

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS,
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL

CÉSAR AUGUSTO ANGELINO CAMPOS SILVA

ESTUDO SOBRE O PROCESSO DE CONVERSÃO DE CASCA DE
EUCALIPTO EM BIOMASSA ENERGÉTICA EM UMA EMPRESA
PRODUTORA DE PAINÉIS DE MADEIRA

ITUIUTABA
2024

CÉSAR AUGUSTO ANGELINO CAMPOS SILVA

ESTUDO SOBRE O PROCESSO DE CONVERSÃO DE CASCA DE
EUCALIPTO EM BIOMASSA ENERGÉTICA EM UMA EMPRESA
PRODUTORA DE PAINÉIS DE MADEIRA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à banca examinadora da
Universidade Federal de Uberlândia para
concluir as exigências para obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof. Dr. Mara Rúbia da
Silva Miranda

ITUIUTABA
2024

ESTUDO SOBRE O PROCESSO DE CONVERSÃO DE CASCA DE
EUCALIPTO EM BIOMASSA ENERGÉTICA EM UMA EMPRESA
PRODUTORA DE PAINÉIS DE MADEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso,
aprovado para concluir as atividades exigidas
para obtenção do grau de Bacharelado em
Engenharia de Produção pela banca
examinadora formada por:

Ituiutaba, 15 de janeiro de 2023.
Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Mara Rúbia da Silva Miranda (orientadora), FACES/UFU

Prof^ª. Dr^ª. Gabriela Lima Menegaz, FACES/UFU

Prof. Dr. Vagner de Oliveira Magrini, FACES/UFU

*Dedico esse trabalho aos meus pais e a minha irmã,
base para que eu me tornasse quem sou hoje,
E aos meus avós, que no auge de suas experiências,
Me conceberam tantos conhecimentos sobre a vida.*

AGRADECIMENTOS

740 km. Essa foi a distância que durante 5 anos da minha vida separou o conforto de casa, com convivência diária da família, de um mundo novo fora do lar, recheado de expectativas, sonhos, medos e dúvidas. Foi essa distância que separou o menino ainda imaturo, ansioso e sonhador de 2019, do homem em constante evolução, em 2024. Foi esse o preço pago para deixar de sonhar e vivenciar, de fato, a realidade de estudar em uma Universidade Federal, que sempre estive nos planos, mas que em alguns momentos, parecia tão irreal e distante. Diante tantos questionamentos internos durante todo esse tempo, dos quais muitos vieram de momentos de fraqueza, saudade e inexperiência, segui firme diante meu objetivo, pois sabia que ao final, tudo valeria a pena.

Me perguntam se me arrependo. Se teria feito algo diferente. Se teria feito mais, ou menos. E embora hoje eu tenha certeza da resposta, essa questão ainda me deixa completamente reflexivo! Afinal, se eu tivesse seguido outro caminho, talvez tivesse oportunidades, aprendizados e visões diferentes, mas ao mesmo tempo, tenho orgulho e satisfação por ter seguido nesta trilha e ter a oportunidade de passar por cada momento de superação, cada momento de alegria e de ter conhecido cada uma das pessoas que passaram em minha trajetória. Valeu a pena!

Em palavras não é possível expressar o amor, carinho e gratidão que tenho por meus pais, Kelly e Sérgio, por todo apoio que me deram durante todos os momentos da minha vida e que não foi diferente no período de faculdade. Sem eles, seus ensinamentos e orientações, nada disso seria possível! Se hoje eu sou quem sou, o mérito é totalmente deles, que por muito tempo passaram por cima de dificuldades e limitações para prover o melhor para mim e garantir que nada faltasse. A conquista desse sonho não é minha... é nossa! Agradeço á minha irmã, Juliana, que em todos os momentos estive ao meu lado. Para você, não tenho o que falar. O sentimento ultrapassa o que qualquer palavra possa descrever. Estarei sempre ao seu lado.

Agradeço também a todas as amigas que fiz na Universidade, que me ajudaram tanto no meu desenvolvimento pessoal quanto profissional. Talvez não saibam, mas vocês foram a base que me manteve em pé durante todo esse tempo, onde as dificuldades acadêmicas e de vivências pareciam ir além. Citar nomes seria insensível da minha parte, mas faço questão de diariamente demonstrar a aqueles aos quais me refiro nesse texto, minha sincera gratidão e consideração.

Por fim, agradeço a toda a comunidade docente por tanto. Sou grato por ter aprendido e me desenvolvido profissionalmente com cada um que fez parte dessa trajetória. Em especial, meu eterno agradecimento a professora Mara Rubia, que desde 2020 esteve presente, me auxiliando academicamente e profissionalmente, através de estudos, artigos públicos e pesquisas realizadas e que agora, me acompanha no Trabalho de Conclusão de Curso. Mais do que uma professora, se tornou uma amiga.

*“Quem olha para fora sonha,
Quem olha para dentro desperta!”*

(Carl Jung)

RESUMO

Durante décadas, o meio ambiente foi negligenciado em favor do crescimento econômico e da produção. Isso resultou em danos significativos aos recursos naturais, impulsionados principalmente pelo uso intensivo das indústrias. Com o avanço das pesquisas, tornou-se clara a necessidade de ações para reverter essa degradação e buscar práticas mais sustentáveis. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo principal analisar o processo de geração de energia térmica dentro de uma empresa produtora de painéis de madeira, através do uso de biomassa constituída na própria organização. A metodologia empregada visa a melhor compreensão acerca do caso, analisando dados quali-quantitativos, concebidos através de pesquisas documentais e observações *in loco*, para compreender o atual contexto que a empresa se encontra no que se refere aos processos de geração e queima de biomassa, obtendo como subproduto o gás quente utilizado em etapas da produção. Desse modo, no que tange ao registro da entrada de resíduo mensal na linha, o estudo demonstrou que os valores de densidade média da casca e seu percentual de presença na madeira considerados para o cálculo da quantidade de casca em tonelada sendo este o principal objeto de estudo –, se mantiveram próximos da literatura. Ao passo que experimentalmente a densidade média varia entre 0,24 e 40 g/cm³ e o percentual, entre 10 % a 18 % e os valores utilizados na empresa para tratamento dos dados são 0,3 g/cm³ e 14,8 %, respectivamente. Acerca do dimensionamento, percebeu-se que os parâmetro e condições do processo e da madeira influenciam fortemente no volume de biomassa a ser utilizado para queima e conseqüentemente, na temperatura a ser atingida para um gás quente ideal, evidenciando que o conhecimento técnico da operação são fatores significativos para o sucesso das atividades. Em média, de acordo com os testes realizados, foi constatada uma demanda de 1248 m³ de biomassa por dia para atingir uma temperatura média de trabalho na saída da planta de energia de 1068,8 °C dentro das condições de medição realizadas, propiciando bons resultados para atividades posteriores, tal como a secagem dos *Flakers* e aquecimento do óleo térmico.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Madeira; Biomassa; Geração de energia; Energia térmica.

ABSTRACT

For decades, the environment has been neglected in favor of economic growth and production. This has resulted in significant damage to natural resources, primarily driven by the intensive use of industries. With the advancement of research, the need for actions to reverse this degradation and seek more sustainable practices has become clear. Thus, the main objective of this study was to analyze the process of thermal energy generation within a wood panel production company, using biomass produced within the organization itself. The methodology employed aims to better understand the case, analyzing qualitative data, derived from documentary research and on-site observations, to comprehend the current context of the company concerning the processes of biomass generation and combustion, producing as a byproduct the warm gas used in production stages. In this regard, regarding the monthly waste input record on the line, the study showed that the average density values of the bark and its percentage of presence in the wood, used to calculate the bark quantity in tons – being this the main object of study – remained close to the literature. Experimentally, the average density varies between 0.24 and 40 g/cm³, and the percentage between 10% to 18 %. The values used by the company for data processing are 0.3 g/cm³ and 14.8 %, respectively. Concerning sizing, it was observed that the parameters and conditions of the process and the wood strongly influence the volume of biomass to be used for combustion and consequently, the temperature to be reached for an ideal warm gas, making it clear that technical knowledge of the operation are significant factors for the success of the activities. On average, according to the tests conducted, a demand of 1248 m³ of biomass per day was found to achieve an average working temperature at the power plant exit of 1068.8 °C under the measurement conditions, yielding good results for subsequent activities, such as chip drying and heating of the thermal oil.

Keywords: *sustainability; Wood; Biomass; Power Generation; Thermal Energy.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Fontes de biomassa e seus processos de conversão	Página 8
Figura 2	Processo produtivo de chapas de madeira em MDP	Página 18
Figura 3	Consumo relativo de energia no ano de 2022	Página 19
Figura 4	Planilha dimensionadora da geração de biomassa mensal	Página 22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dimensionamento médio de temperatura pelo volume de biomassa abastecido por hora	Página 27
----------	----------------------------------------------------------------------------------	-----------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS DE PESQUISA	3
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	3
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
1.3	JUSTIFICATIVA.....	3
1.4	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	4
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1	SUSTENTABILIDADE.....	6
2.2	GERAÇÃO DE ENERGIA.....	7
2.3	BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL	8
2.4	RESÍDUOS FLORESTAIS	9
3	METODOLOGIA.....	14
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	15
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO - CHAPAS EM MDP	15
4.3	LINHA DE PRODUÇÃO - CHAPAS EM MDP	16
4.4	UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA NO PROCESSO PRODUTIVO.....	18
4.4.1	<i>Panorama geral da utilização de biomassa na empresa</i>	18
4.4.2	<i>Geração de energia na fábrica</i>	20
4.5	RESULTADOS	21
4.5.1	<i>Quantificação de biomassa no processo produtivo</i>	21
4.5.2	<i>Dimensionamento da demanda diária de biomassa para queima</i>	24
4.6	DISCUSSÕES	27
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
5.1	CONCLUSÕES DO TRABALHO	32
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	33
6	REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Durante décadas o planeta foi palco para inúmeros avanços no campo da ciência, medicina, tecnologia, política, entre outros. Como consequência de todo esse desenvolvimento, as relações com o meio ambiente, sociedade e com o próprio cotidiano de cada indivíduo se alteraram e intensificaram ao passar dos anos, gerando resultados benéficos, mas também muitos efeitos negativos.

Por muito tempo o descaso e o conhecimento vazio sobre a importância de adotar medidas eficazes e sustentáveis para lidar com determinados processos ambientais, industriais e sociais prevaleceram. Com o passar dos anos, os problemas ligados ao meio ambiente enquanto ecossistema foram se acentuando, trazendo danos drásticos e muitas vezes irreparáveis ao ar, às águas, à atmosfera e aos próprios recursos naturais, protagonizando a escassez de muitos deles. Dar sustento aos recursos naturais já existentes, garantindo que o desenvolvimento contínuo seja possível com eficiência e qualidade é mais do que um objetivo a ser atingido, mas sim uma necessidade a ser reparada.

Em 2015, junto ao lançamento do Documento Final da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, foi iniciado o processo de construção da Agenda 2030, cujo foco principal foi reforçar a necessidade de integrar aspectos econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento, reafirmando as obrigações relacionadas aos objetivos do Milênio (ODMs), como também relançar as bases para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), composto por 17 objetivos no total, com metas a serem alcançadas em cada um deles. Enquanto os ODS representam o foco central da Agenda 2030, instruindo as ações nas três dimensões do desenvolvimento sustentável (econômica, social e ambiental), as metas indicam os caminhos a serem seguidos e as medidas que devem ser adotadas para promover o seu alcance.

Nos mais variados campos e setores o desenvolvimento sustentável é algo buscado frequentemente pelas empresas, organizações e sociedades. Seja na área do agronegócio, indústrias têxteis, madeireiras, alimentícias e mineradoras, ou em outras zonas, como a dos automóveis, aeronaves e transportes em geral, a sustentabilidade é referenciada, apontada e cobrada de alguma forma. Em empresas de base florestal, por exemplo, o processamento e industrialização da madeira, convertidos em produtos como papel e celulose, *pallets*, painéis de MDP (*Medium density particleboard*) e MDF (*Medium density Fiberboard*), acarretam a geração de um alto volume de resíduos, que a um olhar sustentável, podem contribuir

fortemente para a geração de energia limpa, tanto para os próprios processos da unidade, quanto para outras atividades.

