 22,00 | 22,10 | 22,40 | 21,90 | 22,22 | 55772,42 | 23,15 | 415,08 |
| | 49,70 | 50,30 | 23,50 | 23,10 | 22,80 | 23,30 | 23,30 | 23,20 | 57997,91 | 26,02 | 448,64 |
| | 50,20 | 49,80 | 21,40 | 21,20 | 21,10 | 20,90 | 21,30 | 21,18 | 52949,15 | 21,96 | 414,74 |
| | 49,90 | 50,70 | 22,90 | 22,30 | 23,00 | 22,50 | 21,90 | 22,52 | 56974,02 | 24,15 | 423,95 |
| | 50,30 | 50,30 | 23,30 | 23,30 | 22,90 | 23,30 | 23,40 | 23,24 | 58799,29 | 24,12 | 410,21 |
| | T51 | 52,40 | 52,40 | 26,90 | 26,10 | 26,10 | 27,80 | 26,80 | 26,74 | 73421,62 | 26,30 |
| 51,60 | | 51,30 | 28,80 | 28,20 | 28,90 | 28,00 | 27,30 | 28,24 | 74753,54 | 31,40 | 420,05 |
| 51,70 | | 52,30 | 29,10 | 27,80 | 28,60 | 29,30 | 28,20 | 28,60 | 77331,83 | 30,09 | 389,10 |
| 51,70 | | 52,30 | 29,10 | 28,30 | 28,10 | 27,90 | 28,30 | 28,34 | 76628,81 | 28,68 | 374,27 |
| 51,90 | | 52,20 | 28,30 | 28,00 | 27,40 | 27,20 | 27,80 | 27,74 | 75152,65 | 25,64 | 341,17 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 51,70 | 52,60 | 27,10 | 26,20 | 27,10 | 26,50 | 25,90 | 26,56 | 72227,80 | 25,00 | 346,13 |
| | 52,40 | 51,40 | 26,60 | 25,80 | 25,90 | 26,00 | 25,90 | 26,04 | 70135,09 | 28,14 | 401,23 |
| | 52,10 | 52,00 | 27,00 | 26,50 | 26,60 | 26,20 | 27,10 | 26,68 | 72281,46 | 28,78 | 398,17 |
| T52 | 51,70 | 52,00 | 27,40 | 26,60 | 26,00 | 26,20 | 26,90 | 26,62 | 71565,21 | 27,75 | 387,76 |
| | 52,10 | 51,30 | 27,60 | 26,70 | 26,60 | 26,80 | 27,10 | 26,96 | 72056,80 | 26,85 | 372,62 |
| | 52,40 | 51,70 | 27,40 | 26,90 | 27,00 | 26,40 | 26,20 | 26,78 | 72549,16 | 26,78 | 369,13 |
| | 52,50 | 52,20 | 25,90 | 25,70 | 25,30 | 23,00 | 23,20 | 24,62 | 67471,11 | 24,94 | 369,64 |
| | 51,60 | 52,00 | 24,70 | 22,90 | 24,20 | 23,90 | 23,50 | 23,84 | 63967,49 | 24,09 | 376,60 |
| | 51,90 | 51,20 | 24,80 | 23,60 | 24,30 | 24,40 | 24,00 | 24,22 | 64359,32 | 25,05 | 389,22 |
| T53 | 51,80 | 51,80 | 25,30 | 24,60 | 25,10 | 23,80 | 24,20 | 24,60 | 66007,70 | 25,45 | 385,56 |
| | 51,70 | 51,60 | 25,00 | 24,60 | 24,00 | 24,60 | 25,10 | 24,66 | 65785,98 | 25,90 | 393,70 |
| | 51,50 | 51,60 | 26,90 | 25,50 | 26,70 | 26,10 | 24,30 | 25,90 | 68826,66 | 26,16 | 380,09 |
| | 51,70 | 51,70 | 28,00 | 26,70 | 26,30 | 27,80 | 27,80 | 27,32 | 73023,35 | 27,79 | 380,56 |
| | 52,10 | 51,90 | 20,90 | 20,60 | 20,30 | 20,20 | 20,40 | 20,48 | 55377,72 | 28,64 | 517,18 |
| | 52,00 | 51,60 | 20,90 | 20,20 | 20,20 | 20,60 | 20,60 | 20,50 | 55005,60 | 29,17 | 530,31 |
| T61 | 52,00 | 51,70 | 21,10 | 20,30 | 20,30 | 20,50 | 20,40 | 20,52 | 55165,97 | 28,53 | 517,17 |
| | 51,30 | 51,90 | 20,80 | 19,70 | 20,00 | 20,20 | 20,50 | 20,24 | 53888,39 | 26,66 | 494,73 |
| | 51,20 | 52,00 | 20,60 | 19,40 | 20,30 | 19,90 | 20,10 | 20,06 | 53407,74 | 27,28 | 510,79 |
| | 51,40 | 51,90 | 20,80 | 20,50 | 20,40 | 19,80 | 20,00 | 20,30 | 54153,50 | 28,87 | 533,11 |
| | 51,60 | 52,70 | 20,90 | 19,70 | 21,00 | 20,90 | 20,10 | 20,52 | 55800,45 | 27,10 | 485,66 |
| | 51,40 | 52,60 | 21,70 | 20,60 | 21,10 | 21,10 | 21,10 | 21,12 | 57100,88 | 27,74 | 485,81 |
| T62 | 51,80 | 51,40 | 21,70 | 20,80 | 21,40 | 21,40 | 21,10 | 21,28 | 56658,43 | 27,34 | 482,54 |
| | 52,10 | 51,50 | 21,40 | 20,60 | 19,70 | 20,20 | 20,90 | 20,56 | 55165,56 | 26,88 | 487,26 |
| | 51,70 | 51,70 | 20,90 | 20,40 | 20,50 | 20,50 | 20,30 | 20,52 | 54847,70 | 25,68 | 468,21 |
| | 51,70 | 52,00 | 20,50 | 19,90 | 20,10 | 19,60 | 19,70 | 19,96 | 53660,46 | 24,31 | 453,03 |
| | 51,50 | 51,90 | 19,60 | 18,30 | 19,60 | 19,00 | 18,10 | 18,92 | 50570,32 | 28,41 | 561,79 |
| T63 | 51,50 | 51,20 | 20,20 | 19,40 | 19,50 | 19,40 | 19,60 | 19,62 | 51734,02 | 27,66 | 534,66 |
| | 51,70 | 51,40 | 20,00 | 19,30 | 19,50 | 19,40 | 19,50 | 19,54 | 51925,21 | 23,24 | 447,57 |
| | 51,30 | 52,10 | 20,80 | 20,00 | 20,00 | 20,10 | 20,00 | 20,18 | 53935,69 | 28,96 | 536,94 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 51,60 | 51,50 | 20,70 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 19,90 | 20,12 | 53466,89 | 28,12 | 525,93 |
| | 51,60 | 52,10 | 21,00 | 20,40 | 20,00 | 20,50 | 20,50 | 20,48 | 55057,61 | 30,28 | 549,97 |
| T71 | 51,80 | 51,80 | 22,00 | 21,80 | 21,30 | 21,80 | 22,40 | 21,86 | 58655,63 | 25,22 | 429,97 |
| | 51,40 | 52,30 | 23,50 | 23,20 | 22,60 | 21,90 | 23,10 | 22,86 | 61452,71 | 28,14 | 457,91 |
| | 51,60 | 51,60 | 24,30 | 23,70 | 23,10 | 22,90 | 23,40 | 23,48 | 62516,91 | 28,40 | 454,28 |
| | 51,80 | 52,20 | 25,00 | 24,60 | 23,90 | 24,30 | 24,70 | 24,50 | 66247,02 | 29,76 | 449,23 |
| | 51,80 | 51,40 | 24,70 | 24,50 | 24,00 | 23,80 | 24,40 | 24,28 | 64645,99 | 28,76 | 444,88 |
| | 51,60 | 52,30 | 25,50 | 24,80 | 24,50 | 24,50 | 24,90 | 24,84 | 67035,21 | 28,98 | 432,31 |
| | 52,30 | 52,20 | 21,60 | 21,20 | 21,20 | 20,40 | 19,80 | 20,84 | 56894,45 | 24,35 | 427,99 |
| T72 | 52,00 | 52,00 | 22,60 | 21,10 | 21,70 | 21,10 | 20,30 | 21,36 | 57757,44 | 25,25 | 437,17 |
| | 52,00 | 52,30 | 22,40 | 21,10 | 21,50 | 21,90 | 22,40 | 21,86 | 59450,46 | 24,98 | 420,18 |
| | 51,70 | 52,30 | 24,60 | 23,20 | 24,10 | 23,40 | 23,40 | 23,74 | 64190,82 | 28,52 | 444,30 |
| | 52,40 | 52,10 | 24,30 | 22,70 | 23,30 | 23,40 | 22,70 | 23,28 | 63555,33 | 28,39 | 446,70 |
| | 52,20 | 52,30 | 24,30 | 23,80 | 23,50 | 23,60 | 23,70 | 23,78 | 64920,83 | 28,71 | 442,23 |
| | 52,00 | 51,50 | 22,40 | 20,50 | 21,60 | 23,00 | 22,90 | 22,08 | 59130,24 | 24,90 | 421,10 |
| T73 | 51,70 | 51,90 | 24,60 | 23,60 | 24,00 | 23,80 | 23,30 | 23,86 | 64021,87 | 27,09 | 423,14 |
| | 51,90 | 52,00 | 25,10 | 24,60 | 23,80 | 23,80 | 24,70 | 24,40 | 65850,72 | 28,42 | 431,58 |
| | 51,80 | 52,00 | 26,10 | 24,00 | 25,10 | 25,50 | 25,40 | 25,22 | 67932,59 | 28,52 | 419,83 |
| | 51,50 | 52,40 | 26,70 | 25,80 | 25,50 | 24,90 | 25,10 | 25,60 | 69084,16 | 28,22 | 408,49 |
| | 51,60 | 52,20 | 27,10 | 25,70 | 25,30 | 25,10 | 25,80 | 25,80 | 69492,82 | 28,82 | 414,72 |
| T81 | 52,50 | 52,50 | 19,90 | 19,60 | 18,70 | 18,70 | 19,00 | 19,18 | 52864,88 | 24,67 | 466,66 |
| | 50,20 | 52,50 | 20,50 | 19,40 | 19,80 | 19,60 | 19,30 | 19,72 | 51972,06 | 29,16 | 561,07 |
| | 52,20 | 52,60 | 20,60 | 20,10 | 19,50 | 20,20 | 20,40 | 20,16 | 55353,72 | 30,65 | 553,71 |
| | 52,90 | 51,80 | 22,00 | 21,10 | 21,30 | 21,90 | 21,80 | 21,62 | 59243,56 | 33,28 | 561,75 |