Focando estritamente na madeira, o material é uma das potenciais matérias-primas para processo na geração de biomassa e bioenergia. De acordo com o Relatório Anual 2022 da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022), desenvolvido em parceria com o IBRE/FGV (Instituto Brasileiro de Economia/Fundação Getúlio Vargas), o número de hectares plantados de eucalipto aumentou de 7,41 milhões em 2020, para 7,53 milhões em 2021, demonstrando o crescimento no número de plantações. Quanto a sua produtividade média, os números se mantiveram crescentes, ao passo que, enquanto em 1970 o número era de 10 m³/há/ano, em 2021 o valor quase quadruplicou, atingindo 38,9 m³/há/ano. No caso da plantação de Pinus, houve um crescimento de 1,91 milhões de hectares para 1,93 milhões, de 2020 para 2021. Dados como esses transcrevem não só o crescimento das plantações de eucalipto e pinus em território brasileiro, mas trazem, de maneira implícita, o aumento proporcional dos resíduos gerados pelas árvores, seja de forma natural ou pelo seu processamento, abrindo assim um leque de oportunidades para estudo e utilização desse material na geração de componentes sustentáveis.

De acordo com o artigo “Aproveitamento Energético da Casca de Eucalipto”, desenvolvido pela Empresa Brasil Biomassa (2023), dentre os resíduos gerados a partir da fabricação do eucalipto, como cascas, folhas, galhos, serragens etc., um dos principais é a casca, que representa cerca de 6 % a 10 % da massa total da árvore/tora. O relatório ainda destaca que, apenas em 2021, o Brasil gerou cerca de 75 milhões de resíduos sólidos. Dentre esses resíduos, aproximadamente 70 % provinham de atividades florestais, com a representatividade da casca sendo de 98 %, o que demonstra a grande presença desse componente frente aos rejeitos gerados. Só no ano de 2021, em um estudo realizado com empresas associadas à IBÁ, foi constatado que cerca de 63,6 % de toneladas de resíduos gerados nos processos produtivos, tal como cascas, galhos, folhas, cavacos, serragem e licor preto foram direcionados para a geração de energia (IBÁ, 2022). Ou seja, além da alta geração de substratos e resíduos provindos da madeira, o que demonstra um grande potencial para estudo e aplicação, a conversão desse material em bioenergia é algo real e que vem se tornando cada vez mais comum.

Diante disso, o presente estudo buscou analisar o processo de geração de energia térmica por meio da queima da biomassa, caracterizada em sua maioria por casca de eucalipto, dentro da linha produtiva de chapas em MDP. O objetivo dessa atividade foi de investigar a quantidade de biomassa necessária durante determinado período, para geração de energia térmica suficiente, através de gás quente, destinado a secagem de *Flakers* e aquecimento de óleo térmico

em etapas posteriores de fabricação. Com o desenvolvimento do projeto, foi possível não somente entender as etapas de produção das chapas em MDP, mas também compreender como ocorre todo o processo de queima da matéria e geração de gás quente na planta de energia, além dos parâmetros e variáveis que influenciam na operação, recolhendo assim dados e informações tanto para testes mais efetivos no futuro, quanto propostas de melhoria para a geração de energia.

1.2 Objetivos de pesquisa

1.2.1 Objetivo geral

O trabalho tem como propósito geral analisar o processo de geração de energia térmica da empresa Alfa, dentro da linha produtiva de chapas em MDP, através do uso de biomassa constituída na própria organização.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Identificar a efetividade dos processos de controle de resíduos utilizados para conversão em biomassa;
- Destacar e entender os parâmetros, variáveis e processos realizados para conversão de casca em biomassa e sua posterior queima, para geração de gás quente;
- Analisar a quantidade de biomassa diária, em metros cúbicos, demandada para queima.

1.3 Justificativa

O trabalho realizado tem como origem a necessidade – não apenas específica ao local no qual se aplica, mas geral em termos de sociedade e meio ambiente – de melhores formas e vias sustentáveis de geração de energia por meio de fontes renováveis, tal como a biomassa. Dessa forma, possibilitando não apenas o estudo atual do desempenho dessa atividade, mas também o recolhimento de dados para estudos futuros que consistam na melhoria contínua dos processos e do tipo de fonte utilizada para se gerar energia.

1.4 Delimitação do trabalho

No que tange ao presente trabalho, seu desígnio se deu no estudo referente ao dimensionamento do volume de biomassa utilizado, para geração de energia térmica condizente com as necessidades da linha de produção de chapas de madeira, dentro de uma empresa localizada no sudeste de Minas Gerais. Dentre todos os objetos abordados, a pesquisa se limitou exclusivamente a casca de eucalipto como insumo para conversão em biomassa e posterior queima, e apenas aos processos desempenhados na linha de produção de chapas em MDP, no que corresponde as atividades de utilização do produto gás quente.

1.5 Estrutura do trabalho

O estudo apresentado foi dividido em determinadas etapas, a fim de melhor separar e englobar as partes teóricas que o compõe e a parte prática aplicada a empresa, que consiste, principalmente, em procedimentos documentais e estudo de caso. Dessa forma, a contextualização inicia a discussão abordando sobre a sustentabilidade de forma geral e sua respectiva importância no quesito social, empresarial e ambiental. Sendo atrelada a alta geração de resíduos no Brasil, em especial, provenientes da madeira, em rumo ao foco central do estudo, que se estabelece na utilização da biomassa, gerada a partir de resíduos de madeira para a produção de energia térmica. Segue com a exposição do objetivo geral e específicos, continuados pelo justificativa, delimitação e estruturação do trabalho.

Em prosseguimento, o referencial teórico aborda de forma mais específica o tema de sustentabilidade, dando ênfase também a geração de energia e a utilização da biomassa, especificamente gerada a partir de resíduos madeireiros, como grandes aliados em prol da produção mais limpa e sustentável dentro das organizações. Em seguida, revela-se a descrição da metodologia utilizada na pesquisa, com base na literatura científica, utilizada também para justificar a definição da natureza, abordagem, objetivo e procedimentos.

Dando continuidade, os resultados e discussões são apresentados, sendo inicialmente retratada esta etapa com a caracterização da empresa e do produto MDP e esclarecimento dos processos de fabricação das chapas neste material. Ademais, são destacados a fim de esclarecimento um panorama geral da geração de biomassa dentro da empresa e como ocorre a geração de energia a partir do produto. Apontando os resultados de fato, são apresentadas as descrições do estudo documental feito acerca dos registros de resíduos mensais gerados pela empresa e do dimensionamento do volume de biomassa utilizado para geração de energia, seguido pela discussão do que se foi encontrado e observado.

Por fim, no último capítulo as considerações finais foram colocadas, destacando tanto as conclusões do trabalho, visando descrever as percepções e dificuldades identificadas, como sugestões para trabalhos futuros, visando a troca do material utilizado para geração de energia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sustentabilidade

A noção de sustentabilidade pode ser encarada por duas perspectivas diferentes: a primeira, como origem biológica se refere à capacidade de reprodução e recuperação dos sistemas e ecossistemas frente às agressões antrópicas, tal como o uso excessivo dos recursos disponibilizados pelo meio, ou agressões naturais, como terremotos, tsunamis, queimadas etc. Já a segunda interpretação se satisfaz na economia, como adjetivo do desenvolvimento, e tem sua base gerada em decorrência do aumento da percepção, no decorrer do século XX, de que o padrão de produção e consumo em expansão no mundo não a tem possibilidade de perdurar, o que se torna algo preocupante (NASCIMENTO, 2012).

Segundo o documento “Nosso Futuro Comum- Relatório de Brundtland”, o desenvolvimento sustentável preza pelo atendimento das necessidades do presente, sem comprometer a chance de gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988).

Nos últimos anos, as organizações têm discutido em grande volume o conceito de “tripé da sustentabilidade”, ou “*Triple Bottom Line*”, desenvolvido pelo consultor britânico John Elkington (1994), onde são elencados os conceitos de prosperidade econômica, qualidade ambiental e justiça social, concomitantemente (COSTA; FERREZIN, 2021). Para que seja possível alcançar o notável triplo desempenho final, são necessários novos tipos de parceria econômica, social e ambiental, que em paralelo ajudarão cada parte a desempenhar as tarefas tradicionais de forma mais eficiente, possibilitando alcançar resultados que nenhuma das partes conseguiriam sozinhas (ELKINGTON, 1998).

Em uma perspectiva econômica, o foco se direciona à preservação da lucratividade da empresa e em ações que não comprometam seu desenvolvimento econômico. No âmbito social, o objetivo é centralizado ao desenvolvimento de um mundo mais justo, através de relações com todas as partes interessadas organizacionalmente, e no cenário ambiental, o foco se orienta na utilização dos recursos naturais sem que o ambiente futuro seja prejudicado, reduzindo de forma consistente os impactos das ações de processos produtivos (ELKINGTON, 2011). O pilar ambiental se caracteriza como o mais importante da tríade, ao passo que é responsável por direcionar a maioria das outras ações, tanto econômicas como sociais (COSTA; FERREZIN, 2021).

Atualmente, diante de um cenário global de mudanças climáticas, escassez de recursos naturais, poluição através de gases do efeito estufa, entre outras ações que colaboram para

detrimento do meio, com desflorestamento e destinação incorreta de resíduos, a sustentabilidade é considerada como um fator essencial em quaisquer tipos de decisões de grande impacto, principalmente no âmbito organizacional. Considerando a larga escala de setores poluentes da matriz energética mundial, cabe a ênfase ao setor energético, com abrangência em toda uma cadeia de produção, transformação, transmissão, transporte, distribuição e armazenamento (SOUZA et al., 2015)

2.2 Geração de energia

Atualmente, o setor energético se caracteriza como um dos assuntos mais abordados a nível global, cujo foco do debate se estabelece em torno da emergência do se determinar novos padrões de produção e consumo em uma perspectiva de sustentabilidade (FARIAS; MARTINS; CÂNDIDO, 2021). Sob uma perspectiva de sustentabilidade, não só é possível, como também necessário maximizar o avanço em direção a um melhor bem-estar da sociedade em paralelo com a minimização do consumo de energia.

De acordo com o relatório de Balanço Energético Nacional (BEN), disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no ano de 2023, em 2022 o setor industrial liderou a participação de setores no que corresponde ao consumo de eletricidade, atingindo um valor de 37,3 % em relação ao total. Comparando ao ano base de 2016, houve um aumento de 4,3 % no consumo pelo setor.

Dentre as fontes participantes na geração de energia diante a capacidade anual instalada do Brasil, as principais consideradas foram as fontes eólica, hidrelétrica, solar, biomassa, não renovável e nuclear. Tratando especificamente da biomassa, ocorreu uma variação na sua participação de 9,4 % em 2016, para 8,8 % em 2022. Embora não tenha ocorrido um acréscimo na porcentagem, ao menos pelo que se compara entre os dois anos, a participação no ano de 2022 foi maior, ao passo que a capacidade total de geração de energia elétrica no ano foi de 189127 MW, enquanto em 2016 o mesmo indicador se limitou a 150338 MW (BEN 2017; BEN; 2023).

A transição para um futuro de energia sustentável é um dos maiores desafios da humanidade do século XXI, ao passo que o conceito abrange não só a necessidade de garantir uma oferta de energia adequada para atendimentos de demandas futuras, mas em paralelo, fazer com que essa garantia de oferta atue de maneira que: seja compatível com a preservação da integridade dos sistemas naturais, incluindo o desvio a mudanças climáticas catastróficas; seja capaz de estender serviços básicos de energia à toda a população mundial; e seja capaz de

reduzir os riscos à segurança e possíveis conflitos geopolíticos, onde a competição por recursos energéticos de forma irregular possa se tornar crescente.