| | 52,40 | 52,50 | 22,50 | 21,30 | 21,60 | 22,00 | 22,40 | 21,96 | 60411,96 | 31,32 | 518,44 |
| | 52,60 | 52,00 | 22,90 | 22,00 | 22,50 | 22,30 | 22,20 | 22,38 | 61213,78 | 27,29 | 445,81 |
| T82 | 50,30 | 51,40 | 20,80 | 20,50 | 19,70 | 19,60 | 20,40 | 20,20 | 52225,48 | 25,03 | 479,27 |
| | 51,60 | 51,40 | 21,80 | 21,50 | 21,20 | 20,60 | 20,80 | 21,18 | 56174,44 | 26,62 | 473,88 |
| | 51,40 | 51,20 | 22,00 | 21,30 | 21,70 | 21,60 | 21,00 | 21,52 | 56633,75 | 27,94 | 493,35 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 51,00 | 52,10 | 22,50 | 21,80 | 22,20 | 21,50 | 22,10 | 22,02 | 58509,34 | 28,03 | 479,07 |
| | 51,30 | 51,20 | 22,00 | 21,60 | 21,80 | 21,90 | 21,90 | 21,84 | 57364,07 | 27,93 | 486,89 |
| | 51,50 | 50,90 | 22,30 | 21,60 | 21,60 | 21,70 | 21,90 | 21,82 | 57197,86 | 28,82 | 503,87 |
| | 51,80 | 52,10 | 21,60 | 20,50 | 21,00 | 21,20 | 21,20 | 21,10 | 56944,26 | 28,87 | 506,99 |
| | 52,20 | 51,40 | 21,40 | 21,20 | 20,80 | 20,40 | 21,10 | 20,98 | 56291,02 | 28,92 | 513,76 |
| T83 | 51,00 | 51,90 | 21,40 | 20,80 | 21,10 | 20,70 | 21,10 | 21,02 | 55637,84 | 25,75 | 462,81 |
| | 51,30 | 51,80 | 21,40 | 20,90 | 21,10 | 20,90 | 20,50 | 20,96 | 55697,85 | 26,35 | 473,09 |
| | 51,50 | 51,50 | 21,40 | 20,70 | 20,70 | 20,80 | 20,90 | 20,90 | 55432,03 | 27,18 | 490,33 |
| | 51,80 | 52,10 | 20,90 | 20,20 | 19,80 | 20,80 | 21,00 | 20,54 | 55432,94 | 27,27 | 491,95 |
| | 49,40 | 48,00 | 25,80 | 24,80 | 25,10 | 25,50 | 24,60 | 25,16 | 59659,39 | 22,92 | 384,18 |
| | 48,30 | 49,40 | 25,70 | 25,30 | 25,10 | 24,70 | 24,90 | 25,14 | 59984,54 | 23,10 | 385,10 |
| T91 | 48,60 | 48,60 | 25,60 | 25,30 | 25,70 | 25,50 | 25,60 | 25,54 | 60324,46 | 21,71 | 359,89 |
| | 48,60 | 49,20 | 26,50 | 25,30 | 25,80 | 26,00 | 26,20 | 25,96 | 62073,48 | 22,72 | 366,02 |
| | 48,80 | 49,40 | 25,20 | 24,20 | 24,50 | 24,60 | 24,00 | 24,50 | 59062,64 | 20,60 | 348,78 |
| | 49,90 | 48,20 | 24,70 | 24,00 | 24,70 | 24,00 | 23,50 | 24,18 | 58157,25 | 22,68 | 389,98 |
| | 48,20 | 49,00 | 26,00 | 25,10 | 26,00 | 26,00 | 26,00 | 25,82 | 60981,68 | 22,23 | 364,54 |
| | 48,20 | 49,70 | 27,00 | 25,20 | 25,80 | 25,50 | 26,00 | 25,90 | 62044,49 | 22,08 | 355,87 |
| T92 | 49,40 | 49,90 | 26,00 | 24,30 | 25,20 | 25,70 | 24,80 | 25,20 | 62119,51 | 23,48 | 377,98 |
| | 48,80 | 50,10 | 26,30 | 25,40 | 24,80 | 25,50 | 24,90 | 25,38 | 62051,05 | 21,61 | 348,26 |
| | 47,00 | 50,00 | 26,40 | 26,10 | 26,00 | 24,80 | 26,00 | 25,86 | 60771,00 | 21,23 | 349,34 |
| | 50,50 | 47,40 | 26,80 | 26,40 | 25,80 | 26,60 | 26,20 | 26,36 | 63097,93 | 23,08 | 365,78 |
| | 48,50 | 48,50 | 24,90 | 24,40 | 24,50 | 24,10 | 22,70 | 24,12 | 56736,27 | 20,49 | 361,14 |
| | 47,30 | 47,40 | 24,30 | 21,60 | 24,00 | 26,60 | 23,80 | 24,06 | 53943,00 | 18,96 | 351,48 |
| T93 | 48,70 | 47,60 | 24,60 | 24,50 | 24,00 | 21,20 | 24,40 | 23,74 | 55032,17 | 18,67 | 339,26 |
| | 46,50 | 45,10 | 23,50 | 22,10 | 24,00 | 24,10 | 22,00 | 23,14 | 48528,05 | 16,90 | 348,25 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 47,40 | 48,30 | 25,00 | 24,50 | 24,60 | 24,70 | 24,30 | 24,62 | 56365,52 | 20,86 | 370,08 |
| T101 | 50,10 | 50,70 | 21,90 | 21,30 | 21,60 | 20,90 | 20,90 | 21,32 | 54154,29 | 24,94 | 460,54 |
| | 49,50 | 50,70 | 22,00 | 21,90 | 21,40 | 21,50 | 21,50 | 21,66 | 54359,02 | 25,69 | 472,60 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 47,00 | 48,60 | 22,70 | 22,40 | 22,10 | 22,30 | 23,00 | 22,50 | 51394,50 | 24,51 | 476,90 |
| | 48,60 | 46,90 | 22,70 | 22,60 | 22,90 | 22,70 | 22,40 | 22,66 | 51649,84 | 23,15 | 448,21 |
| T121 | 47,20 | 48,60 | 23,80 | 23,60 | 23,30 | 22,70 | 23,00 | 23,28 | 53402,46 | 24,11 | 451,48 |
| | 47,10 | 48,70 | 23,70 | 23,30 | 23,00 | 23,10 | 23,20 | 23,26 | 53353,09 | 24,32 | 455,83 |
| | 47,80 | 49,40 | 23,90 | 24,00 | 23,20 | 23,50 | 23,30 | 23,58 | 55679,93 | 23,14 | 415,59 |
| | 47,70 | 48,80 | 24,20 | 23,40 | 23,90 | 23,50 | 23,20 | 23,64 | 55028,25 | 24,69 | 448,68 |
| | 49,10 | 49,20 | 21,90 | 20,60 | 21,20 | 21,10 | 20,10 | 20,98 | 50681,81 | 24,44 | 482,22 |
| | 49,50 | 49,20 | 21,40 | 20,20 | 20,80 | 20,50 | 19,40 | 20,46 | 49828,28 | 22,03 | 442,12 |
| T122 | 49,80 | 49,30 | 21,90 | 21,40 | 21,00 | 21,70 | 20,90 | 21,38 | 52490,89 | 24,24 | 461,79 |
| | 50,10 | 49,40 | 20,90 | 20,90 | 20,60 | 20,00 | 20,60 | 20,60 | 50983,76 | 23,28 | 456,62 |
| | 50,20 | 50,40 | 20,60 | 20,10 | 19,90 | 20,20 | 20,20 | 20,20 | 51107,62 | 24,22 | 473,90 |
| | 49,50 | 49,90 | 21,00 | 19,90 | 20,10 | 20,30 | 17,90 | 19,84 | 49005,79 | 22,59 | 460,97 |
| | 49,30 | 50,40 | 20,40 | 20,20 | 20,20 | 19,80 | 19,80 | 20,08 | 49893,18 | 22,78 | 456,58 |
| | 49,80 | 49,60 | 19,90 | 19,60 | 19,80 | 19,70 | 19,40 | 19,68 | 48611,17 | 21,19 | 435,91 |
| T123 | 49,60 | 50,00 | 21,20 | 20,40 | 20,90 | 20,50 | 20,40 | 20,68 | 51286,40 | 24,90 | 485,51 |
| | 50,70 | 49,60 | 21,60 | 21,10 | 20,70 | 20,90 | 21,10 | 21,08 | 53010,30 | 24,45 | 461,23 |
| | 50,20 | 49,00 | 21,30 | 21,00 | 21,80 | 20,90 | 20,90 | 21,18 | 52098,56 | 25,07 | 481,20 |
| | 49,40 | 50,40 | 21,60 | 21,20 | 20,80 | 20,80 | 21,00 | 21,08 | 52484,14 | 26,43 | 503,58 |
| | 49,20 | 49,70 | 27,60 | 28,80 | 27,70 | 27,80 | 26,90 | 27,76 | 67879,86 | 26,95 | 397,02 |
| | 49,90 | 48,70 | 28,10 | 27,30 | 27,50 | 27,90 | 27,60 | 27,68 | 67266,00 | 25,85 | 384,30 |
| T131 | 47,20 | 49,00 | 26,60 | 26,40 | 26,50 | 26,70 | 26,70 | 26,58 | 61474,22 | 21,85 | 355,43 |
| | 49,40 | 50,00 | 27,20 | 27,10 | 27,10 | 27,30 | 26,90 | 27,12 | 66986,40 | 24,70 | 368,73 |
| | 49,70 | 49,50 | 27,10 | 27,20 | 26,90 | 26,70 | 26,70 | 26,92 | 66227,24 | 24,91 | 376,13 |
| | 49,40 | 49,40 | 27,70 | 27,00 | 27,10 | 28,10 | 26,80 | 27,34 | 66719,44 | 25,47 | 381,75 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 52,20 | 51,80 | 24,30 | 23,90 | 23,50 | 23,20 | 24,00 | 23,78 | 64300,17 | 26,26 | 408,40 |
| | 51,80 | 51,20 | 24,70 | 24,10 | 24,00 | 24,80 | 24,70 | 24,46 | 64871,83 | 27,12 | 418,06 |
| T132 | 52,10 | 51,50 | 25,00 | 24,90 | 24,80 | 24,80 | 24,70 | 24,84 | 66649,45 | 29,50 | 442,61 |
| | 52,00 | 51,30 | 24,90 | 24,70 | 25,00 | 24,50 | 24,60 | 24,74 | 65996,42 | 28,45 | 431,08 |
| | 51,80 | 51,30 | 25,40 | 25,00 | 24,60 | 25,10 | 25,40 | 25,10 | 66699,23 | 27,48 | 412,00 |
| | 51,70 | 51,50 | 24,80 | 24,80 | 24,60 | 24,90 | 24,80 | 24,78 | 65977,99 | 24,18 | 366,49 |
| | 52,00 | 51,90 | 25,10 | 24,80 | 25,00 | 24,90 | 24,80 | 24,92 | 67254,10 | 28,14 | 418,41 |
| | 52,30 | 52,00 | 25,30 | 25,20 | 25,40 | 25,20 | 25,00 | 25,22 | 68588,31 | 27,22 | 396,86 |
| T133 | 52,00 | 51,90 | 25,90 | 25,70 | 25,90 | 25,90 | 25,20 | 25,72 | 69413,14 | 28,05 | 404,10 |
| | 52,30 | 52,10 | 25,20 | 24,70 | 25,30 | 25,90 | 25,00 | 25,22 | 68720,21 | 26,13 | 380,24 |
| | 51,70 | 52,00 | 25,70 | 25,40 | 25,50 | 25,60 | 25,30 | 25,50 | 68554,20 | 26,52 | 386,85 |
| | 51,70 | 51,60 | 25,70 | 25,10 | 25,50 | 25,40 | 25,20 | 25,38 | 67706,73 | 26,63 | 393,31 |
| | 51,20 | 50,70 | 23,20 | 22,70 | 22,80 | 22,90 | 22,90 | 22,90 | 59444,74 | 27,28 | 458,91 |
| | 51,30 | 50,80 | 23,10 | 22,50 | 23,20 | 23,00 | 22,50 | 22,86 | 59574,07 | 24,70 | 414,61 |
| T141 | 50,70 | 51,30 | 22,70 | 22,90 | 22,5 | 23,30 | 22,90 | 22,86 | 59456,80 | 23,22 | 390,54 |
| | 50,70 | 51,20 | 23,00 | 22,70 | 22,80 | 22,90 | 22,60 | 22,80 | 59185,15 | 23,83 | 402,63 |
| | 50,60 | 50,70 | 22,80 | 22,50 | 22,80 | 23,00 | 22,40 | 22,70 | 58235,03 | 24,40 | 418,99 |
| | 51,10 | 51,30 | 23,30 | 22,70 | 23,10 | 23,20 | 22,70 | 23,00 | 60292,89 | 25,31 | 419,78 |
| | 50,70 | 51,20 | 21,20 | 20,90 | 21,30 | 21,00 | 20,80 | 21,04 | 54616,47 | 25,59 | 468,54 |
| | 51,30 | 50,30 | 21,20 | 21,40 | 20,90 | 20,60 | 20,90 | 21,00 | 54188,19 | 25,53 | 471,14 |
| T142 | 51,00 | 51,20 | 21,30 | 20,80 | 21,00 | 20,70 | 20,80 | 20,92 | 54626,30 | 25,64 | 469,37 |
| | 51,40 | 51,00 | 21,00 | 20,70 | 20,70 | 20,90 | 21,20 | 20,90 | 54787,26 | 24,57 | 448,46 |
| | 51,10 | 51,20 | 21,50 | 21,70 | 21,40 | 21,10 | 21,30 | 21,40 | 55989,25 | 26,86 | 479,73 |
| | 51,50 | 51,80 | 20,10 | 19,30 | 20,40 | 20,50 | 19,20 | 19,90 | 53087,23 | 24,41 | 459,81 |
| | 51,20 | 51,40 | 22,50 | 22,30 | 22,30 | 21,90 | 22,20 | 22,24 | 58528,56 | 24,14 | 412,45 |
| | 51,10 | 51,50 | 21,80 | 20,80 | 20,40 | 21,90 | 21,10 | 21,20 | 55790,98 | 26,10 | 467,82 |
| T143 | 51,00 | 51,50 | 22,60 | 22,10 | 22,20 | 22,20 | 22,20 | 22,26 | 58465,89 | 24,75 | 423,32 |
| | 50,00 | 51,40 | 21,90 | 22,20 | 20,40 | 21,40 | 21,70 | 21,52 | 55306,40 | 23,34 | 422,01 |
| | 51,10 | 51,50 | 21,80 | 21,50 | 21,20 | 21,80 | 22,00 | 21,66 | 57001,54 | 24,47 | 429,29 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 51,10 | 51,30 | 22,10 | 22,20 | 22,00 | 21,80 | 22,00 | 22,02 | 57723,89 | 24,88 | 431,02 |
| | 52,00 | 51,30 | 23,90 | 23,20 | 23,40 | 23,70 | 23,90 | 23,62 | 63008,71 | 23,52 | 373,28 |
| | 50,60 | 49,80 | 23,60 | 23,50 | 23,20 | 22,60 | 23,30 | 23,24 | 58562,01 | 24,04 | 410,51 |
| T151 | 50,60 | 50,90 | 23,20 | 22,80 | 21,80 | 22,30 | 23,20 | 22,66 | 58361,74 | 24,44 | 418,77 |
| | 51,20 | 50,90 | 23,50 | 22,90 | 23,60 | 21,60 | 23,40 | 23,00 | 59939,84 | 25,73 | 429,26 |
| | 50,50 | 51,10 | 23,40 | 22,60 | 22,30 | 22,60 | 22,10 | 22,60 | 58320,43 | 25,31 | 433,98 |
| | 50,60 | 50,80 | 22,50 | 22,00 | 21,60 | 22,70 | 22,10 | 22,18 | 57013,25 | 20,69 | 362,90 |
| | 51,40 | 51,40 | 21,50 | 20,90 | 21,00 | 20,50 | 20,80 | 20,94 | 55322,64 | 27,13 | 490,40 |
| | 51,30 | 51,50 | 20,10 | 19,80 | 20,30 | 20,30 | 19,60 | 20,02 | 52891,84 | 25,77 | 487,22 |
| T152 | 51,30 | 51,20 | 21,60 | 21,60 | 20,90 | 21,50 | 21,50 | 21,42 | 56260,92 | 25,88 | 460,00 |
| | 51,50 | 51,30 | 21,30 | 21,20 | 21,10 | 20,90 | 20,90 | 21,08 | 55692,31 | 26,78 | 480,86 |
| | 51,90 | 51,80 | 22,00 | 21,00 | 21,80 | 21,70 | 21,40 | 21,58 | 58016,10 | 24,10 | 415,40 |
| | 50,90 | 51,10 | 21,90 | 21,50 | 21,40 | 21,60 | 21,30 | 21,54 | 56025,32 | 26,08 | 465,50 |
| | 49,40 | 48,80 | 22,20 | 21,70 | 21,40 | 21,70 | 20,90 | 21,58 | 52023,34 | 20,69 | 397,71 |
| | 48,60 | 49,40 | 23,00 | 22,50 | 22,40 | 22,90 | 23,20 | 22,80 | 54739,15 | 21,37 | 390,40 |
| T153 | 49,40 | 49,30 | 22,60 | 22,10 | 22,50 | 20,00 | 22,20 | 21,88 | 53286,99 | 21,24 | 398,60 |
| | 47,80 | 49,40 | 22,30 | 21,90 | 21,50 | 21,20 | 19,00 | 21,18 | 50012,76 | 20,48 | 409,50 |
| | 48,80 | 48,90 | 22,70 | 22,40 | 22,90 | 22,00 | 21,90 | 22,38 | 53405,84 | 22,79 | 426,73 |
| | 49,40 | 49,40 | 22,30 | 20,20 | 21,00 | 21,50 | 19,00 | 20,80 | 50759,49 | 21,33 | 420,22 |
| | 51,40 | 51,60 | 19,60 | 19,90 | 19,40 | 19,40 | 19,60 | 19,58 | 51930,86 | 24,45 | 470,82 |
| T161 | 51,70 | 51,80 | 20,20 | 19,80 | 20,00 | 20,00 | 19,70 | 19,94 | 53400,52 | 28,59 | 535,39 |
| | 51,00 | 51,90 | 20,20 | 20,00 | 19,60 | 19,80 | 19,90 | 19,90 | 52673,31 | 23,98 | 455,26 |
| | 51,70 | 51,20 | 20,20 | 19,90 | 18,90 | 19,90 | 19,40 | 19,66 | 52040,81 | 25,61 | 492,11 |
| | 51,60 | 51,90 | 20,10 | 19,60 | 19,40 | 19,90 | 19,70 | 19,74 | 52864,51 | 27,56 | 521,33 |
| | 51,70 | 51,40 | 20,10 | 21,30 | 20,20 | 20,00 | 19,80 | 20,28 | 53891,67 | 25,07 | 465,19 |
| | 50,10 | 51,10 | 18,40 | 18,20 | 17,90 | 18,20 | 18,20 | 18,18 | 46542,80 | 25,07 | 538,64 |
| | 51,70 | 50,90 | 18,60 | 17,90 | 18,00 | 17,70 | 18,20 | 18,08 | 47578,06 | 23,97 | 503,80 |
| T162 | 50,60 | 51,10 | 18,20 | 17,80 | 18,00 | 17,70 | 17,80 | 17,90 | 46283,31 | 23,16 | 500,40 |
| | 51,40 | 51,10 | 18,10 | 17,60 | 17,10 | 16,90 | 18,00 | 17,54 | 46069,51 | 21,87 | 474,72 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|--------|
| | 50,40 | 51,20 | 19,70 | 19,00 | 19,30 | 18,90 | 19,30 | 19,24 | 49648,44 | 26,96 | 543,02 |
| | 51,50 | 51,00 | 19,60 | 19,30 | 19,20 | 18,80 | 18,70 | 19,12 | 50218,68 | 27,31 | 543,82 |
| | 51,30 | 51,30 | 19,00 | 18,40 | 18,00 | 18,50 | 17,90 | 18,36 | 48317,83 | 25,41 | 525,89 |
| | 50,70 | 50,80 | 18,70 | 18,60 | 18,30 | 18,40 | 18,30 | 18,46 | 47544,84 | 23,94 | 503,52 |
| T163 | 51,30 | 51,60 | 18,90 | 18,30 | 18,40 | 18,10 | 18,20 | 18,38 | 48653,33 | 26,49 | 544,46 |
| | 51,50 | 50,90 | 19,00 | 18,30 | 17,70 | 18,60 | 18,50 | 18,42 | 48285,27 | 25,61 | 530,39 |
| | 50,80 | 51,10 | 19,00 | 18,50 | 18,80 | 18,80 | 18,00 | 18,62 | 48335,29 | 24,43 | 505,43 |
| | 50,50 | 51,00 | 19,00 | 18,50 | 18,70 | 18,00 | 17,90 | 18,42 | 47440,71 | 25,98 | 547,63 |

Tabela 25 – Tabela das medidas realizadas para o teste de Teor de Umidade.