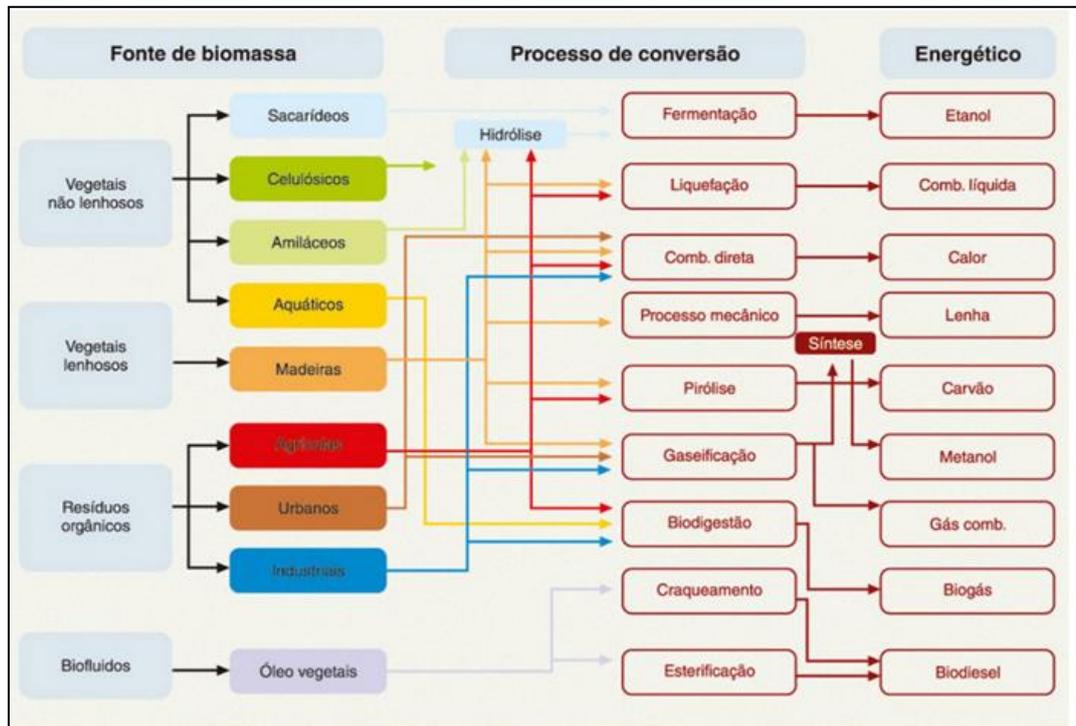
2.3 Biomassa como fonte de energia renovável

O termo biomassa faz referência a toda matéria orgânica, seja de natureza animal ou vegetal, que podem ser utilizados como combustível para a geração de energia – em um contexto energético –, incluindo os precedentes de sua transformação natural ou artificial. Atualmente, a utilização do termo para caracterizar o grupo de produtos energéticos e matérias primas originados a partir da matéria orgânica é totalmente aceito, sendo excluídos deste conceito os combustíveis fósseis e seus derivados (SEYE, 2003).

A biomassa pode ser separada em dois grupos: biomassa tradicional, composta por lenha e resíduos naturais e a biomassa moderna, produzida a partir de processos tecnológicos e eficientes. Sua principal fonte se estabelece nos resíduos, essencialmente os de caráter vegetal, e a partir desse material torna-se possível obter diversas formas de energia, e insumos, através de diferentes processos de conversão, tal como biocombustíveis sólidos e líquidos e a geração de energia elétrica e/ou térmica (MARAFON et al., 2016).

A fim de explicitar de forma mais visual, a Figura 1 traz consigo determinadas fontes de biomassa e seus respectivos processos de conversão e produtos energéticos, incluindo a madeira, que será abordada de forma mais específica no decorrer do trabalho.

Figura 1: Fontes de biomassa e seus processos de conversão



Fonte: Marafon et al. (2016).

Devido a mudanças climáticas e energéticas globais nas últimas décadas, potencializada pela crise do petróleo no final dos anos 70, a tomada de consciência frente a necessidade de utilização de outras formas de energia diferentes dos combustíveis fósseis se tornou cada vez mais forte, onde a biomassa começou a ser considerada como uma das potenciais opções para a geração de energia (SEYE, 2003). Entre suas vantagens, vale citar o fato de a biomassa ser uma fonte de energia renovável, de forma que possibilite a geração de energia de maneira limpa, reduzindo de forma significativa os impactos ao meio. Ademais, visto que a biomassa pode ser obtida de diversas fontes naturais, tal como plantas, resíduos agrícolas e animais e a madeira, possui maior abundância em relação a outras formas de energia.

“O aproveitamento da madeira como fonte de energia pode ser considerado a forma mais antiga de utilização de biomassa [...]” (MARAFON et al., 2016). De acordo com Nogueira e Lora (2003), a energia gerada por meio da madeira ou seus resíduos é denominada como dendroenergia, onde a madeira utilizada como combustível pode ser advinda de processos industriais ou florestas energéticas – ou maciços florestais, responsáveis pelo fornecimento de uma grande quantidade de energia por hectare, em um menor espaço de tempo, a partir de seus produtos florestais.

Há uma grande presença de florestas plantadas com cunho comercial, focadas apenas na produção de biomassa, tal como plantações de eucalipto e pinus, cuja madeira é utilizada como combustível para caldeiras industriais, sob a forma de lenha ou *Flakers* (COSTA; OLIVEIRA, 2019). As cascas e aparas ou lascas de madeira processada são dos derivados da madeira, utilizados para a geração de energia (MARAFON et al., 2016).

2.4 Resíduos florestais

Conforme o relatório “*Global Forest Resources Assessment- GFRA*”, apresentado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations- FAO* (2020), cerca de 4,06 bilhões de hectares, o que representa 31 % da área total de terra do planeta, são caracterizados pela presença de florestas, onde a distribuição não atende igualmente as nações e regiões. Segundo o documento, a maior porcentagem, cerca de 45 %, é destinada às florestas tropicais, seguindo com 27 % para as florestas boreais, 16 % para as florestas temperadas e 11 % para as florestas subtropicais.

Dentre os 5 países com maior área de florestas em hectares, o Brasil aparece na 2ª colocação, com 497 milhões de hectares, ficando atrás apenas da Rússia, detentora de 815 milhões de hectares de florestas plantadas. O Canadá, por sua vez, apresenta 347 milhões de hectares, seguido pelos Estados Unidos com 310 milhões e pela China, com 202 milhões (FAO, 2020). O Relatório ainda complementa que o Brasil representa cerca de 12 % do número total de espaços para plantação, em comparação mundial. Número este que poderia ser maior tanto para o país sul-americano, quanto para outros países, considerando que, desde 1990, o planeta perdeu mais de 178 milhões de hectares de florestas. Contudo, a taxa de perda líquida das florestas até o atingimento desse número, comparando entre décadas, caiu substancialmente no decorrer dos anos, mesmo ainda abrangendo números discrepantes. Entre 1990 e 2000, a perda foi de 7,8 milhões de hectares por ano. Entre 2000 e 2010, de 5,2 milhões de hectares por ano e por fim, entre 2010 e 2020 o número foi de 4,7 milhões de hectares por ano. A taxa de declínio referente a perda das florestas desacelerou nas últimas décadas, devido à redução na taxa de expansão de plantio florestal.

Segundo o Relatório Anual de 2022, elaborado pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), no ano de 2021 a área cultivada de árvores alcançou 9,93 milhões de hectares, crescimento de 180000 em relação ao ano de 2020. A pesquisa contou com o auxílio do mapeamento através de imagens de satélite, da área plantada, que permitiu não só realizar o mapeamento de toda a extensão cultivada, como também identificar as espécies florestais mais presentes. No que tange ao total de hectares plantados no ano de 2021, o estado com maior

número foi Minas Gerais, com cerca de 2,31 milhões de hectares cultivados, seguido por São Paulo, com 1,26 milhões, Paraná, com 1,18 milhões e Mato Grosso do Sul, com 1,07 milhões de hectares destinados ao plantio, sendo estes os maiores produtores de florestas plantadas do Brasil (FGV IBRE; IBÁ; CANOPLY, 2022).

Como mostra pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2021), a espécie florestal mais plantada nos últimos anos foi o eucalipto, seguida pelo pinus. O estudo apontou que, diante de uma série histórica considerando os anos de 2013 a 2020, o número referente a área plantada em hectares, mesmo ocorrendo variações, cresceu com o passar dos anos. Em 2013, o total de eucalipto plantado abrangeu cerca de 6.315.444 hectares, número este que se encontra relativamente abaixo – levando em consideração a dimensão territorial –, se comparado ao ano de 2018, que presenciou a maior área de plantio dentre o intervalo apontado, com 7.536.728 hectares. O último ano do estudo, 2020, abrangeu cerca de 7.431.761 hectares de plantio de Eucalipto. Com relação ao Pinus, o cenário não foi diferente, embora a proporção tenha sido baixa em comparação com a outra espécie florestal.

No ano de 2013 foi constatado o plantio de 1.611.338 hectares em área da espécie Pinus, que obteve o auge dois anos depois, em 2015, alcançando 2.065.560 hectares de plantação. Em 2020, a área de plantação foi de 1.830.372 hectares, número este que se encontra como o 2º menor do estudo, atrás apenas do ano de 2013. Ainda de acordo com o IBGE (2021), considerando um número total de plantações, o ano de 2014 ficou com o maior valor, chegando a uma soma – considerando tanto o Eucalipto e Pinus, quanto outras plantações –, de 9.937.945 hectares ocupados. Segundo estudo e relatório elaborado pela IBÁ (2022), diante a grande variedade de espécies identificadas no mapeamento, o Eucalipto se destacou mais uma vez, abrangendo aproximadamente 7,5 milhões de hectares totais no ano de 2021, ficando à frente do Pinus, que ficou com a segunda maior plantação (1,93 milhões de hectares).

Visando entender a posição dos estados quanto a prática de plantio o eucalipto, o IBGE (2021) constatou que, diante o período de 2013 a 2020, o Estado de Minas Gerais foi o maior responsável pelo plantio dessa Espécie Florestal. Cerca de 14.826.189 hectares (19,4%) foram utilizados para o cultivo de Eucalipto, considerando o total reservado a essa espécie florestal e às demais já citadas, durante os 8 anos de estudo, que foi de 76.402.772 hectares (IBGE, 2021). Quando analisada a área total utilizada para a eucaliptocultura, entre todos os Estados, o número atingido é de cerca de 58 milhões de hectares de 2013 a 2020, demonstrando que esse tipo de espécie é predominante não só em Minas Gerais, como também em todo o país, à medida que, retirando apenas o Estado de Rondônia que acolheu apenas a plantação de outras espécies, o Eucalipto fica a frente em todas as outras localidades (IBGE, 2021).

Em 2021, Minas Gerais continuou em destaque, contando com 97% da plantação de Eucalipto, do seu total de áreas plantadas (2,31 milhões de hectares) e 30% da plantação, considerando o total de todos os Estados. Em seguida, o Mato Grosso do Sul fica como segundo colocado, com 1,04 milhões de hectares de Eucalipto plantado na região (IBÁ, 2022).

Não há evidências precisas sobre a chegada do Eucalipto ao Brasil, contudo, de acordo com Pereira et. al. (2000), sua introdução no país ocorreu em meados do século XIX, com indícios de que as primeiras mudas da árvore haviam sido plantadas em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Segundo Boscardin (2009), o gênero *Eucalyptus* é uma árvore de origem Australiana, e foi descrito pela primeira vez pelo francês Charles Louis L'Héritier de Brutelle, em 1788, e conta com mais de 700 espécies já catalogadas, além de híbridos e outras variedades. De acordo com o Boletim Anual Sistema Nacional de Informações Florestais-SNIF (2020), a plantação de florestas de Eucalipto se intensificou no Brasil por volta de 1903, quando Edmundo Navarro de Andrade sugeriu a utilização da espécie *Eucalyptus spp* (Eucalipto) para plantio, cuja finalidade seria a produção de madeira para dormentes da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. O renomado Engenheiro Agrônomo, contratado para o desenvolvimento de projetos de criação de Hortos florestais ao longo das ferrovias, tinha como desafio selecionar a melhor espécie florestal que atenderia tanto ao reflorestamento das áreas desmatadas no percorrer das ferrovias, como ao fornecimento de madeira e carvão necessários para a manutenção

As duas espécies, tanto o Eucalipto quanto o Pinus (*Pinus spp*), obtiveram um bom desenvolvimento nas localidades onde foram introduzidas (Eucalipto nos cerrados paulistas e Pinus no Sul do Brasil), se tornando uma alternativa extremamente viável para suprir a demanda da madeira (BOLETIM SNIF, 2020). De acordo com o documento, a década de 70 foi marcada principalmente pela política de incentivos fiscais para o reflorestamento, o que possibilitou o estoque de madeiras nos plantios realizados. A produtividade do Brasil é superior a outras regiões no mundo, potencializada ainda mais pelo aumento da produtividade do plantio médio de Eucalipto, que, enquanto na década de 1970 se encontrava em 10 m³/ha/ano, alcançou cerca de 39 m³/ha/ano em 2021 (IBÁ, 2021).