| TRATAMENTO | PESO UMIDO (g) | PESO SECO (g) | UMIDADE (%) |
|------------|----------------|---------------|-------------|
| T11 | 24,84 | 21,14 | 17,50 |
| | 24,30 | 20,70 | 17,39 |
| | 23,73 | 20,20 | 17,48 |
| | 24,36 | 20,76 | 17,34 |
| | 23,20 | 19,95 | 16,29 |
| | 24,43 | 20,99 | 16,39 |
| | 20,42 | 17,66 | 15,63 |
| T12 | 21,82 | 18,35 | 18,91 |
| | 21,52 | 18,54 | 16,07 |
| | 26,33 | 22,75 | 15,74 |
| | 28,76 | 24,66 | 16,63 |
| | 28,68 | 24,66 | 16,30 |
| | 23,40 | 19,90 | 17,59 |
| T13 | 29,42 | 24,89 | 18,20 |
| | 28,74 | 24,30 | 18,27 |
| | 26,53 | 24,41 | 8,68 |
| | 29,22 | 24,68 | 18,40 |
| | 27,76 | 23,53 | 17,98 |
| | 21,36 | 18,59 | 14,90 |
| T21 | 21,58 | 18,80 | 14,79 |
| | 22,11 | 19,28 | 14,68 |
| | 21,93 | 19,05 | 15,12 |
| | 21,75 | 18,88 | 15,20 |
| | 22,52 | 19,51 | 15,43 |
| | 23,94 | 20,72 | 15,54 |
| T22 | 23,67 | 20,47 | 15,63 |
| | 21,08 | 18,20 | 15,82 |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| | 24,18 | 20,87 | 15,86 |
| | 24,69 | 21,35 | 15,64 |
| | 23,53 | 20,35 | 15,63 |
| | 25,90 | 22,29 | 16,20 |
| | 27,18 | 23,30 | 16,65 |
| T23 | 25,47 | 21,86 | 16,51 |
| | 27,39 | 23,50 | 16,55 |
| | 26,58 | 22,76 | 16,78 |
| | 29,58 | 25,37 | 16,59 |
| <hr/> | | | |
| | 23,06 | 20,10 | 14,73 |
| | 23,20 | 22,55 | 2,88 |
| T31 | 23,06 | 22,67 | 1,72 |
| | 24,20 | 21,08 | 14,80 |
| | 27,24 | 23,71 | 14,89 |
| | 25,37 | 22,03 | 15,16 |
| | 29,62 | 25,95 | 14,14 |
| | - | - | - |
| T32 | 35,04 | - | - |
| | 33,35 | 29,40 | 13,44 |
| | 32,58 | 26,77 | 21,70 |
| | 24,93 | 21,78 | 14,46 |
| | 29,69 | 25,81 | 15,03 |
| | 28,88 | 25,10 | 15,06 |
| T33 | 28,48 | 24,87 | 14,52 |
| | 28,14 | 24,52 | 14,76 |
| | 24,53 | 21,49 | 14,15 |
| | 28,33 | 25,54 | - |
| <hr/> | | | |
| T41 | 16,93 | 14,75 | 14,78 |
| | 16,97 | 14,80 | 14,66 |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| | 25,28 | 22,34 | 13,16 |
| | 18,58 | 16,13 | 15,19 |
| | 17,68 | 15,42 | 14,66 |
| | 24,95 | 22,03 | 13,24 |
| | 23,49 | 20,58 | 14,14 |
| | 23,01 | 20,14 | 14,25 |
| T42 | 24,95 | 21,73 | 14,82 |
| | 24,44 | 21,30 | 14,74 |
| | 25,73 | 22,55 | 14,10 |
| | 21,41 | 18,72 | 14,37 |
| | 20,96 | 18,32 | 14,41 |
| | 23,15 | 20,21 | 14,55 |
| T43 | 26,02 | 22,73 | 14,47 |
| | 21,96 | 19,14 | 14,73 |
| | 24,15 | 21,09 | 14,53 |
| | 24,12 | 21,09 | 14,37 |
| <hr/> | | | |
| | 26,30 | 22,80 | 15,35 |
| | 31,40 | 26,85 | 16,95 |
| T51 | 30,09 | 25,85 | 16,40 |
| | 28,68 | 24,72 | 16,02 |
| | 25,64 | 22,18 | 15,60 |
| | 25,00 | 21,71 | 15,15 |
| | 28,14 | 24,73 | 13,79 |
| | 28,78 | 25,21 | 14,16 |
| T52 | 27,75 | 24,32 | 14,10 |
| | 26,85 | 23,49 | 14,30 |
| | 26,78 | 23,43 | 14,30 |
| | 24,94 | 21,98 | 13,47 |
| T53 | 24,09 | 21,13 | 14,01 |

| | | | |
|-----|-------|-------|-------|
| | 25,05 | 21,97 | 14,02 |
| | 25,45 | 22,32 | 14,02 |
| | 25,90 | 22,66 | 14,30 |
| | 26,16 | 22,90 | 14,24 |
| | 27,79 | 24,27 | 14,50 |
| | <hr/> | | |
| | 28,64 | 24,94 | 14,84 |
| | 29,17 | 25,40 | 14,84 |
| T61 | 28,53 | 24,80 | 15,04 |
| | 26,66 | 23,24 | 14,72 |
| | 27,28 | 23,86 | 14,33 |
| | 28,87 | 25,32 | 14,02 |
| | 27,10 | 23,92 | 13,29 |
| | 27,74 | 24,37 | 13,83 |
| T62 | 27,34 | 23,93 | 14,25 |
| | 26,88 | 23,42 | 14,77 |
| | 25,68 | 22,39 | 14,69 |
| | 24,31 | 21,18 | - |
| | 28,41 | 24,79 | 14,60 |
| | 27,66 | 23,90 | 15,73 |
| T63 | 23,24 | 23,08 | 0,69 |
| | 28,96 | 25,47 | 13,70 |
| | 28,12 | 24,80 | 13,39 |
| | 30,28 | 26,73 | 13,28 |
| | <hr/> | | |
| | 25,22 | 22,09 | 14,17 |
| | 28,14 | 24,54 | 14,67 |
| T71 | 28,40 | 24,69 | 15,03 |
| | 29,76 | 25,79 | 15,39 |
| | 28,76 | 24,91 | 15,46 |
| | 28,98 | 24,99 | 15,97 |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| | 24,35 | 21,17 | 15,02 |
| | 25,25 | 21,74 | 16,15 |
| T72 | 24,98 | 21,31 | 17,22 |
| | 28,52 | 24,81 | 14,95 |
| | 28,39 | 24,73 | 14,80 |
| | 28,71 | 25,01 | 14,79 |
| | 24,90 | 21,68 | 14,85 |
| | 27,09 | 23,47 | 15,42 |
| T73 | 28,42 | 24,53 | 15,86 |
| | 28,52 | 24,49 | 16,46 |
| | 28,22 | 24,21 | 16,56 |
| | 28,82 | 24,63 | 17,01 |
| <hr/> | | | |
| | 24,67 | 21,67 | 13,84 |
| | 29,16 | 25,42 | 14,71 |
| T81 | 30,65 | 26,49 | 15,70 |
| | 33,28 | 28,45 | 16,98 |
| | 31,32 | 27,06 | 15,74 |
| | 27,29 | 23,85 | 14,42 |
| | 25,03 | 22,14 | 13,05 |
| | 26,62 | 23,38 | 13,86 |
| T82 | 27,94 | 24,35 | 14,74 |
| | 28,03 | 24,19 | 15,87 |
| | 27,93 | 24,14 | 15,70 |
| | 28,82 | 25,23 | 14,23 |
| | 28,87 | 24,86 | 16,13 |
| | 28,92 | 24,93 | 16,00 |
| T83 | 25,75 | 22,16 | 16,20 |
| | 26,35 | 22,66 | 16,28 |
| | 27,18 | 23,40 | 16,15 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| | 27,27 | 23,53 | 15,89 |
| | 22,92 | 19,29 | 18,82 |
| | 23,10 | 19,50 | 18,46 |
| T91 | 21,71 | 18,45 | 17,67 |
| | 22,72 | 19,32 | 17,60 |
| | 20,60 | 17,44 | 18,12 |
| | 22,68 | 19,15 | 18,43 |
| | 22,23 | 18,41 | 20,75 |
| | 22,08 | 18,50 | 19,35 |
| T92 | 23,48 | 19,79 | 18,65 |
| | 21,61 | 18,19 | 18,80 |
| | 21,23 | 17,90 | 18,60 |
| | 23,08 | 19,58 | 17,88 |
| | 20,49 | 17,30 | 18,44 |
| | 18,96 | 16,05 | 18,13 |
| T93 | 18,67 | 15,70 | 18,92 |
| | 16,90 | 14,33 | 17,93 |
| | - | - | - |
| | 20,86 | 17,66 | 18,12 |
| | 24,94 | 21,15 | 17,92 |
| | 25,69 | 21,74 | 18,17 |
| T101 | 28,28 | 24,14 | 17,15 |
| | 28,54 | 24,26 | 17,64 |
| | 25,86 | 21,81 | 18,57 |
| | 25,36 | 21,48 | 18,06 |
| | 24,22 | 20,48 | 18,26 |
| T102 | 24,78 | 20,58 | 20,41 |
| | 25,18 | 21,02 | 19,79 |
| | 23,39 | 19,39 | 20,63 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| | 23,47 | 19,79 | 18,60 |
| | 24,38 | 20,26 | 20,34 |
| | 27,13 | 22,92 | 18,37 |
| | 25,21 | 21,01 | 19,99 |
| T103 | 29,47 | 24,88 | 18,45 |
| | 25,26 | 21,89 | 15,40 |
| | 27,82 | 23,43 | 18,74 |
| | 28,67 | 24,00 | 19,46 |
| | 21,84 | 18,83 | 15,99 |
| | 22,54 | 19,54 | 15,35 |
| T111 | 22,02 | 19,02 | 15,77 |
| | 23,20 | 20,30 | 14,29 |
| | 23,82 | 20,52 | 16,08 |
| | 23,84 | 20,57 | 15,90 |
| | 22,82 | 19,72 | 15,72 |
| | 21,83 | 18,89 | 15,56 |
| T112 | 20,19 | 17,45 | 15,70 |
| | 23,71 | 20,43 | 16,05 |
| | 22,95 | 19,94 | 15,10 |
| | 20,67 | 17,94 | 15,22 |
| | - | - | - |
| | - | - | - |
| T113 | - | - | - |
| | - | - | - |
| | - | - | - |
| | - | - | - |
| | 24,51 | 20,99 | 16,77 |
| T121 | 23,15 | 19,78 | 17,04 |
| | 24,11 | 20,61 | 16,98 |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| | 24,32 | 20,80 | 16,92 |
| | 23,14 | 22,37 | 3,44 |
| | 24,69 | 21,23 | 16,30 |
| | 24,44 | 21,05 | 16,10 |
| | 22,03 | 18,87 | 16,75 |
| T122 | 24,24 | 20,91 | 15,93 |
| | 23,28 | 19,97 | 16,57 |
| | 24,22 | 20,75 | 16,72 |
| | 22,59 | 19,56 | 15,49 |
| | 22,78 | 19,69 | 15,69 |
| | 21,19 | 18,32 | 15,67 |
| T123 | 24,90 | 21,46 | 16,03 |
| | 24,45 | 21,12 | 15,77 |
| | 25,07 | 21,65 | 15,80 |
| | 26,43 | 22,77 | 16,07 |
| <hr/> | | | |
| | 26,95 | 23,32 | 15,57 |
| | 25,85 | 22,38 | 15,50 |
| T131 | 21,85 | 19,05 | 14,70 |
| | 24,70 | 21,49 | 14,94 |
| | 24,91 | 21,75 | 14,53 |
| | 25,47 | 22,29 | 14,27 |
| | 26,26 | 22,90 | 14,67 |
| | 27,12 | 23,55 | 15,16 |
| T132 | 29,50 | 25,58 | 15,32 |
| | 28,45 | 24,69 | 15,23 |
| | 27,48 | 23,78 | 15,56 |
| | 24,18 | 20,95 | 15,42 |
| T133 | 28,14 | 24,38 | 15,42 |
| | 27,22 | 23,63 | 15,19 |

| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| | 28,05 | 24,25 | 15,67 |
| | 26,13 | 22,66 | 15,31 |
| | 26,52 | 23,01 | 15,25 |
| | 26,63 | 23,08 | 15,38 |
| | <hr/> | | |
| | 27,28 | 23,93 | 14,00 |
| | 24,70 | 21,61 | 14,30 |
| T141 | 23,22 | 20,35 | 14,10 |
| | 23,83 | 20,99 | 13,53 |
| | 24,40 | 21,55 | 13,23 |
| | 25,31 | 22,15 | 14,27 |
| | 25,59 | 22,30 | 14,75 |
| | 25,53 | 22,22 | 14,90 |
| T142 | 25,64 | 22,21 | 15,44 |
| | 24,57 | 21,32 | 15,24 |
| | 26,86 | 23,31 | 15,23 |
| | 24,41 | 21,34 | 14,39 |
| | 24,14 | 22,07 | 9,38 |
| | 26,10 | 22,95 | 13,73 |
| T143 | 24,75 | 21,79 | 13,58 |
| | 23,34 | 20,54 | 13,63 |
| | 24,47 | 21,57 | 13,44 |
| | 24,88 | 21,93 | 13,45 |
| | <hr/> | | |
| | 23,52 | 20,84 | 12,86 |
| | 24,04 | 21,30 | 12,86 |
| T151 | 24,44 | 21,63 | 12,99 |
| | 25,73 | 22,81 | 12,80 |
| | 25,31 | 22,50 | 12,49 |
| | 20,69 | 18,51 | 11,78 |
| T152 | 27,13 | 23,94 | 13,32 |

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| | 25,77 | 22,83 | 12,88 |
| | 25,88 | 22,93 | 12,87 |
| | 26,78 | 23,62 | 13,38 |
| | 24,10 | 21,35 | 12,88 |
| | 26,08 | 23,13 | 12,75 |
| | 20,69 | 18,22 | 13,56 |
| | 21,37 | 18,79 | 13,73 |
| | 21,24 | 18,74 | 13,34 |
| T153 | 20,48 | 18,08 | 13,27 |
| | 22,79 | 20,10 | 13,38 |
| | 21,33 | 18,92 | 12,74 |
| <hr/> | | | |
| | 24,45 | 22,20 | 10,14 |
| | 28,59 | 25,32 | 12,91 |
| T161 | 23,98 | 21,36 | 12,27 |
| | 25,61 | 22,78 | 12,42 |
| | 27,56 | 24,57 | 12,17 |
| | 25,07 | 22,98 | 9,09 |
| | 25,07 | 22,19 | 12,98 |
| | 23,97 | 21,18 | 13,17 |
| T162 | 23,16 | 20,48 | 13,09 |
| | 21,87 | 19,46 | 12,38 |
| | 26,96 | 23,71 | 13,71 |
| | 27,31 | 24,14 | 13,13 |
| | 25,41 | 22,49 | 12,98 |
| | 23,94 | 21,21 | 12,87 |
| T163 | 26,49 | 23,33 | 13,54 |
| | 25,61 | 22,72 | 12,72 |
| | 24,43 | 21,71 | 12,53 |
| | 25,98 | 23,01 | 12,91 |
| <hr/> | | | |

Tabela 26 – Tabela das medidas realizadas para os testes de AA e IE após 2h e 24h.

| TRAT. | ESPESSURA (mm) | PESO (g) | APÓS 2 HORAS | | APÓS 24 HORAS | | INCHAMENTO EM ESPESSURA (%) APÓS 2 HORAS | INCHAMENTO EM ESPESSURA (%) APÓS 24 HORAS | ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) APÓS 2 HORAS | ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) APÓS 24 HORAS |
|-------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|--|--|---|--|
| | | | ESPESSURA (mm) | PESO (g) | ESPESSURA (mm) | PESO (g) | | | | |
| T11 | 24,90 | 24,30 | 29,90 | 46,68 | 30,80 | 47,44 | 20,08 | 23,69 | 92,10 | 95,23 |
| | 29,00 | 24,52 | 32,40 | 46,74 | - | - | 11,72 | - | 90,62 | - |
| | 28,60 | 24,67 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 30,30 | 26,11 | 37,00 | 55,77 | - | - | 22,11 | - | 113,60 | - |
| | 27,70 | 24,98 | 29,30 | 46,81 | 29,70 | 47,49 | 5,78 | 7,22 | 87,39 | 90,11 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| T12 | 29,20 | 30,51 | 30,70 | 48,98 | 31,50 | 53,95 | 5,14 | 7,88 | 60,54 | 76,83 |
| | 27,60 | 22,77 | 30,80 | 45,80 | 32,90 | 45,22 | 11,59 | 19,20 | 101,14 | 98,59 |
| | 28,40 | 24,56 | 31,40 | 41,02 | 33,20 | 45,76 | 10,56 | 16,90 | 67,02 | 86,32 |
| | 29,60 | 28,90 | 31,00 | 47,26 | 33,20 | 50,16 | 4,73 | 12,16 | 63,53 | 73,56 |
| | 28,70 | 27,75 | 31,10 | 45,50 | 33,20 | 53,62 | 8,36 | 15,68 | 63,96 | 93,23 |
| | 26,80 | 22,77 | 29,10 | 40,51 | 29,60 | 43,24 | 8,58 | 10,45 | 77,91 | 89,90 |
| T13 | 24,50 | 22,36 | 25,90 | 42,10 | 26,40 | 43,46 | 5,71 | 7,76 | 88,28 | 94,36 |
| | 25,70 | 26,80 | 27,10 | 39,90 | 28,00 | 50,87 | 5,45 | 8,95 | 48,88 | 89,81 |
| | 25,50 | 27,67 | 27,10 | 37,83 | 27,60 | 49,08 | 6,27 | 8,24 | 36,72 | 77,38 |
| | 25,30 | 23,99 | 26,90 | 38,65 | 26,50 | 44,36 | 6,32 | 4,74 | 61,11 | 84,91 |
| | 26,30 | 27,99 | 27,60 | 41,50 | 28,00 | 48,60 | 4,94 | 6,46 | 48,27 | 73,63 |
| | 27,20 | 30,25 | 28,20 | 46,58 | 28,30 | 52,84 | 3,68 | 4,04 | 53,98 | 74,68 |
| T21 | 25,10 | 23,07 | 27,40 | 44,96 | 28,60 | 45,74 | 9,16 | 13,94 | 94,89 | 98,27 |
| | 24,60 | 19,45 | 27,00 | 36,39 | 28,00 | 38,24 | 9,76 | 13,82 | 87,10 | 96,61 |
| | 25,30 | 22,85 | 27,70 | 43,18 | 28,50 | 43,94 | 9,49 | 12,65 | 88,97 | 92,30 |
| | 24,60 | 20,05 | 27,50 | 39,79 | 29,00 | 40,45 | 11,79 | 17,89 | 98,45 | 101,75 |
| | 24,50 | 24,43 | 27,10 | 38,30 | 28,10 | 38,76 | 10,61 | 14,69 | 56,77 | 58,66 |
| | 25,00 | 20,96 | 27,70 | 41,38 | 28,20 | 40,27 | 10,80 | 12,80 | 97,42 | 92,13 |
| T22 | 24,30 | 20,94 | 25,40 | 36,07 | 25,70 | 37,76 | 4,53 | 5,76 | 72,25 | 80,32 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 24,50 | 22,96 | 23,30 | 44,43 | 27,10 | 42,63 | -4,90 | 10,61 | 93,51 | 85,67 |
| | 24,30 | 22,54 | 25,60 | 43,02 | 25,80 | 42,15 | 5,35 | 6,17 | 90,86 | 87,00 |
| | 24,80 | 22,94 | 24,80 | 42,26 | 26,30 | 43,10 | 0,00 | 6,05 | 84,22 | 87,88 |
| | 24,70 | 23,10 | 26,10 | 42,66 | 26,60 | 42,37 | 5,67 | 7,69 | 84,68 | 83,42 |
| | 24,60 | 24,56 | 26,20 | 46,63 | 26,40 | 45,12 | 6,50 | 7,32 | 89,86 | 83,71 |
| | 20,30 | 24,49 | 22,50 | 39,84 | 22,80 | 41,20 | 10,84 | 12,32 | 62,68 | 68,23 |
| | 21,50 | 24,65 | 23,00 | 41,48 | 23,40 | 43,16 | 6,98 | 8,84 | 68,28 | 75,09 |
| | 22,20 | 25,25 | 23,40 | 37,24 | 24,00 | 43,43 | 5,41 | 8,11 | 47,49 | 72,00 |
| T23 | 22,00 | 25,04 | 23,90 | 42,79 | 24,10 | 44,11 | 8,64 | 9,55 | 70,89 | 76,16 |
| | 22,30 | 25,83 | 23,60 | 43,49 | 24,40 | 42,69 | 5,83 | 9,42 | 68,37 | 65,27 |
| | 22,40 | 25,13 | 23,50 | 39,55 | 24,20 | 46,11 | 4,91 | 8,04 | 57,38 | 83,49 |
| <hr/> | | | | | | | | | | |
| | 27,80 | 26,73 | 30,80 | 46,01 | 31,40 | 52,82 | 10,79 | 12,95 | 72,13 | 97,61 |
| | 27,50 | 26,19 | 31,30 | 48,29 | 32,60 | 52,37 | 13,82 | 18,55 | 84,38 | 99,96 |
| T31 | 27,00 | 21,55 | 30,40 | 38,95 | 32,00 | 43,58 | 12,59 | 18,52 | 80,74 | 102,23 |
| | 28,30 | 27,75 | 31,40 | 53,10 | 33,40 | 56,31 | 10,95 | 18,02 | 91,35 | 102,92 |
| | 28,10 | 25,32 | 30,90 | 42,52 | 33,30 | 49,29 | 9,96 | 18,51 | 67,93 | 94,67 |
| | 28,00 | 22,70 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 27,80 | 27,06 | 32,00 | 55,07 | 33,70 | 58,30 | 15,11 | 21,22 | 103,51 | 115,45 |
| | 29,10 | 31,07 | 33,20 | 62,18 | 34,90 | 63,31 | 14,09 | 19,93 | 100,13 | 103,77 |
| T32 | 29,40 | 26,71 | 36,20 | 56,46 | 37,60 | 57,50 | 23,13 | 27,89 | 111,38 | 115,28 |
| | 29,50 | 30,57 | 34,30 | 59,81 | 35,60 | 64,66 | 16,27 | 20,68 | 95,65 | 111,51 |
| | 28,80 | 32,13 | 32,80 | 59,29 | 33,40 | 65,42 | 13,89 | 15,97 | 84,53 | 103,61 |
| | 26,60 | 21,94 | 30,50 | 45,90 | 31,40 | 44,33 | 14,66 | 18,05 | 109,21 | 102,05 |
| | 25,00 | 24,77 | 28,60 | 44,88 | 29,10 | 47,61 | 14,40 | 16,40 | 81,19 | 92,21 |
| | 26,80 | 28,97 | 29,60 | 48,63 | 30,50 | 52,75 | 10,45 | 13,81 | 67,86 | 82,08 |
| T33 | 27,50 | 31,53 | 30,50 | 56,59 | 31,10 | 59,50 | 10,91 | 13,09 | 79,48 | 88,71 |
| | 27,90 | 29,63 | 32,20 | 59,41 | 33,00 | 59,02 | 15,41 | 18,28 | 100,51 | 99,19 |
| | 27,70 | 31,89 | 31,40 | 58,57 | 31,80 | 58,10 | 13,36 | 14,80 | 83,66 | 82,19 |
| | 28,00 | 31,64 | 31,60 | 56,54 | 30,90 | 56,73 | 12,86 | 10,36 | 78,70 | 79,30 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 24,00 | 17,65 | 26,00 | 32,63 | 29,60 | 45,12 | 8,33 | 23,33 | 84,87 | 155,64 |
| | 23,90 | 19,52 | 27,40 | 36,24 | 28,70 | 35,60 | 14,64 | 20,08 | 85,66 | 82,38 |
| T41 | 25,30 | 25,84 | 28,90 | 46,15 | 27,60 | 31,93 | 14,23 | 9,09 | 78,60 | 23,57 |
| | 23,50 | 19,30 | 24,90 | 32,75 | 27,40 | 33,25 | 5,96 | 16,60 | 69,69 | 72,28 |
| | 23,00 | 20,48 | 29,80 | 40,62 | 28,10 | 39,09 | 29,57 | 22,17 | 98,34 | 90,87 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 23,80 | 26,04 | 25,20 | 45,31 | 27,00 | 44,04 | 5,88 | 13,45 | 74,00 | 69,12 |
| | 25,70 | 26,31 | 29,00 | 45,62 | 31,00 | 49,42 | 12,84 | 20,62 | 73,39 | 87,84 |
| T42 | 25,50 | 22,56 | 29,30 | 40,22 | 30,40 | 42,92 | 14,90 | 19,22 | 78,28 | 90,25 |
| | 24,60 | 24,70 | 27,40 | 46,21 | 27,50 | 44,33 | 11,38 | 11,79 | 87,09 | 79,47 |
| | 25,80 | 23,83 | 28,90 | 44,39 | 30,30 | 47,35 | 12,02 | 17,44 | 86,28 | 98,70 |
| | 25,20 | 25,71 | 28,20 | 46,46 | 29,50 | 48,13 | 11,90 | 17,06 | 80,71 | 87,20 |
| | 21,30 | 21,34 | 22,40 | 36,87 | 23,20 | 38,71 | 5,16 | 8,92 | 72,77 | 81,40 |