No que tange ao Plantio do Eucalipto em si, inúmeras variáveis vão caracterizar a geração de bons resultados na colheita. De acordo com Crestana e Moreira (2009), são comercializadas mais de 21 espécies de Eucalipto, onde a densidade da madeira, tempo de floração e a produção ou não de óleo essencial, que eventualmente são destinados às indústrias, são algumas das variáveis a serem levadas em consideração. Os autores destacam que, quanto a questões relacionadas a quantidade de árvores plantadas em determinada área, o fator de

espaçamento entre elas atuará fortemente, sendo que este, por sua vez, também é delimitado diante certas condições e variáveis, como por exemplo, o nível das tecnologias disponíveis par plantio, que abrange a qualidade do solo, seleção das mudas, qualidade das operações florestais etc. (CRESTANA; MOREIRA, 2009).

Em lateralidade com o crescimento das áreas de plantio de Eucalipto e outras espécies florestais nos últimos anos e considerando que, assim como em outras atividades produtivas, esse setor também apresenta perdas, indo desde o corte da árvore até seu processamento em indústrias e fábricas, os chamados resíduos florestais – sendo estes as sobras de baixo valor comercial que são produzidas e extraídas do processo – também foram caracterizados pelo crescimento quantitativo (CRESTANA; MOREIRA, 2009). Nolasco (2000) entende que resíduo florestal se estabelece como todo o material que resulta da colheita ou do processamento da madeira e de outros recursos florestais, e que permanece sem utilização definitiva ao longo do processo, devido às limitações tecnológicas e de mercado, e que são descartados durante a produção. Como resíduos florestais podem ser considerados materiais como casca, galhos, copas, árvores doentes ou mortas, tocos e raízes.

Ao que se refere a abordagem da quantificação da biomassa florestal, Ferreira et. al. (2019) destaca dois métodos utilizados: o direto (destrutivo), relacionado a derrubada das árvores e a determinação direta da biomassa, e os indiretos, que envolvem a estimativa da biomassa e resíduos através de relações alométricas, com estudos realizados em campo. De acordo com o relatório anual da IBÁ (2017), em 2016 foram gerados aproximadamente 48 milhões de toneladas de resíduos sólidos, onde grande parte, cerca de 34 milhões foram gerados pelas atividades florestais, e o restante, por atividades industriais. O estudo ainda complementa que, dentre a quantidade gerada nas florestas, 99,7 % dos resíduos, dentre eles cascas, galhos e folhas são mantidos no campo para proteção e fertilização dos solos, enquanto o restante, como óleo, graxas e embalagens percorrem um caminho para seu descarte ou destinação apropriados. Já no campo industrial, 66 % dos resíduos atribuídos a área são orientados a geração de energia limpa por meio de processos como a queima, geração de vapor e por fim, a geração de energia elétrica. Outros 25 %, caracterizados em sua maioria por cavacos e serragem, são reutilizados como matéria prima para outras empresas do mesmo setor, e dentre o restante dos resíduos, parte é utilizado para a produção de cimento e óleo combustível e os que não atendem a nenhum a usabilidade, são enviados para aterros industriais (IBÁ, 2017).

Um documento mais recente autenticado pela IBÁ (2022) mostrou que, considerando o total de resíduos gerados no ano de 2021 em toneladas, 17,2 % foram mantidos no próprio solo, visando também a proteção e adubação, a fim de trazer um ambiente propício à compostagem.

A porcentagem destacada reúne elementos como cascas, falhos, folhas, lama de cal, cinza de caldeiras etc. O resultado demonstra aumento de 6,7 % toneladas em relação ao ano de 2020, onde, do total de resíduos gerados, 12,5 % de toneladas foram destinadas a adubação e posterior compostagem (IBÁ, 2021). A maior porcentagem, cerca de 64%, foi referente a destinação dos resíduos para a geração de energia, sendo que, considerando o período de 2017 a 2021, a produção de energia renovável pelo setor de florestas e afins cresceu 27,5 % (IBÁ, 2022).

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da pesquisa

Lehfeld (1991) define pesquisa como um procedimento sistemático e intensivo para descobrir e interpretar fatos em uma realidade específica. Nascimento (2016) diferencia a pesquisa em quatro vertentes: natureza, abordagem, objetivos e procedimentos.

Na natureza, a pesquisa pode ser básica ou aplicada. Quanto à abordagem, cabem as definições de pesquisa quantitativa, qualitativa, ou quanti qualitativa, que combina ambas as abordagens. No que tange aos seus objetivos, a divisão da pesquisa pode ser feita em exploratória, descritiva e explicativa, e por fim, no que se refere aos procedimentos, a pesquisa pode ser bibliográfica, documental, estudo de caso, pesquisa-ação, pesquisa participante, pesquisa experimental ou pesquisa Ex-Post Facto (GIL, 1999).

Diante disso, o presente trabalho se classifica como pesquisa aplicada quanto a sua natureza, visto que vai de encontro com Leão (2017) e Prodanov e Freitas (2013), que apontam que a pesquisa prática visa encontrar soluções às necessidades da realidade, objetivando a geração de conhecimento para aplicação prática destinados a soluções de casos específicos. Em relação a sua abordagem, a classificação se estende a uma pesquisa quanti qualitativa, onde há a presença do caráter quantitativo, que envolve a coleta e análise de dados numéricos e do caráter qualitativo, que discute aspectos mais subjetivos e não numéricos (GIL, 1999).

Quanto ao seu objetivo, a pesquisa se caracteriza como exploratória, visto que, conforme pontuam Gil (1996) e Dencker (2000), esse tipo de pesquisa busca tornar mais próxima a relação do pesquisador com o tema, tendo como foco a busca por informações e a orientação ao desenvolvimento de uma investigação mais aprofundada sobre o assunto de estudo, o que vai de encontro com o realizado neste trabalho,

E por fim, os procedimentos seguidos para o desenvolvimento do trabalho se basearam inicialmente na pesquisa documental, visto que a consulta e análise de registros realizados pela própria empresa foram pontos importantes para um entendimento primário do assunto tratado,

e no estudo de caso, seguindo com afinco as etapas colocadas por Ludke e André (1986), onde este tipo de abordagem metodológico, como colocam, é composto por três fases, sendo elas a exploratória, com investigação sobre o tema, a de sistematização de coleta de dados e delimitação do estudo e a de análise e interpretação das descobertas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização da empresa

A empresa a ser estudada se caracteriza como uma das maiores fabricantes multinacionais do setor de construção, reforma e decoração, representando 7 grandes marcas que permeiam entre 3 principais áreas de negócio: madeira, revestimentos e metais e louças. Sua atuação não se limita apenas ao território brasileiro, operando também no hemisfério sul, com fábricas na Colômbia, e exportando seus produtos para países da América e Europa.

O foco da discussão será pautado e baseado na área de negócio madeira e a unidade em questão, a ser utilizada como base de estudos, se localiza na região de Uberaba, no Estado DE Minas Gerais. Atualmente, a unidade é responsável pela fabricação de painéis de madeira em MDP (*Medium density particle board*), MDF (*Medium density Fiberboard*) e HDF (*High Density Fiberboard*), trabalhando ainda com a atividade de revestimento das chapas ao fim de todo o processo, conforme a demanda de clientes externos.

Para maior entendimento sobre o estudo realizado e posteriores discussões dos resultados obtidos, convém trazer de forma sucinta uma explicação tanto acerca da linha de produção que será considerada para o estudo, no caso a produção de chapas em MDP, quanto uma visão geral do processo de geração de energia desempenhado na fábrica, trazendo à tona questões relacionadas a geração de biomassa, sendo este o principal insumo utilizado.

No presente estudo, o objetivo será centralizado na linha de produção de chapas em MDP. É válido destacar que, como já proposto anteriormente, o objetivo do estudo se baseia na potencialidade de um dos resíduos gerados pela empresa, durante seu processo produtivo.. Dessa forma, a discussão se limitará apenas aos processos que estão relacionados a geração de resíduos, biomassa e geração de energia que já ocorrem na fábrica, deixando de lado a linha de produção específica a cada um dos materiais fabricados e seus respectivos micro processos.

4.2 Caracterização do produto - Chapas em MDP

O termo MDP se refere a abreviação de *Medium Density ParticleBoard*, traduzido como “Painel de partículas de média densidade”, em português. Em sua estrutura, o material é composto por substâncias químicas, tal como resina, cola, catalisadores emulsão, ureia etc., misturados e distribuídos uniformemente em camadas durante a linha de formação e responsáveis por prover maior aglutinação das partículas de madeira nos painéis a serem formados, processo este potencializado e finalizado pela prensagem dos colchões de camada, a altas temperaturas e pressão.

As chapas ou painéis de MDP são formados por 3 camadas: a camada superficial inferior, o miolo e a camada superficial superior. Enquanto as camadas superficiais são formadas por partículas de madeira menores e se caracterizam como sendo mais finas, o miolo é formado por lascas de madeira e se apresenta com uma espessura mais grossa. Dadas essas condições, diante principalmente da presença de lascas de madeira prensada em sua composição, a resistência a deformações por flexões e impactos diretos é maior, auxiliando na durabilidade do produto e fornecendo maior usabilidade para peças que exijam tal característica. No que tange a sua densidade, os painéis de MDP são menos densos do que outros materiais, como o próprio MDF, o que permite maior liberdade em atividades de usinabilidade, tal como cortes e perfurações, facilitando o trabalho em projetos que exijam esses pontos.

4.3 Linha de produção – chapas em MDP

Inicialmente, ocorre o recebimento das toras de madeira da espécie pinus e eucalipto no pátio de madeiras utilizadas para a fabricação dos painéis. No que tange a produção de chapas de MDP, sua composição é caracterizada por 25 % de pinus e 75 % de Eucalipto. As toras são fornecidas com casca, já cortadas em tamanhos próximos a 6 m de comprimento, sendo este o tamanho médio ideal de trabalho, junto a um parâmetro de diâmetro ideal que varia entre 80 a 540 mm entre as toras. Tais fatores influenciarão na densidade, peso e retenção de umidade, por exemplo, que serão considerados para processos mais específicos da linha de produção, em estágios futuros do processo.

Através das gruas florestais, as toras estocadas no pátio são transportadas e alimentadas no tambor descascador, cuja função, como o próprio nome sugere, é realizar o descascamento desse material por meio de movimentos rotativos do equipamento, em conjunto com pequenas garras de metal presentes em seu interior, permitindo a retirada de cascas e elementos superficiais. Como resultado desse processo, torna-se possível a saída de dois subprodutos: O primeiro faz referências às cascas e pedaços de madeira restantes das toras, já o segundo

subproduto seriam as toras de madeira já descascadas, sendo estas a matéria prima principal para a produção das chapas.

As toras descascadas seguem para picagem, onde serão transformadas em cavacos e transportados a um silo de estocagem. Posteriormente, conforme demanda da linha de produção, o cavaco segue para o processo de preparação de partículas, onde o material será cepilhado em partículas com menor granulometria, denominadas como “*Flakers*”, a fim de se gerar melhores resultados conforme o planejado para o processo. Essas partículas geradas são consecutivamente transportadas ao processo de secagem, alimentando um secador a tambor onde ocorre o processo de transferência de calor entre os gases da combustão e as partículas recebidas, visando a remoção de água.

As partículas resultantes do processo de secagem são destinadas a etapa de classificação, onde, através de peneiras vibratórias, serão separadas em 4 estágio: partículas maiores, que são enviadas a equipamentos para redução do seu tamanho e retorno ao processo, partículas mais grossas, destinadas a camada interna da chapa (miolo), partículas mais finas, destinadas às camadas superficiais, e o pó de madeira. Após essa etapa, as partículas seguem para a aplicação de aditivos químicos, a fim de possibilitar determinadas condições ao material para atividades seguintes.

A próxima movimentação se direciona a linha de formação, onde, de fato, o material será distribuído uniformemente sobre uma cinta em movimento, construindo cada camada necessária para a chapa de MDP. Na primeira formadora é gerado o colchão com as partículas mais finas, para a construção da camada superficial inferior. Seguindo pelo processo, a segunda formadora gera a camada interna, com partículas/lascas maiores, e a terceira formadora, assim como a primeira, gera o colchão da camada superficial superior, também com as partículas mais finas. Terminado o processo de formação, o colchão de partículas já formado com as 3 camadas é direcionado a etapa de prensagem, onde é submetido à pressão e altas temperaturas, de forma a ocorrer a consolidação do painel, que ao saírem da prensa, já seguem para o processo de corte, resfriamento das chapas, formação de pilhas e estoque intermediário.

No que tange à produção dos painéis propriamente dita, as etapas e atividade colocadas acima resumem as principais etapas da linha de produção de chapas de MDP. Após o estoque intermediário, as chapas são levadas para o lixamento com lixas de diferentes granulometrias, visando dar acabamento e uniformidade ao material, atendendo aos parâmetros especificados e necessários. Logo em seguida, são novamente cortadas por serras diagonais e transversais, com as devidas dimensões necessárias para venda, conforme a demanda dos clientes. Dessa forma,

o produto segue para estocagem e embalagem, finalizando o processo de produção, restando apenas ser enviado ao cliente.

Figura 2: Processo produtivo de chapas de madeira em MDP



Fonte: Movetalhe (2014)

A Figura 2 busca demonstrar de forma resumida o processo de produção das chapas de madeira em MDP, tal como ocorre na empresa Alfa, apresentando desde o descascamento das toras, produção e secagem dos *Flakers*, seguindo por etapas como classificação e aplicação de insumos químicos, até as etapas de formação, prensagem, resfriamento e acabamento, corte e estocagem dos painéis.

4.4 Utilização da biomassa no processo produtivo

4.4.1 Panorama geral da utilização de biomassa na organização

De acordo com o Relatório Integrado, produzido no ano de 2022 pela Empresa em questão, a fabricação de painéis de madeira segue estratégias ambientais em relação aos insumos utilizados na linha, tal como a própria madeira advinda de reflorestamento. No processo produtivo são adotadas práticas voltadas, principalmente, para uma gestão eficiente

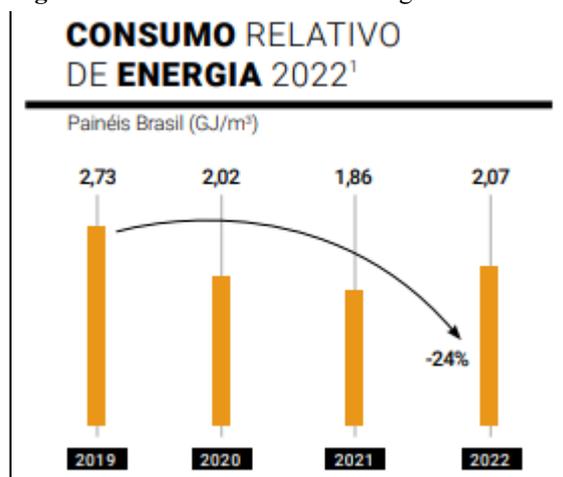
do consumo de insumos e de energia térmica, através de fontes de biomassa e resíduos gerados internamente nos processos, durante a produção, tal como citado e explicado anteriormente.

Colocando em pauta as atividades realizadas pela organização, mais especificamente na divisão madeireira de atuação, um dos resíduos gerados pelos processos produtivos são as cinzas e o lodo. De acordo com o Relatório Integrado, só no ano de 2022, considerando dados de duas fábricas de produção de painéis, mais de 30 mil toneladas de resíduos foram transformadas em insumos para as florestas através do processo de compostagem, contribuindo de forma significativa na redução no consumo de fertilizantes de fontes não renováveis.

No que tange à matriz energética da empresa como um todo, a composição foi de cerca de 55,6 % de fontes de origem renováveis no ano de 2022, provinda essencialmente da biomassa industrial, reforçando a importância dada ao tratamento de resíduos de forma sustentável, e demonstrando os ganhos energéticos atingidos com essas medidas. Ao passo que as unidades de produção de painéis se caracterizam como o negócio mais representativo da empresa no quesito energia, totalizando um consumo absoluto de cerca de 5,7 milhões de GJ ainda no ano de 2022, correspondendo a cerca de 52 % de toda a energia consumida pela companhia. Assim, torna-se evidente a necessidade e importância indiscutível de se prezar por atividades que foquem na redução de custos energéticos a partir da reutilização dos próprios componentes e resíduos gerados pela empresa.

Os esforços quanto a cumprir essas necessidades são bem-dispostos, visto que considerando o consumo relativo de energia da empresa, houve um decréscimo de 2,4 % no consumo relativo de energia entre os anos de 2019 e 2022, conforme demonstra a Figura 3.

Figura 3: Consumo relativo de energia no ano de 2022



Fonte: Relato Integrado (2022)

4.4.2 Geração de energia na fábrica

Acerca do processo produtivo de painéis em MDP, a biomassa atua como responsável por alimentar a planta de energia, que por sua vez, tende a fornecer energia térmica a diversas atividades no decorrer da linha de produção.

A geração de energia é realizada através do processo de combustão da biomassa, cujos insumos são gerados, em sua maioria, através da coleta de cascas e resíduos sólidos resultantes dos processos iniciais do pátio de madeiras. Outras etapas do processo também atuam de maneira importante na geração desses insumos, tal como a classificação e o lixamento, com a geração de pó de madeira, a etapa de formação dos colchões, com a geração de resíduos sólidos e particulados, e até mesmo a utilização de chapas rejeitadas na linha de produção, que são picadas e retornam ao processo para queima.

Abordando especificamente o resíduo casca, tem-se que a sua obtenção se dá por meio do processo de descascamento das toras, no início da linha de produção, onde ocorre a coleta do material e o seu transporte para picagem e posterior destinação a um silo de armazenamento.

Com relação ao processo de queima da biomassa de forma simplificada, tem-se que, conforme necessidade de produção e geração de energia térmica para os processos da linha, o material armazenado no silo é direcionado a uma moega, que será responsável por recebê-lo e enviá-lo a um transportador *Redler* que fará sua movimentação até um chute de abastecimento, também chamado de “silo pulmão” ou “*Hopper*”, que conforme necessidade, vai liberando o insumo para a queima. Vale frisar que grande parte das atividades são controladas pelos operadores, considerando desde a atuação da moega, onde a operação realiza o controle das roscas transportadoras que irão canalizar o material do equipamento ao transportador, até a supervisão de parâmetros do chute de abastecimento, que possui sensores de mínimo e de máximo. Ao passo que o sensor de nível máximo do chute alimentador é atingido, automaticamente o funcionamento dos transportadores e da moega são interrompidos para que não ocorra acúmulo e transbordo de material no equipamento.

Em sua base, os chutes de abastecimento possuem empurradores, que irão impulsionar o material até as grelhas para queima. Esse processo é controlado operacionalmente, monitorando a necessidade de material a ser empurrado e a frequência de alimentação das grelhas, sendo estes equipamentos responsáveis por auxiliar no processo de combustão, atuando junto ao fogo para queima da biomassa recebida. Dentro do processo em questão, são totalizadas 4 grelhas, sendo que a queima acontece de forma mais eficiente entre a 2ª e a 3ª grelha, localizadas mais ao centro, ficando por conta de a operação realizar as devidas movimentações entre elas, checando a distribuição da biomassa na grelha e evitando que o

material ultrapasse toda a extensão sem queimar ou que falte material na gelha. Todo o processo de queima e geração de gás quente em altas temperaturas ocorre na Planta de Energia da fábrica.

Como produto da queima da biomassa, serão geradas as cinzas, depositadas através de um chute de descarte, e a energia térmica em forma de gás quente. O gás será responsável por fornecer temperatura a dois processos principais: o primeiro se refere aos secadores de calor, equipamentos estes responsáveis por realizar a secagem dos *Flakers*, através do calor fornecido pela combustão. O arraste do gás é feito por um ventilador industrial, que auxiliará no seu transporte através de um duto metálico até o secador.

Já o segundo processo seria o de aquecimento do óleo térmico, destinado a etapa da prensagem. O arraste do gás também é feito por um ventilador industrial, mas agora por um duto diferente que o levará para aquecimento do óleo térmico. O sistema é composto por serpentinas em espiral, formadas por um sistema de tubos por onde o óleo circula e deve ser aquecido. Ou seja, o gás quente que chega ao sistema aquece necessariamente a serpentina, que por consequência, realiza o aquecimento do óleo térmico contido no interior dos tubos. O óleo aquecido segue para a prensa, e diante de um procedimento de recirculação, volta para ser aquecido novamente, quando necessário.

4.5 Resultados

4.5.1 *Quantificação de biomassa no processo produtivo*

Embora a biomassa gerada através de atividades da própria linha de produção seja algo presente diariamente e de grande importância para subprocessos, a quantificação dos insumos utilizados ainda se caracteriza como sendo carente de dados e informações. Dentre os processos que mais geram valor para o uso da biomassa, estão a picagem das cascas e as chapas desclassificadas, que também são picadas por outro equipamento e direcionadas ao silo de biomassa.

Atualmente, são realizados cálculos que permitem uma estimativa do volume de biomassa utilizado mensalmente, de acordo com a geração de insumos em cada uma das áreas potenciais. No caso da linha de produção em estudo, tem-se as informações apresentadas na Figura 4. Vale ressaltar que os valores utilizados na planilha apresentados na Figura 4 são hipotéticos, mas de certa forma, estão próximos aos reais disponibilizados pela empresa, o que sugere uma exposição realista da situação.

Figura 4: Planilha dimensionadora da geração de biomassa mensal

Mês	CASCA EUCALIPTO			CHAPA DE REJEITO				Biomassa total (ton)
	Madeira	Casca		Rejeito Prensa - MDP		Produção Prensa	Rejeito	
	MDP (m ³)	%	Total (ton)	Índice	Volume (m ³)	Volume (m ³)	Massa (ton)	
Jan	7.456,78	14,48%	378,77	0,85%	346,76	40.805,07	239,26	618,03
Fev	6.583,34	14,48%	334,40	1,17%	457,23	38.978,05	315,49	649,89
Mar	9.475,24	14,48%	481,30	0,60%	235,67	39.568,54	162,61	643,91
Abr	8.649,35	14,48%	439,35	0,84%	356,78	42.584,34	246,18	685,52
Mai	5.684,54	14,48%	288,75	1,35%	567,87	41.950,56	391,83	680,58
Jun	6.785,87	14,48%	344,69	0,37%	145,65	39.840,78	100,50	445,19
Jul	7.493,60	14,48%	380,64	0,97%	357,65	36.879,56	246,78	627,42
Ago	8.403,54	14,48%	426,86	1,00%	458,65	45.789,50	316,47	743,33
Set	9.043,43	14,48%	459,36	1,16%	567,23	48.970,45	391,39	850,75
Out	5.964,53	14,48%	302,97	0,56%	235,46	41.857,64	162,47	465,44
Nov	7.493,35	14,48%	380,63	1,15%	455,56	39.538,45	314,34	694,96
Dez	8.456,35	14,48%	429,54	0,83%	335,45	40.586,45	231,46	661,00
2023	91.489,92	14,48%	4647,24	0,90%	4519,96	497.349,39	3118,77	7766,02

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa

Para quantificação total da casca, valor este dado em toneladas, tem-se a Equação (1).

$$\left(Madeira[m^3] * \frac{\% de casca}{1 - \% de casca} \right) * \frac{300[Kg/m^3]}{1000} \quad (1)$$

A madeira se refere ao volume em m³ de eucalipto recebido em toras e utilizado pela linha para a produção de MDP. A porcentagem (%) de casca faz referência ao valor médio de casca presente na madeira, conforme um intervalo mínimo e máximo de volume, e por fim, o valor de 300 se direciona a densidade média da casca de Eucalipto, em kg/m³, conforme testes realizados pela empresa em projetos passados. Como forma de passar para toneladas, o valor final é dividido por 1000.