| | 22,60 | 24,72 | 23,80 | 42,95 | 24,90 | 44,84 | 5,31 | 10,18 | 73,75 | 81,39 |
| T43 | 22,60 | 23,15 | 23,50 | 35,17 | 24,40 | 41,65 | 3,98 | 7,96 | 51,92 | 79,91 |
| | 21,80 | 22,86 | 22,80 | 40,46 | 24,00 | 42,03 | 4,59 | 10,09 | 76,99 | 83,86 |
| | 22,90 | 25,28 | 24,20 | 40,12 | 24,50 | 45,99 | 5,68 | 6,99 | 58,70 | 81,92 |
| | 22,70 | 23,48 | 23,10 | 34,47 | 24,40 | 42,41 | 1,76 | 7,49 | 46,81 | 80,62 |
| | 26,30 | 24,99 | 27,50 | 40,94 | 28,90 | 46,35 | 4,56 | 9,89 | 63,83 | 85,47 |
| | 27,10 | 27,10 | 28,10 | 41,32 | 29,20 | 49,17 | 3,69 | 7,75 | 52,47 | 81,44 |
| T51 | 27,70 | 26,70 | 28,60 | 39,28 | 29,20 | 48,94 | 3,25 | 5,42 | 47,12 | 83,30 |
| | 26,30 | 24,82 | 27,20 | 35,77 | 28,10 | 46,21 | 3,42 | 6,84 | 44,12 | 86,18 |
| | 26,70 | 27,45 | 27,70 | 38,69 | 29,30 | 50,14 | 3,75 | 9,74 | 40,95 | 82,66 |
| | 24,20 | 27,52 | 26,10 | 39,38 | 25,50 | 51,75 | 7,85 | 5,37 | 43,10 | 88,05 |
| | 26,20 | 27,95 | 27,90 | 40,56 | 29,50 | 49,55 | 6,49 | 12,60 | 45,12 | 77,28 |
| | 26,30 | 25,97 | 27,80 | 38,43 | 29,10 | 47,77 | 5,70 | 10,65 | 47,98 | 83,94 |
| T52 | 26,50 | 26,76 | 27,60 | 37,96 | 29,00 | 49,28 | 4,15 | 9,43 | 41,85 | 84,16 |
| | 27,50 | 27,38 | 27,70 | 43,78 | 30,20 | 52,48 | 0,73 | 9,82 | 59,90 | 91,67 |
| | 27,60 | 29,28 | 28,70 | 43,41 | 29,20 | 52,95 | 3,99 | 5,80 | 48,26 | 80,84 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| T53 | 27,80 | 28,93 | 28,90 | 45,49 | 29,70 | 52,28 | 3,96 | 6,83 | 57,24 | 80,71 |
| | 26,70 | 27,64 | 27,40 | 39,36 | 28,10 | 49,82 | 2,62 | 5,24 | 42,40 | 80,25 |
| | 25,50 | 27,20 | 27,10 | 43,40 | 27,90 | 50,36 | 6,27 | 9,41 | 59,56 | 85,15 |
| | 25,50 | 26,06 | 26,30 | 38,46 | 27,00 | 47,82 | 3,14 | 5,88 | 47,58 | 83,50 |
| | 28,70 | 29,17 | 30,50 | 43,69 | 30,60 | 53,18 | 6,27 | 6,62 | 49,78 | 82,31 |
| | 28,50 | 27,40 | 30,00 | 45,91 | 30,50 | 51,27 | 5,26 | 7,02 | 67,55 | 87,12 |
| | 26,90 | 27,10 | 27,00 | 43,88 | 27,70 | 50,33 | 0,37 | 2,97 | 61,92 | 85,72 |
| T61 | 21,20 | 28,78 | 21,40 | 39,64 | 22,20 | 44,96 | 0,94 | 4,72 | 37,73 | 56,22 |
| | 21,10 | 27,93 | 21,70 | 39,10 | 22,40 | 44,20 | 2,84 | 6,16 | 39,99 | 58,25 |
| | 21,20 | 29,65 | 22,00 | 40,59 | 22,60 | 46,92 | 3,77 | 6,60 | 36,90 | 58,25 |
| | 20,60 | 28,12 | 21,40 | 41,83 | 22,00 | 46,24 | 3,88 | 6,80 | 48,76 | 64,44 |
| | 20,40 | 26,30 | 21,10 | 36,13 | 21,60 | 43,19 | 3,43 | 5,88 | 37,38 | 64,22 |
| | 19,70 | 24,67 | 20,50 | 35,55 | 21,10 | 41,46 | 4,06 | 7,11 | 44,10 | 68,06 |
| T62 | 21,90 | 27,58 | 22,30 | 38,25 | 23,50 | 43,94 | 1,83 | 7,31 | 38,69 | 59,32 |
| | 21,80 | 26,29 | 22,80 | 40,31 | 23,20 | 43,74 | 4,59 | 6,42 | 53,33 | 66,38 |
| | 21,50 | 25,53 | 22,40 | 38,70 | 22,80 | 40,93 | 4,19 | 6,05 | 51,59 | 60,32 |
| | 21,10 | 26,35 | 21,50 | 31,49 | 22,40 | 41,41 | 1,90 | 6,16 | 19,51 | 57,15 |
| | 20,50 | 25,84 | 21,00 | 30,99 | 21,60 | 37,56 | 2,44 | 5,37 | 19,93 | 45,36 |
| | 21,70 | 27,28 | 21,80 | 35,80 | 22,40 | 41,54 | 0,46 | 3,23 | 31,23 | 52,27 |
| T63 | 19,70 | 20,66 | 20,10 | 32,65 | 20,40 | 35,17 | 2,03 | 3,55 | 58,03 | 70,23 |
| | 20,10 | 25,21 | 20,90 | 35,59 | 21,20 | 41,85 | 3,98 | 5,47 | 41,17 | 66,01 |
| | 20,20 | 25,86 | 21,40 | 43,66 | 21,80 | 44,32 | 5,94 | 7,92 | 68,83 | 71,38 |
| | 20,30 | 26,90 | 21,00 | 37,41 | 21,50 | 43,63 | 3,45 | 5,91 | 39,07 | 62,19 |
| | 20,50 | 28,33 | 21,30 | 43,50 | 21,90 | 43,20 | 3,90 | 6,83 | 53,55 | 52,49 |
| | 20,80 | 30,12 | 21,40 | 41,24 | 22,30 | 45,81 | 2,88 | 7,21 | 36,92 | 52,09 |
| T71 | 24,80 | 30,32 | 25,90 | 36,55 | 27,00 | 45,79 | 4,44 | 8,87 | 20,55 | 51,02 |
| | 25,70 | 29,65 | 26,10 | 34,18 | 26,80 | 40,72 | 1,56 | 4,28 | 15,28 | 37,34 |
| | 25,80 | 30,73 | 26,50 | 37,97 | 27,10 | 46,64 | 2,71 | 5,04 | 23,56 | 51,77 |
| | 25,90 | 30,14 | 26,60 | 35,86 | 27,00 | 41,85 | 2,70 | 4,25 | 18,98 | 38,85 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| T72 | 26,20 | 30,12 | 27,10 | 37,60 | 27,70 | 45,50 | 3,44 | 5,73 | 24,83 | 51,06 |
| | 25,40 | 27,16 | 26,30 | 35,20 | 26,90 | 43,34 | 3,54 | 5,91 | 29,60 | 59,57 |
| | 23,50 | 25,50 | 24,90 | 37,53 | 26,10 | 49,37 | 5,96 | 11,06 | 47,18 | 93,61 |
| | 24,10 | 28,26 | 25,10 | 38,27 | 25,80 | 47,59 | 4,15 | 7,05 | 35,42 | 68,40 |
| | 24,90 | 29,11 | 26,00 | 35,37 | 27,00 | 44,02 | 4,42 | 8,43 | 21,50 | 51,22 |
| | 22,90 | 26,48 | 24,40 | 31,25 | 26,10 | 39,06 | 6,55 | 13,97 | 18,01 | 47,51 |
| | 23,40 | 28,95 | 24,40 | 34,16 | 25,40 | 44,18 | 4,27 | 8,55 | 18,00 | 52,61 |
| | 24,00 | 29,67 | 25,30 | 38,31 | 26,30 | 37,95 | 5,42 | 9,58 | 29,12 | 27,91 |
| | 26,30 | 27,47 | 27,40 | 32,44 | 27,90 | 38,85 | 4,18 | 6,08 | 18,09 | 41,43 |
| | 27,00 | 29,35 | 27,90 | 35,64 | 28,40 | 46,21 | 3,33 | 5,19 | 21,43 | 57,44 |
| T73 | 26,50 | 27,81 | 28,00 | 35,53 | 28,40 | 44,44 | 5,66 | 7,17 | 27,76 | 59,80 |
| | 25,60 | 27,06 | 26,50 | 33,96 | 27,00 | 40,57 | 3,52 | 5,47 | 25,50 | 49,93 |
| | 25,70 | 26,83 | 26,20 | 34,34 | 26,40 | 44,51 | 1,95 | 2,72 | 27,99 | 65,90 |
| | 25,60 | 27,10 | 25,60 | 31,14 | 26,00 | 48,87 | 0,00 | 1,56 | 14,91 | 80,33 |
| T81 | 21,40 | 31,38 | 23,00 | 47,84 | 23,50 | 51,97 | 7,48 | 9,81 | 52,45 | 65,62 |
| | 21,60 | 32,30 | 23,00 | 50,61 | 23,30 | 53,27 | 6,48 | 7,87 | 56,69 | 64,92 |
| | 22,20 | 35,10 | 23,60 | 51,24 | 24,00 | 54,13 | 6,31 | 8,11 | 45,98 | 54,22 |
| | 22,70 | 33,52 | 23,30 | 47,60 | 23,50 | 51,58 | 2,64 | 3,52 | 42,00 | 53,88 |
| | 22,30 | 30,47 | 23,90 | 46,38 | 24,10 | 48,69 | 7,17 | 8,07 | 52,22 | 59,80 |
| | 23,20 | 29,56 | 24,50 | 46,01 | 25,00 | 48,41 | 5,60 | 7,76 | 55,65 | 63,77 |
| | 21,00 | 24,38 | 21,20 | 35,09 | 21,80 | 41,62 | 0,95 | 3,81 | 43,93 | 70,71 |
| T82 | 21,30 | 26,00 | 22,30 | 35,53 | 22,50 | 42,71 | 4,69 | 5,63 | 36,65 | 64,27 |
| | 21,80 | 28,43 | 22,80 | 40,60 | 22,90 | 44,80 | 4,59 | 5,05 | 42,81 | 57,58 |
| | 22,20 | 28,87 | 22,30 | 36,50 | 23,60 | 47,10 | 0,45 | 6,31 | 26,43 | 63,15 |
| | 22,40 | 28,33 | 23,30 | 44,34 | 24,00 | 44,30 | 4,02 | 7,14 | 56,51 | 56,37 |
| | 22,60 | 28,31 | 23,50 | 39,90 | 23,90 | 45,90 | 3,98 | 5,75 | 40,94 | 62,13 |
| T83 | 22,00 | 27,74 | 23,20 | 30,60 | 23,40 | 42,69 | 5,45 | 6,36 | 10,31 | 53,89 |