Já para a quantificação total do rejeito (chapas desclassificadas e picadas), em toneladas, tem-se a Equação (2).

$$\left(Índice(\%) * Produção Prensa[m^3] \right) * \frac{690Kg/m^3}{1000} \quad (2)$$

O Índice, em porcentagem, se refere a divisão entre o rejeito gerado do processo de prensagem, pela produção bruta da prensa, ambos em m³. O valor de 690 se direciona a densidade média da chapa de MDP, em kg a cada m³ produzido após o processo de prensagem. Como forma de passar para toneladas, o valor final é dividido por 1000.

De fato, através da própria planilha fica nítido entender e calcular não apenas os valores em toneladas, mas também o volume, em m³. No caso das chapas, os valores gerados no rejeito e produção, tanto diários quanto mensais, podem ser facilmente acessados no sistema SAP, por meio de relatórios de produção, onde, basta lançar as medidas das chapas enviadas para rejeito

(espessura, largura e comprimento) e a quantidade deste material, e o próprio sistema realizará os cálculos automáticos de rejeito gerado no dia.

Contudo, para o caso das cascas, vale uma discussão um pouco mais minuciosa. Embora os valores de porcentagens de casca na madeira, apontado como 14,48 % referente ao total de m³ de eucalipto gerado (valor este que se mantém na média dos 7600 anualmente) e o valor de 300 kg/m³, que se refere a densidade média da casca de eucalipto, se façam presentes e necessários para o cálculo, não foram encontrados estudos consistentes realizados pela própria empresa que comprovassem a veracidade desses dados.

Seguindo a literatura, de acordo com o professor e pesquisador Celso Foelkel, autor do livro “*Eucaliptus Online Book*” (2007), a densidade básica da casca do eucalipto varia entre 0,24 e 0,40 g/cm³, dependendo da espécie da madeira e das características da sua casca. De fato, o valor de 300 kg/m³ (0,3 g/cm³) se enquadra dentro do relatado, o que pode ser considerável, ao passo que hoje, dentro da empresa, não há uma forma específica de se mensurar este valor. Ainda segundo o autor, no que se refere ao percentual de casca presente no tronco comercial, o valor também irá variar conforme a apresentação da casca, podendo ter de 9 % a 12 % nas árvores clonais melhoradas geneticamente, entre 10 % a 18 % nas espécies comerciais de eucalipto de reflorestamento e chegando ao intervalo de 25 % a 30 % nas espécies muito cascudas. No caso do eucalipto utilizado na empresa em questão, sua característica se enquadra como espécie comercial de reflorestamento, enquadrando assim o valor de 14,48 % dentro do intervalo de volume de casca, na madeira deste tipo.

Embora os valores estejam dentro dos intervalos estabelecidos conforme a literatura, ainda é válido – e aqui já se apresenta a proposta de desenvolvimento para essa parte inicial –, analisar de forma mais efetiva sobre a consistência dos números utilizados atualmente, considerando as condições recentes da madeira e suas respectivas características relacionadas ao volume de casca e a densidade média do resíduo, em relação ao tronco total. A partir dessa certeza, o dimensionamento mensal e até mesmo diário, levando em conta que os valores de entrada de madeira para descasque e picagem também são contabilizados diariamente, em m³, torna-se possível, entendendo assim a entrada diária de insumo para biomassa, no caso, as cascas, e abrindo portas para análises futuras de variação diária de uso da biomassa (o quanto entra e o quanto sai).

Para entendimento da necessidade diária de utilização de biomassa para queima, os resultados do estudo abaixo se prontificarão a responder.

4.5.2 Dimensionamento da demanda diária de biomassa para queima

Estabelecida a forma de quantificação de entrada de cascas e posteriormente biomassa, após picagem, cabe então dar início ao processo de dimensionamento da quantidade de biomassa a ser utilizada, para um processo estável no que tange a geração de gás quente para secagem de cavaco e aquecimento de óleo térmico, principalmente no que corresponde a temperatura a ser atingida para condições favoráveis do processo.

Durante o desenvolvimento do projeto, onde as principais demandas e atividades a serem realizadas foram traçadas, identificou-se a possibilidade de dar início ao dimensionamento já explicitado acima, devido a condições favoráveis da linha de produção. Vale frisar que o foco principal dessa etapa se reserva a dois pontos principais:

1º) Entender melhor sobre a necessidade de temperatura para a secagem dos *Flakers* e aquecimento do óleo da prensa, diante determinadas condições do processo;

2º) Quantificar a biomassa a ser alimentada para queima, conforme a demanda de temperatura a ser atingida.

Antes de documentar como foi realizada a atividade para estudo dessas informações, faz-se necessário destacar alguns pontos operacionais relevantes para a compreensão geral do processo:

- Diminuição gradativa de temperatura: Durante o transporte do gás quente, desde a saída da planta de energia até o secador ou sistema de serpentinas, ocorre a perda gradativa de calor devido aos processos de convecção e condução.. O controle da temperatura é feito através de sensores posicionados em determinados pontos do processo.

- Controle dos parâmetros: Tendo conhecimento da temperatura em determinados pontos críticos do processo, torna-se possível a manipulação dos parâmetros com maior conhecimento e eficiência. Embora a temperatura de saída da planta de energia seja, em condições estáveis de trabalho, acima de 950 °C, a temperatura que deve chegar à entrada do secador se mantém em um intervalo entre 200 °C e 300 °C, enquanto, para o sistema de serpentinas, a temperatura se baseia em um *set up* de 272 °C. Valores como esses tornam-se referência para entender se as temperaturas que estão sendo apontadas durante o processo estão dentro do previsto.

- Variáveis de processo: Tratando especificamente da temperatura do gás, embora os valores de *set up* possam ser utilizados como referência, cada situação dependerá de condições específicas de trabalho para ditar e estabelecer a temperatura correta. Como forma

de direcionar o processo, usa-se o documento CFP (Condições de Fabricação do Processo), que serve como auxílio para a operação diante determinadas condições de fabricação.

No processo de secagem, por exemplo, uma das principais variáveis a ser considerada é a umidade dos *Flakers*, que também está estabelecida na CFP, de acordo com o tipo da produção.

Para controle dessa etapa, é realizado periodicamente a coleta de *Flakers* antes e depois do processo de secagem, para analisar se a porcentagem de umidade a ser retirada do material foi atingida. O resultado do teste ditará a necessidade de manipular algumas medidas em etapas anteriores, tal como o aumento/diminuição da temperatura do gás quente na entrada do secador, o que implicaria no aumento/redução de volume do material na planta de energia e abertura de um flap, para a entrada de ar fresco (se a necessidade fosse reduzir a temperatura). Além dos testes, uma forma de entender se o controle está sendo efetivo é ter a noção da temperatura de saída do secador. Caso ela esteja muito abaixo do previsto, pode significar que a umidade do material está muito alta, sendo necessário também a realização de manipulações da temperatura ou da quantidade de material a ser seco.

Já sobre a temperatura do óleo térmico, conforme procedimento já explicado anteriormente, basta identificar através dos sensores se a temperatura está de acordo com o previsto na CFP para determinado parâmetro de produção, o que também ditará a necessidade de manipulação na temperatura do gás quente, ao sair da planta de energia.

Portanto, dando prosseguimento a realização dos testes e amostragens, a ideia inicial se baseou em entender como a atividade poderia ser realizada, e ao final, destacar os principais pontos de apoio e atenção para que, futuramente, todos os parâmetros levantados fossem levados em consideração para auxílio na geração de resultados mais consistentes para análise. Vale ressaltar que foram realizados dois testes, em dias consecutivos, com a utilização dos mesmos equipamentos e da mesma biomassa, que para este caso, foi apenas a casca do eucalipto.

O propósito da forma de execução consistiu, inicialmente, em realizar uma manobra de zeragem da alimentação tanto do silo de abastecimento das grelhas (*hopper*), quanto do transportador *Hedler* e da moega. No caso dos dois primeiros equipamentos, todo o material que estava no transportador foi direcionado para o silo de abastecimento e todo o material que estava no silo, foi direcionado para a queima, a fim de literalmente zerar a presença da biomassa no quesito alimentação. Todo esse trabalho foi feito na sala de controle, pelo supervisor, com

a ajuda dos operadores técnicos. Com isso, foi possível estabilizar o processo, “pausar” a chegada de material para queima e coletar uma temperatura inicial para teste. A alimentação da moega foi interrompida pelo operador de pá carregadeira.

Posteriormente, estabelecidas essas condições e com uma temperatura inicial determinada, foi solicitado ao operador de pá carregadeira que voltasse a alimentar a moega, e durante o período de 3 horas, foi contabilizado o número de pás com biomassa que alimentaram o equipamento, a cada hora. Após esse tempo estimado, foi observado a temperatura que a planta de energia se encontrava, sendo está a temperatura estável necessária para trabalho, em normalidade de estado.

Ou seja, de forma resumida, o objetivo se manteve em zerar por completo as alimentações para observar a queda da temperatura da planta de energia e a partir dessa estabilização, reiniciar a alimentação de biomassa para queima durante um determinado período de tempo, para identificar quantas pás de material foram necessárias para trazer uma temperatura ideal de trabalho. É válido destacar que, ao atingir a temperatura de trabalho estável, o que vai ditar a permanência desse valor é o fato de se ter uma alimentação contínua em conformidade com o material liberado para queima. Ademais, não há um valor certo de temperatura a saída de gás quente, como já comentado anteriormente. O que vai ditar essa condição serão os parâmetros de geração de gás quente, e o valor de entrada e saída de umidade do material, no secador. Quando esses valores estiverem em conformidade com o processo e com o tipo de produção em andamento, tem-se então que aquela temperatura atingida e utilizada naquele momento, é o ideal para trabalho, devendo ser mantida constantemente até que haja alguma nova interferência no processo.

Para fins de cálculo, cada pá carregadeira possui um volume líquido em sua concha de 3 m³, conforme dados do próprio fabricante. Contudo, ao passo que o operador coleta o material, a altura do monte ultrapassa a altura da concha. De acordo com medições realizadas em área, foi constatado um valor próximo a 0,5 m³ adicionais, totalizando assim 3,5 m³ para cada coleta, em média.

Os testes foram realizados em 3 horários consecutivos, durante um período de 3 dias seguidos. O foco em realizar a atividade com essa frequência e intervalo de tempo foi garantir ao máximo que os mesmos parâmetros se mantivessem “estáveis”, a fim de se gerar dados com maior assertividade de comparação. Dito isso, algumas das variáveis que mais poderiam influenciar seriam o tipo de biomassa utilizada para queima, onde nos 3 dias se manteve a utilização apenas de casca, a umidade da biomassa que foi utilizada (valor este não mensurado durante os testes), o ambiente externo, que manteve o mesmo (sol e calor) durante os dois

primeiros dias e chuva no terceiro dia, condições de densidade e umidade da biomassa e condições de funcionamento do próprio secador. Sobre esta última, como já exposto anteriormente, para cada tipo de produção devem ser seguidos determinados parâmetros, tal como umidade, densidade, quantidade de insumos etc., ao se chegar na linha de formação, para a estruturação das camadas. Havendo alteração nessas variáveis, algumas etapas antecedentes (secagem) também podem sofrer alteração de alguns indicadores.

A seguir, serão destacados na Tabela 1 os resultados obtidos nos testes dos três dias, para fins de discussão:

Tabela 1: Dimensionamento médio de temperatura pelo volume de biomassa abastecido por hora

Período	Temp. Inicial	1º Hora	2º hora	3º hora	Total (Nº de pás)	Média (Nº de pás/h)	Média (m³/h)
Dia 1	957 °C	1069 °C	1067 °C	1068 °C	44	14,7	51,5
Dia 2	963 °C	1071 °C	1070 °C	1068 °C	45	15	52,5
Dia 3	946 °C	1009 °C	1013 °C	1018 °C	54	18	63

Fonte: Autoria própria (2024)

4.6 Discussões

Analisando de forma individual cada um dos testes, tem-se que no primeiro dia, ao zerar a alimentação de material, foi constatada uma temperatura de 957 °C. No primeiro período de 1 hora de abastecimento, identificou-se um total 15 pás de biomassa que alimentaram a moega e uma temperatura de saída da planta de energia de 1069 °C. Passada mais uma hora, o número total de pás de abastecimento foi de 13 pás e a temperatura de saída se manteve em 1067 °C, e ao final da terceira hora, foram abastecidas 16 pás e a temperatura de saída foi de 1068 °C, o que em média, gerou um consumo de 14,7 pás por hora. Comparando o número de pás utilizadas por hora, nota-se que com a primeira carga foi possível elevar a temperatura até um número condizente operacionalmente, e posteriormente mantê-la facilmente até o final do terceiro período, o que indica que, diante as condições estabelecidas em linha, uma alimentação média de 51,5 m³/hora foi capaz de manter constante as atividades de secagem.

Já no segundo dia de testes realizados, procurando seguir as mesmas condições do dia anterior, ao zerar a alimentação, após alguns instantes foi constatada a temperatura de saída da planta de 963 °C. Após uma hora, dado o início da alimentação novamente, a quantidade de 16 pás de biomassa foi capaz de aumentar a temperatura para 1071 °C, provocando uma diferença de temperatura de 108 °C. Enquanto, na segunda hora de contabilização, foi identificada a alimentação de 14 pás de biomassa e a temperatura se manteve próxima, chegando a 1070 °C.

Ao final da terceira hora, foram contabilizadas 15 pás e uma temperatura de saída da planta de energia de 1068 °C, o que em média gerou um consumo de 15 pás por hora. Assim como no primeiro dia de testes, a carga de alimentação do primeiro período propiciou uma elevação de temperatura condizente com o que a operação costuma trabalhar, e a constância de alimentação que se manteve praticamente igual nos 2 períodos consecutivos, também permitiu a continuidade da temperatura, o que indicou uma estabilidade da linha, de acordo com os parâmetros traçados para aquele tipo de produção e para o volume de biomassa alimentada para queima, que em média, foi de 52,5 m³/hora.

Comparando os dois primeiros dias, tanto os valores referentes ao número de pás que alimentaram a moega para queima da biomassa, quanto as temperaturas atingidas na saída da planta de energia, foram paralelos entre si, o que propiciou a diferença de apenas 1 m³ de alimentação média por hora e temperaturas muito próximas entre si, durante os três horários de teste. Com isso, e considerando as mesmas variáveis estabelecidas no processo, tal como o tipo da biomassa, fator externo e condições normais de trabalho de todos os sistemas da planta de energia, foi possível identificar uma estabilidade da linha nas duas situações, o que demonstra que o valor médio de 52 m³ por hora seria o ideal para alimentação e geração de temperatura necessária, levando em considerações a temperatura inicial de, em média dos dois dias, 960 °C.

Por fim, no terceiro e último dia de teste, após zeragem da alimentação, foi constatada uma temperatura de saída da planta de energia de 946°C. Com uma hora de alimentação, foram contabilizadas 16 pás de biomassa e uma temperatura de saída de 1009 °C. No segundo período, teve um abastecimento de 20 pás de biomassa e uma temperatura de, novamente, 1013 °C, e por último, ao final da terceira hora, foram contabilizadas 18 pás para alimentação e uma temperatura de 1018 °C. Observando a questão do número de pás utilizadas para alimentação, é notável uma diferença maior entre os 3 períodos. Enquanto nos outros dias, a diferença entre seus respectivos períodos de testes foi de 1 pá, em média (3,5 m³), no terceiro dia esse número já subiu para 4 pás entre o primeiro e segundo horário (14 m³) e 2 pás entre o segundo e o terceiro horário (7 m³). No que se refere ao volume médio utilizado, foi calculado um valor de 63 m³/hora. Comparando este com os outros dois dias, é perceptível que o volume necessário para tentativa de subir a temperatura aumentou, em média, 17,5 %, e mesmo com essa condição de maior abastecimento, a temperatura não chegou ao nível usual de trabalho, embora ainda fosse possível dar prosseguimento no processo, visto que o *set up* de 950 °C foi ultrapassado.

Isso ocorreu devido a algumas condições do material para secagem. Embora tenha-se prezado por seguir os mesmos parâmetros dos testes anteriores, neste último dia o ambiente externo foi caracterizado por chuva e umidade alta, diferentes dos outros dois dias, que tiveram

por completo a presença de sol e um clima mais seco. Dessa forma, a qualidade da biomassa, que embora fosse totalmente casca, se manteve mais úmida, o que de certa forma influenciou no processo de queima, ao passo que quanto mais úmido o material, maior a quantidade de água presente nele, dificultando o processo de combustão e a geração de gás quente para os processos seguintes. Isso fez com que, para atingir parâmetros estáveis de temperatura, o volume de material a ser alimentado na moega fosse maior. Como resultado, mesmo com maior quantidade de material sendo alimentado, a dificuldade de ganho de temperatura ainda persistiu, devido a dificuldade no processo de combustão.

Embora a realização dos testes tenha ocorrido, em sua totalidade, de forma condizente com o planejado inicialmente, principalmente no que tange ao entendimento dos parâmetros necessários para estabelecimento do processo de queima, bem como a quantidade necessária de biomassa para geração da temperatura mínima de trabalho diante determinadas condições, cabe a ressalva de algumas observações e apontamentos identificados durante a atividade prática e a escrita do trabalho e que devem ser levados para estudos futuros, como pontos de atenção a serem considerados.

O primeiro ponto a ser discutido seria em relação a frequência dos testes realizados, tanto em dias, quanto em horas. A definição do tempo foi baseada em 3 fatores principais, que deveriam estar atuando juntos a fim de acordar com a proposta do estudo: utilização do mesmo tipo de biomassa; condições semelhantes de ambiente externo; condições normais de trabalho e funcionamento da planta de energia.

No caso da biomassa, como já colocado anteriormente, foi utilizada a casca nos três dias de teste. Contudo, um ponto a ser destacado é a procedência do insumo. A empresa em questão obtém a madeira para processo através de inúmeras florestas que estão sob seu domínio, espalhadas tanto pela região de Minas Gerais, quanto de São Paulo. Com isso, a atuação do manejo e de fatores externo, como o clima, umidade, pressão etc. pode influenciar na qualidade da madeira, em cada uma das regiões. Uma variável importante e que não foi levada em consideração, seria justamente entender a procedência da madeira e alinhar para que os testes fossem realizados todos com a mesma fonte, a fim de evitar diferenças nos testes e observações já feitas.

Sobre as condições estáveis do clima, por mais que a previsão tenha sido considerada para a realização dos testes, de fato é algo que não é possível ter controle. Nos dois primeiros dias a temperatura se manteve alta, com um tempo relativamente seco, o que forneceu determinadas condições para a casca a ser picada (visto que as toras ficam expostas as ações

naturais) e para a biomassa armazenada no silo. Já no último dia, o clima foi caracterizado por chuva intensa e temperatura amena por quase todo o período, o que proveu uma casca mais molhada e uma biomassa mais úmida.

As condições de funcionamento da planta de energia, grelhas, secadores etc. se mantiveram estáveis, conforme os outros dias de produção.

Outro ponto identificado e caracterizado como imprescindível para testes futuros, é a mensuração da densidade e umidade da biomassa coletada pela pá carregadeira no silo, com destino à queima. Embora tenha-se calculado o volume teórico de material, considerando as medidas de contenção da pá, não necessariamente aquele é o valor real de biomassa destinada para queima. Dependendo das condições tanto da matéria em si, quanto externas, a densidade e umidade atribuídas a ela podem ter influência sobre o seu peso e volume, sendo interessante uma análise prévia para identificar essas medidas e trazer maior precisão para os experimentos.

Uma das alternativas mais simples e viáveis seria a comparação entre os valores do peso, densidade e umidade que se apresentam em condições normais de trabalho, ou seja, no simples ato de coletar a biomassa no silo e levá-la para queima, com os valores dessas mesmas variáveis, após uma análise experimental mais crítica, onde variáveis como densidade aparente, fator de compactação do material, densidade energética, umidade base seca etc. poderia ser identificados e utilizados para o estudo.

Por fim, mas não menos importante, como observado através dos testes a temperatura inicial da saída do gás da planta de energia – valor este apontado após a pausa na alimentação e liberação de todo o material presente na moega, transportador e grelhas, para a queima – se manteve muito próxima do valor de *set up*, que consiste em 950 °C. De fato, esses valores serviram como base comparativa em relação a temperatura alcançada após a alimentação de biomassa para queima, possibilitando entender o volume necessário de biomassa, em um determinado período, para uma certa variação de temperatura. Porém, a fim de se entender de forma plena a demanda de material necessário para a queima para se chegar aos valores ideais de temperatura de trabalho, seria necessário levar a temperatura inicial de testes da planta de energia, a 0°C. Infelizmente, durante os dias de testes não foi possível realizar essa manobra visto que a linha estava em operação e levar a planta de energia a temperatura mínima seria totalmente inviável, devido tanto ao tempo para esfriar, quanto para reaquecer todos os sistemas.

Como forma de tornar isso realidade, serão organizados novos testes, considerando todos os pontos levantados e apontados acima e ainda outras questões que se façam necessárias durante o decorrer das atividades, no período de parada geral da fábrica, evento esse que se

caracteriza pela parada da linha de produção, durante um tempo estimado de 15 a 20 dias, para manutenção e troca de equipamentos. Dessa forma, um dos processos a sofrer parada será o da planta de energia, possibilitando seu resfriamento por completo.

Cabe ressaltar que esse período será de extrema importância para a organização de coleta dos dados, tal como realizado anteriormente, mas agora com mais parâmetros e medições a serem entendidas. O planejamento do tipo de biomassa, testes para o cálculo da densidade real e aparente, assim como a umidade base úmida e umidade base seca como foco na quantificação do volume de abastecimento real e experimental, além do fator de compactação são alguns dos exemplos das medições que serão realizadas. Tudo deve estar de acordo para que, ao realizar a partida de linha com a temperatura da planta zerada, seja possível calcular o volume pleno necessário para se chegar ao valor ideal da temperatura do gás quente, na saída da planta de energia.

Como forma de trazer um resultado médio de alguns valores destacados no estudo, tem-se as seguintes equações, abaixo. Vale destacar que para os cálculos foram considerados apenas os dois primeiros dias, visto que o terceiro foi caracterizado como um caso atípico frente a normalidade que a linha necessita trabalhar, e por isso não foi levado em conta, para a definição de resultados:

$$\text{Média de alimentação em } m^3 \text{ por hora } (m^3/h): \quad \frac{51,5+52,5}{2} = \mathbf{52} \quad (3)$$

$$\text{Média de alimentação em } m^3 \text{ por dia } (m^3/dia): \quad 52 * 24 = \mathbf{1248} \quad (4)$$

$$\text{Média de temperatura de trabalho } (^\circ C): \quad \frac{1069+1067+1068+1071+1070+1068}{6} = \mathbf{1068,8} \quad (5)$$

$$\text{Média de temperatura inicial } (^\circ C): \quad \frac{957+963}{2} = \mathbf{960} \quad (6)$$

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões do trabalho

Iniciando sobre a atual forma de controle dos tipos de biomassa gerados no processo, principalmente das cascas, os resultados obtidos revelaram uma lacuna na quantificação precisa

do material utilizado no processo de produção. Enquanto as equações proporcionam uma estimativa do volume de biomassa mensalmente, particularmente no que diz respeito às cascas de eucalipto, a consistência e veracidade dos dados utilizados para esses cálculos ainda carecem de comprovação. A literatura consultada sugere variações nos percentuais de casca e na densidade média da casca de eucalipto, o que ao passo que comprova uma certa proximidade e assertividade dos valores usados para cálculos, por outro lado, reforça a necessidade de uma análise mais aprofundada sobre a precisão dos números atuais. Portanto, para uma gestão eficiente e sustentável dos insumos, é crucial desenvolver métodos mais precisos de quantificação, através de testes físicos com a madeira recebida, coletando suas características em um dado período de tempo (considerando que suas condições variam) a fim de fazer uma média da densidade e volume de casca presente nos troncos, permitindo uma análise consistente da entrada diária de biomassa para processo e dimensionando o seu uso e necessidade, em lateralidade com outros estudos apontados no trabalho.