| | 22,30 | 32,28 | 23,10 | 42,13 | 23,40 | 48,38 | 3,59 | 4,93 | 30,51 | 49,88 |
| | 22,00 | 31,83 | 23,00 | 46,46 | 23,50 | 49,85 | 4,55 | 6,82 | 45,96 | 56,61 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 21,50 | 29,05 | 23,00 | 41,53 | 23,10 | 46,31 | 6,98 | 7,44 | 42,96 | 59,41 |
| | 21,90 | 32,05 | 23,10 | 45,81 | 23,20 | 50,50 | 5,48 | 5,94 | 42,93 | 57,57 |
| | 21,70 | 27,84 | 22,60 | 39,39 | 22,90 | 45,26 | 4,15 | 5,53 | 41,49 | 62,57 |
| | 24,00 | 20,66 | 28,80 | 36,52 | 31,60 | 41,93 | 20,00 | 31,67 | 76,77 | 102,95 |
| | 24,60 | 24,27 | 26,40 | 36,13 | 29,50 | 47,87 | 7,32 | 19,92 | 48,87 | 97,24 |
| T91 | 25,00 | 20,43 | 27,60 | 33,44 | 30,50 | 42,78 | 10,40 | 22,00 | 63,68 | 109,40 |
| | 24,20 | 21,87 | 27,50 | 32,67 | 32,30 | 45,68 | 13,64 | 33,47 | 49,38 | 108,87 |
| | 24,70 | 22,90 | 28,10 | 34,74 | 30,70 | 46,11 | 13,77 | 24,29 | 51,70 | 101,35 |
| | 25,20 | 20,79 | 29,50 | 38,33 | 32,00 | 42,22 | 17,06 | 26,98 | 84,37 | 103,08 |
| | 25,40 | 20,32 | 27,30 | 26,47 | - | - | 7,48 | - | 30,27 | - |
| | 26,00 | 19,89 | 28,00 | 30,13 | 33,80 | 39,06 | 7,69 | 30,00 | 51,48 | 96,38 |
| T92 | 27,10 | 22,36 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 25,60 | 21,31 | 28,50 | 31,23 | 32,50 | 42,53 | 11,33 | 26,95 | 46,55 | 99,58 |
| | 25,80 | 20,91 | 29,40 | 32,21 | 33,30 | 40,35 | 13,95 | 29,07 | 54,04 | 92,97 |
| | 25,80 | 21,14 | 28,10 | 26,06 | 29,40 | 37,53 | 8,91 | 13,95 | 23,27 | 77,53 |
| | 26,00 | 20,37 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 25,80 | 21,81 | 29,60 | 31,54 | 33,50 | 42,46 | 14,73 | 29,84 | 44,61 | 94,68 |
| T93 | 25,00 | 22,35 | 27,20 | 28,67 | 31,40 | 43,53 | 8,80 | 25,60 | 28,28 | 94,77 |
| | 24,30 | 18,83 | 27,50 | 32,70 | 29,70 | 37,24 | 13,17 | 22,22 | 73,66 | 97,77 |
| | 24,60 | 20,76 | 27,60 | 35,24 | 29,60 | 39,94 | 12,20 | 20,33 | 69,75 | 92,39 |
| | 25,00 | 20,61 | 29,20 | 35,60 | 32,40 | 39,36 | 16,80 | 29,60 | 72,73 | 90,98 |
| | 21,40 | 27,70 | 22,40 | 41,38 | 22,70 | 43,71 | 4,67 | 6,07 | 49,39 | 57,80 |
| | 21,50 | 25,90 | 23,70 | 40,40 | 24,30 | 43,00 | 10,23 | 13,02 | 55,98 | 66,02 |
| T101 | 21,80 | 25,19 | 23,30 | 22,98 | 23,90 | 43,14 | 6,88 | 9,63 | -8,77 | 71,26 |
| | 22,50 | 26,27 | 24,70 | 43,30 | 25,90 | 44,06 | 9,78 | 15,11 | 64,83 | 67,72 |
| | 21,30 | 27,22 | 22,30 | 42,24 | 22,70 | 45,01 | 4,69 | 6,57 | 55,18 | 65,36 |
| | 20,80 | 25,93 | 21,90 | 41,61 | 22,00 | 43,90 | 5,29 | 5,77 | 60,47 | 69,30 |
| T102 | 24,30 | 26,22 | 25,90 | 47,23 | 27,10 | 47,51 | 6,58 | 11,52 | 80,13 | 81,20 |
| | 23,70 | 25,62 | 25,00 | 43,97 | 26,00 | 45,23 | 5,49 | 9,70 | 71,62 | 76,54 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 23,70 | 25,50 | 24,60 | 43,88 | 25,60 | 45,62 | 3,80 | 8,02 | 72,08 | 78,90 |
| | 23,00 | 25,44 | 24,40 | 42,19 | 25,30 | 45,43 | 6,09 | 10,00 | 65,84 | 78,58 |
| | 22,80 | 24,06 | 23,40 | 41,26 | 24,10 | 42,36 | 2,63 | 5,70 | 71,49 | 76,06 |
| | 20,40 | 21,57 | 20,90 | 34,84 | 21,60 | 36,46 | 2,45 | 5,88 | 61,52 | 69,03 |
| | 22,80 | 30,57 | 23,30 | 42,72 | 23,90 | 47,75 | 2,19 | 4,82 | 39,74 | 56,20 |
| | 22,00 | 26,28 | 22,80 | 38,90 | 23,30 | 43,17 | 3,64 | 5,91 | 48,02 | 64,27 |
| T103 | 21,20 | 26,01 | 21,60 | 35,34 | 22,40 | 41,30 | 1,89 | 5,66 | 35,87 | 58,79 |
| | 22,00 | 27,55 | 23,10 | 42,11 | 23,80 | 45,62 | 5,00 | 8,18 | 52,85 | 65,59 |
| | 21,40 | 25,21 | 22,10 | 34,95 | 23,20 | 41,26 | 3,27 | 8,41 | 38,64 | 63,67 |
| | 21,10 | 26,55 | 22,20 | 39,84 | 22,90 | 42,98 | 5,21 | 8,53 | 50,06 | 61,88 |
| | 26,20 | 25,96 | 30,10 | 52,25 | 32,90 | 52,45 | 14,89 | 25,57 | 101,27 | 102,04 |
| | 25,10 | 24,82 | 32,30 | 50,13 | 32,20 | 54,00 | 28,69 | 28,29 | 101,97 | 117,57 |
| T111 | 23,80 | 22,60 | 29,90 | 41,91 | 31,60 | 48,42 | 25,63 | 32,77 | 85,44 | 114,25 |
| | 23,10 | 23,34 | 26,30 | 42,59 | 29,50 | 49,94 | 13,85 | 27,71 | 82,48 | 113,97 |
| | 24,00 | 23,79 | 28,10 | 46,08 | 30,00 | 50,45 | 17,08 | 25,00 | 93,69 | 112,06 |
| | 23,90 | 22,41 | 27,50 | 41,39 | 28,70 | 48,99 | 15,06 | 20,08 | 84,69 | 118,61 |
| | 25,20 | 22,19 | 27,80 | 35,21 | 31,10 | 44,49 | 10,32 | 23,41 | 58,68 | 100,50 |
| | 24,00 | 22,44 | 26,80 | 31,07 | 30,30 | 44,55 | 11,67 | 26,25 | 38,46 | 98,53 |
| T112 | 23,60 | 20,73 | 26,30 | 31,04 | 28,40 | 42,44 | 11,44 | 20,34 | 49,73 | 104,73 |
| | 26,20 | 22,43 | 29,50 | 35,45 | 31,80 | 44,32 | 12,60 | 21,37 | 58,05 | 97,59 |
| | 22,90 | 19,40 | 24,20 | 26,94 | 27,10 | 37,62 | 5,68 | 18,34 | 38,87 | 93,92 |
| | 24,50 | 20,47 | 26,70 | 31,02 | 27,40 | 41,07 | 8,98 | 11,84 | 51,54 | 100,64 |
| T113 | | | | | | | | | | |
| T121 | 23,40 | 23,43 | 24,50 | 40,69 | 25,10 | 42,79 | 4,70 | 7,26 | 73,67 | 82,63 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 23,50 | 23,02 | 24,40 | 37,09 | 25,40 | 43,17 | 3,83 | 8,09 | 61,12 | 87,53 |
| | 21,60 | 21,22 | 22,30 | 38,24 | 22,60 | 38,90 | 3,24 | 4,63 | 80,21 | 83,32 |
| | 22,20 | 23,51 | 22,60 | 40,23 | 22,90 | 42,29 | 1,80 | 3,15 | 71,12 | 79,88 |
| | 22,10 | 23,78 | 23,30 | 40,67 | 24,20 | 42,09 | 5,43 | 9,50 | 71,03 | 77,00 |
| | 22,70 | 24,88 | 23,50 | 40,64 | 24,10 | 43,38 | 3,52 | 6,17 | 63,34 | 74,36 |
| | 22,30 | 25,80 | 23,80 | 43,55 | 25,40 | 45,46 | 6,73 | 13,90 | 68,80 | 76,20 |
| | 21,10 | 24,69 | 22,20 | 41,58 | 22,80 | 42,81 | 5,21 | 8,06 | 68,41 | 73,39 |
| | 20,10 | 22,62 | 22,20 | 38,29 | 22,60 | 41,17 | 10,45 | 12,44 | 69,27 | 82,01 |
| T122 | 22,80 | 26,49 | 24,40 | 44,48 | 24,80 | 45,44 | 7,02 | 8,77 | 67,91 | 71,54 |
| | 22,60 | 25,70 | 24,50 | 42,74 | 25,30 | 44,21 | 8,41 | 11,95 | 66,30 | 72,02 |
| | 20,90 | 24,21 | 22,00 | 41,62 | 23,10 | 42,46 | 5,26 | 10,53 | 71,91 | 75,38 |
| | 21,30 | 26,95 | 22,50 | 43,04 | 23,00 | 44,80 | 5,63 | 7,98 | 59,70 | 66,23 |
| | 19,60 | 20,15 | 20,90 | 34,54 | 21,40 | 35,12 | 6,63 | 9,18 | 71,41 | 74,29 |
| T123 | 20,20 | 23,23 | 20,80 | 33,27 | 21,40 | 39,26 | 2,97 | 5,94 | 43,22 | 69,01 |
| | 21,20 | 27,21 | 21,40 | 37,80 | 23,00 | 45,01 | 0,94 | 8,49 | 38,92 | 65,42 |
| | 19,90 | 21,20 | 20,90 | 40,80 | 21,10 | 36,23 | 5,03 | 6,03 | 92,45 | 70,90 |
| | 20,30 | 22,19 | 21,10 | 37,27 | 21,50 | 39,10 | 3,94 | 5,91 | 67,96 | 76,21 |
| | 26,50 | 21,82 | 28,00 | 43,03 | 28,40 | 39,94 | 5,66 | 7,17 | 97,20 | 83,04 |
| | 27,30 | 23,30 | 28,40 | 44,24 | 28,30 | 43,21 | 4,03 | 3,66 | 89,87 | 85,45 |
| T131 | 27,20 | 23,91 | 28,40 | 45,08 | 28,60 | 44,36 | 4,41 | 5,15 | 88,54 | 85,53 |
| | 26,20 | 25,02 | 26,60 | 44,86 | 27,10 | 45,83 | 1,53 | 3,44 | 79,30 | 83,17 |
| | 26,60 | 22,63 | 27,90 | 42,66 | 28,50 | 43,04 | 4,89 | 7,14 | 88,51 | 90,19 |
| | 24,80 | 21,60 | 27,50 | 42,54 | 27,20 | 41,28 | 10,89 | 9,68 | 96,94 | 91,11 |
| | 24,50 | 26,39 | 25,90 | 41,71 | 26,20 | 47,07 | 5,71 | 6,94 | 58,05 | 78,36 |
| | 24,80 | 28,49 | 25,70 | 45,55 | 26,30 | 48,82 | 3,63 | 6,05 | 59,88 | 71,36 |
| T132 | 24,70 | 28,37 | 25,50 | 40,83 | 25,80 | 47,42 | 3,24 | 4,45 | 43,92 | 67,15 |
| | 24,40 | 27,21 | 25,60 | 43,66 | 26,10 | 46,67 | 4,92 | 6,97 | 60,46 | 71,52 |
| | 24,10 | 26,60 | 25,20 | 44,76 | 25,60 | 45,47 | 4,56 | 6,22 | 68,27 | 70,94 |
| | 24,40 | 27,13 | 25,50 | 40,41 | 26,10 | 46,26 | 4,51 | 6,97 | 48,95 | 70,51 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T133 | 24,10 | 24,56 | 25,30 | 41,70 | 26,10 | 43,81 | 4,98 | 8,30 | 69,79 | 78,38 |
| | 25,20 | 27,09 | 26,30 | 42,51 | 26,70 | 43,34 | 4,37 | 5,95 | 56,92 | 59,99 |
| | 24,40 | 28,16 | 25,60 | 48,03 | 26,00 | 47,40 | 4,92 | 6,56 | 70,56 | 68,32 |
| | 25,10 | 28,37 | 26,60 | 40,28 | 27,10 | 47,75 | 5,98 | 7,97 | 41,98 | 68,31 |
| | 25,00 | 26,26 | 25,90 | 35,39 | 26,30 | 45,12 | 3,60 | 5,20 | 34,77 | 71,82 |
| | 25,30 | 26,21 | 26,70 | 43,73 | 27,00 | 45,27 | 5,53 | 6,72 | 66,84 | 72,72 |
| T141 | 22,50 | 23,04 | 23,30 | 40,06 | 23,30 | 40,00 | 3,56 | 3,56 | 73,87 | 73,61 |
| | 22,40 | 22,48 | 23,30 | 38,81 | 23,50 | 38,92 | 4,02 | 4,91 | 72,64 | 73,13 |
| | 22,90 | 23,37 | 23,30 | 40,90 | 23,40 | 41,09 | 1,75 | 2,18 | 75,01 | 75,82 |
| | 23,00 | 27,61 | 24,30 | 46,87 | 24,40 | 46,53 | 5,65 | 6,09 | 69,76 | 68,53 |
| | 22,80 | 26,65 | 24,00 | 45,13 | 24,00 | 45,13 | 5,26 | 5,26 | 69,34 | 69,34 |
| | 22,00 | 25,50 | 23,44 | 45,29 | 23,50 | 42,40 | 6,55 | 6,82 | 77,61 | 66,27 |
| T142 | 21,00 | 24,85 | 22,10 | 43,10 | 21,80 | 40,88 | 5,24 | 3,81 | 73,44 | 64,51 |
| | 21,10 | 24,64 | 22,20 | 42,38 | 21,90 | 40,15 | 5,21 | 3,79 | 72,00 | 62,95 |
| | 21,00 | 25,69 | 22,30 | 44,26 | 22,00 | 41,33 | 6,19 | 4,76 | 72,28 | 60,88 |
| | 21,70 | 25,88 | 22,30 | 44,42 | 22,00 | 41,32 | 2,76 | 1,38 | 71,64 | 59,66 |
| | 21,40 | 26,18 | 22,50 | 44,55 | 22,60 | 41,63 | 5,14 | 5,61 | 70,17 | 59,01 |
| | 21,20 | 25,02 | 22,30 | 42,29 | 22,10 | 42,56 | 5,19 | 4,25 | 69,02 | 70,10 |
| T143 | 22,70 | 25,43 | 23,80 | 45,08 | 23,90 | 40,99 | 4,85 | 5,29 | 77,27 | 61,19 |
| | 22,40 | 24,42 | 23,30 | 42,46 | 23,80 | 42,16 | 4,02 | 6,25 | 73,87 | 72,65 |
| | 22,90 | 26,20 | 23,80 | 40,25 | 23,80 | 40,55 | 3,93 | 3,93 | 53,63 | 54,77 |
| | 22,70 | 26,00 | 23,20 | 41,84 | 23,10 | 42,17 | 2,20 | 1,76 | 60,92 | 62,19 |
| | 22,50 | 25,51 | 23,50 | 40,26 | 23,50 | 41,76 | 4,44 | 4,44 | 57,82 | 63,70 |
| | 22,50 | 24,50 | 23,60 | 42,71 | 23,60 | 40,13 | 4,89 | 4,89 | 74,33 | 63,80 |
| T151 | 24,00 | 24,24 | 25,80 | 35,28 | 26,90 | 42,22 | 7,50 | 12,08 | 45,54 | 74,17 |
| | 23,40 | 24,47 | 25,50 | 33,66 | 26,90 | 43,01 | 8,97 | 14,96 | 37,56 | 75,77 |
| | 23,00 | 23,22 | 25,10 | 35,39 | 26,80 | 40,21 | 9,13 | 16,52 | 52,41 | 73,17 |
| | 23,40 | 25,30 | 25,70 | 35,51 | 27,10 | 43,92 | 9,83 | 15,81 | 40,36 | 73,60 |
| | 23,00 | 25,21 | 26,20 | 35,26 | 27,10 | 43,68 | 13,91 | 17,83 | 39,87 | 73,26 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 23,10 | 23,17 | 25,60 | 34,58 | 26,00 | 41,45 | 10,82 | 12,55 | 49,24 | 78,90 |
| | 22,10 | 27,44 | 24,50 | 45,24 | 25,20 | 48,96 | 10,86 | 14,03 | 64,87 | 78,43 |
| | 22,00 | 25,90 | 24,90 | 43,44 | 26,20 | 46,26 | 13,18 | 19,09 | 67,72 | 78,61 |
| T152 | 21,60 | 26,31 | 24,90 | 47,44 | 26,20 | 48,95 | 15,28 | 21,30 | 80,31 | 86,05 |
| | 21,80 | 25,88 | 24,90 | 44,11 | 26,10 | 48,01 | 14,22 | 19,72 | 70,44 | 85,51 |
| | 21,30 | 24,70 | 22,50 | 36,69 | 23,10 | 43,25 | 5,63 | 8,45 | 48,54 | 75,10 |
| | 20,80 | 26,23 | 23,50 | 42,38 | 24,30 | 46,38 | 12,98 | 16,83 | 61,57 | 76,82 |
| | 21,80 | 20,92 | 26,20 | 31,88 | 28,50 | 37,87 | 20,18 | 30,73 | 52,39 | 81,02 |
| | 22,60 | 21,39 | 24,90 | 27,53 | 26,40 | 37,01 | 10,18 | 16,81 | 28,71 | 73,02 |
| T153 | 22,30 | 22,14 | 25,80 | 32,99 | 26,50 | 39,75 | 15,70 | 18,83 | 49,01 | 79,54 |
| | 22,80 | 21,14 | 25,70 | 31,34 | 26,00 | 37,38 | 12,72 | 14,04 | 48,25 | 76,82 |
| | 22,70 | 24,38 | 25,30 | 37,61 | 26,50 | 41,01 | 11,45 | 16,74 | 54,27 | 68,21 |
| | 22,30 | 22,14 | 24,70 | 33,65 | 26,30 | 39,05 | 10,76 | 17,94 | 51,99 | 76,38 |
| | 20,30 | 25,73 | 21,60 | 40,70 | 25,10 | 43,28 | 6,40 | 23,65 | 58,18 | 68,21 |
| | 19,60 | 25,95 | 20,50 | 37,82 | 20,60 | 43,75 | 4,59 | 5,10 | 45,74 | 68,59 |
| T161 | 19,60 | 25,56 | 21,00 | 37,60 | 21,10 | 42,59 | 7,14 | 7,65 | 47,10 | 66,63 |
| | 20,80 | 25,15 | 21,80 | 39,48 | 21,80 | 41,00 | 4,81 | 4,81 | 56,98 | 63,02 |
| | 20,70 | 25,84 | 21,50 | 40,51 | 21,50 | 42,74 | 3,86 | 3,86 | 56,77 | 65,40 |
| | 20,20 | 27,85 | 21,70 | 38,84 | 21,90 | 42,73 | 7,43 | 8,42 | 39,46 | 53,43 |
| | 20,20 | 29,65 | 21,80 | 40,77 | 21,30 | 45,19 | 7,92 | 5,45 | 37,50 | 52,41 |
| | 18,50 | 23,92 | 19,80 | 35,83 | 19,80 | 39,35 | 7,03 | 7,03 | 49,79 | 64,51 |
| T162 | 17,60 | 20,58 | 19,10 | 32,50 | 18,90 | 34,95 | 8,52 | 7,39 | 57,92 | 69,83 |
| | 19,60 | 28,54 | 21,00 | 43,27 | 20,80 | 46,13 | 7,14 | 6,12 | 51,61 | 61,63 |
| | 19,80 | 28,46 | 21,30 | 41,54 | 21,70 | 45,83 | 7,58 | 9,60 | 45,96 | 61,03 |
| | 19,70 | 28,14 | 21,70 | 41,86 | 21,50 | 45,83 | 10,15 | 9,14 | 48,76 | 62,86 |
| | 18,90 | 23,31 | 21,60 | 37,25 | 21,00 | 38,74 | 14,29 | 11,11 | 59,80 | 66,19 |
| T163 | 18,60 | 24,60 | 19,70 | 38,16 | 19,70 | 40,33 | 5,91 | 5,91 | 55,12 | 63,94 |
| | 19,20 | 23,55 | 20,00 | 37,32 | 20,40 | 39,80 | 4,17 | 6,25 | 58,47 | 69,00 |
| | 18,90 | 25,20 | 20,90 | 40,30 | 21,20 | 42,50 | 10,58 | 12,17 | 59,92 | 68,65 |

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 19,20 | 24,04 | 20,40 | 38,50 | 20,60 | 40,73 | 6,25 | 7,29 | 60,15 | 69,43 |
| 18,80 | 23,94 | 21,10 | 39,09 | 21,20 | 41,38 | 12,23 | 12,77 | 63,28 | 72,85 |