Já sobre os testes de dimensionamento da utilização da biomassa, a investigação foi capaz de proporcionar um entendimento aprofundado sobre a influência da biomassa, especificamente a casca de eucalipto, na geração de temperatura na planta de energia, além de trazer um entendimento sistêmico de como é realizado todo o processo de queima do resíduo. Os resultados indicaram uma média ideal de alimentação de 52 m³/hora – cerca de 1248m³ de material por dia –, para manter uma temperatura estável de 1068,8 °C do gás quente na saída da planta de energia, a partir de uma temperatura inicial média de 960 °C, para que as perdas ocasionadas pelo processo ainda estejam dentro da temperatura necessária para os processos de secagem e aquecimento do óleo térmico. Contudo, foi evidenciado que variações nas condições externas, como umidade e clima afetaram diretamente a eficiência da queima, exigindo ajustes no volume de biomassa alimentado.

Em suma, os testes foram fundamentais para elucidar os parâmetros de alimentação e temperatura, porém, é essencial considerar os aspectos apontados para refinamento dos métodos e obtenção de resultados mais consistentes e confiáveis em estudos subsequentes. A realização de novos testes durante o período de parada geral da fábrica, com todos os ajustes e melhorias propostos, é crucial para alcançar um entendimento mais preciso e eficiente do processo de queima.

A partir do dimensionamento tanto do volume de entrada de biomassa por dia, algo que ainda deve ser estudado e implementado, e uma ideia inicial da necessidade de volume de biomassa para queima, a fim de se gerar energia para funcionamento estável da linha, torna-se possível dar prosseguimento com pesquisas e estudos mais avançados.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

O motivo de realização do estudo e exposição do assunto aqui abordado nada mais foi do que uma das primeiras etapas que compõem uma estrutura futura de pesquisas e trabalhos avançados. A partir da raiz, compreendendo desde atividades mais básicas, como o simples registro e manipulação de dados referentes a casca convertida em biomassa, e seguindo por estudos iniciais em campo referentes ao processo de geração de gás quente, torna-se possível interpretar o cenário ao qual o pesquisador está lidando, entendendo desde o processo em si da geração de energia térmica em forma de gás quente a partir da queima da biomassa, até as atividades, parâmetros, condições e variáveis imprescindíveis para a realização desse trabalho. Ou seja, um dimensionamento piloto capaz de fornecer informações tanto dos pontos de atenção que devem ser observados e considerados em estudos futuros, quanto de estimativas iniciais de demanda da biomassa por dia, a ser destinada para queima a fim de gerar uma temperatura ideal para processo de secagem e aquecimento.

Com já apontado, o autor visa para estudos futuros a realização deste mesmo dimensionamento, mas em um momento de melhor oportunidade caracterizado pela época de parada de manutenções, onde será possível presenciar o resfriamento de toda a planta de energia, secadores e tubulações e seu posterior reaquecimento a partir da temperatura mínima possível. Com isso, será possível verificar de fato o volume de biomassa necessária para geração completa da temperatura média do gás quente, no caso 1068,8 °C de acordo com este estudo.

Ademais, o foco final de todo o trabalho é replicar de forma teórica as mesmas condições de queima e geração de energia térmica caracterizados pela biomassa, mas com a utilização do cavaco como biocombustível, sendo este presente em grande quantidade na empresa e que muitas vezes segue para venda. Para isso, diversos fatores físico-químicos deverão ser considerados e analisados para comparação, tal como fator de compactação, eficiência energética entre ambos, suas capacidades de retenção de umidade, entre diversos outros que, no decorrer dos estudos, sejam identificados como importantes.

Dessa forma, tornar-se-á possível não apenas entender de forma técnica qual a melhor opção para queima, mas também dimensionar em termos financeiros, qual se caracteriza como a melhor escolha tanto em questão energético no que corresponde a diminuição de custos com energia da fábrica, mas também fatores externos, considerando também que possivelmente o cavaco que hoje é utilizado para venda seria queimado, o que eventualmente poderia barrar essa atividade de mercado, e a biomassa gerada, diante alternativa viável, que poderia ser

direcionada para venda e aplicação em novos projetos de geração de energia, em outros pontos fabris.

6. REFERÊNCIAS

BOSCARDIN, P. M. D. Morfoanatomia, fitoquímica e atividades biológicas de *Eucalyptus benthamii* maiden et Cabbage – Myrtaceae. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BRASIL BIOMASSA. Aproveitamento energético da casca de eucalipto. 2023. Disponível em: https://www.brasilbiomassa.com.br/_files/ugd/09c803_83833804d6c24fc1bbcb62cb2235ccea.pdf?lang=en. Acesso em: 22 jan. 2024.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1988.

COSTA, E.; FERREZIN, N.B. ESG (Environmental, Social and Corporate Governance) e a comunicação: o tripé da sustentabilidade aplicado às organizações globalizadas. Revista Aterjor. São Paulo, v. 2, ed. 24. Dez, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/alterjor/article/view/187464/174551>. Acesso em: 5 dez. 2023.

COSTA, B.S.; OLIVEIRA, M.L. Florestas Plantadas de Eucalipto no Brasil: uma cultura nociva os recursos hídricos? Veredas do direito. Belo Horizonte, v.16, n.36, p.123-141. Dez, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/40466/2/Florestas%20plantadas%20de%20eucalipto%20no%20Brasil%20....pdf>. Acesso em: 02 mar. 2024.

CRESTANA, M.S.M.; MOREIRA, R. **Plantio de Eucalipto**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/eucalipto/index.htm. Acesso em: 11 jan. 2024.

DENCKER, A. F. M. **Métodos e técnicas de pesquisa em turismo**. 4. ed. São Paulo: Futura, 2000.

DEXCO. **Relato Integrado 2022**. 168 p. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/91f4a038-dddb-40a9-95b2-7a436386019c/5db402a4-9fc4-9be2-d3c6-931a93bf19fc?origin=2>. Acesso em: 13 fev. 2024

ELKINGTON, J. Partnerships from Cannibals with Forks: The triple Bottom line of 21st-Century Business. **Environmental Quality Management**. Mar, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tqem.3310080106>. Acesso em: 21 jan. 2024.

ELKINGTON, J. **Sustentabilidade**: canibais de garfo e faca. 1 ed. São Paulo: M.Books, 2011. 488p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Uso da biomassa para geração de energia – Documento 211**. 30 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155329/1/Doc-211.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2023.

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional – 2017**. 296 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2017>. Acesso em: 18 jan. 2024.

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional – 2022**. 275 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2024.

EUCALYPTUS ONLINE BOOK & NEWSLETTER. Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. **Eucalyptus online book & newsletter**. 2005. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf. Acesso em: 23 fev. 2024.

FAO – Food and AGRICULTURE Organization. Global Forest Resources Assessment (GFRA). **FAO**, 2020. Disponível em: [Global Forest Resources Assessment 2020 \(fao.org\)](https://www.fao.org/global-forest-resources-assessment/). Acesso em: 21 jan. 2024.

FARIAS, M. E. A. C; MARTINS, M. F; CÂNDIDO, G. A. Agenda 2030 e Energias Renováveis: sinergias e desafios para alcance do desenvolvimento sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e13101723867-e13101723867, 2021.

FERREIRA, J.C. et al. Estimativa da oferta de biomassa florestal em povoamentos de *Pinus Taeda L.* pós-intervenções culturais. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.29, n.3, p. 1459-1468. Set. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/vn6cXVzsQ5xwbvRgXTyddtG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 mar. 2023.

FERREIRA, P.G.; FERREIRA, V.F. Farmácia, Química e Qualidade de vida. **Revista Virtual de Química**. Niterói, v.13, n.01, p. 361-370. Jan, 2021. Disponível em: <https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v13n2a06.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2024.

FILHO, J.E.O. Gestão ambiental e sustentabilidade: um novo paradigma econômico para as organizações modernas. **Revista Teor. Pol. Sc. Cidad**. Salvador, v.1, n.1, p. 1-43. Jun, 2004. Disponível em: <https://fbb.br/wp-content/uploads/2021/12/Gestao-ambiental-e-sustentabilidade-Um-novo-paradigma-eco-economico-para-as-organizacoes-modernas.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996. Métodos e técnicas em pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GROBLER, C. et al. Marginal Climate and air quality costs of aviation emissions. **Environmental Research Letters**. Cambridge, v.14, n.11, novembro, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab4942>. Acesso em: 22 dez. 2023.

GUERRA, A.L.R. et al. Procedimentos metodológicos de classificação das pesquisas científicas. **Revista de educação da UNIPAR**. Umuarama, v.23, n.1, p. 303-311, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Avaete-Guerra/publication/371229216_PROCEDIMENTOS_METODOLOGICOS_DE_CLASSIFICACAO_DAS_PESQUISAS_CIENTIFICAS/links/64801e8479a72237651503b6/PROCEDIMENTOS-METODOLOGICOS-DE-CLASSIFICACAO-DAS-PESQUISAS-CIENTIFICAS.pdf. Acesso em: 01 abr. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. **Relatório Anual 2022**. 96 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2023.

LEÃO, L.M. **Metodologia do Estudo e Pesquisa**: facilitando a vida dos estudantes, professores e pesquisadores. Petrópolis, RJ: Vozes, 2017.

Lefehld, NAS. & Barros, AJP. (1991) **Projeto de pesquisa: propostas metodológicas**. Petrópolis/RJ: Vozes.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M.E.D.A. Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MARAFON, A. C. et al. **Uso da biomassa para a geração de energia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.

MOVETALHE MÓVEIS, 2014. Conhecendo materiais – MDP. Disponível: <https://movetalhe.blogspot.com/2010/07/conhecendo-materiais-mdp.html>. Acesso em: 02 abr. 2024.

NAÇÕES UNIDAS – BRASIL. Objetivos de desenvolvimento sustentável. **Nações Unidas – Brasil**. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 jan. 2024.

NASCIMENTO, F.P. **Metodologia da pesquisa científica**: teoria e prática – como elaborar TCC. Brasília: Thesaurus, 2016.

NASCIMENTO, E.P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, São Paulo, Brasil, v. 26, n. 74, p. 51–64, 2012. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10624..> Acesso em: 11 fev. 2024.

NOGUEIRA, L.; LORA, E. **Dendroenergia**: fundamentos e aplicações. 2^a. ed. Itajubá: Editora Interciência, 2003. 200 p.

NOLASCO, Adriana Maria. **Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC.**: caracterização e perspectivas. Projeto (Doutorado) – Universidade de São Paulo. São Carlos (SP), 2000.

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

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do Trabalho Científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2.ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ROCHA, A.D.; GOMES, C.M.; KNEIPP, J.M.; CAMARGO, C.R. Gestão sustentável da cadeia de suprimentos e desempenho inovador: um estudo multicaso no setor mineral brasileiro. **Revista de Administração e Inovação**. São Paulo, v.12, n.2, p. 293-316, jun 2015. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S180920391630081X#bi0005>. Acesso em: 23 fev. 2024.

Serviço Florestal Brasileiro – SFB. **Boletim SNIF 2020**. 66 p. Disponível em: https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/publicacoes/Boletim_SNIF_ed1_2020_vfinal.pdf. Acesso em: 15 dez. 2023.

SEVERO, L. S.; DELGADO, N. A.; PEDROZO, E. Á. A emergência de “inovações sustentáveis”: questão de opção e percepção. In: **SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS**, 9., 2006, São Paulo. Anais... São Paulo: FGV-Eaesp, 2006.

SEYE, O. **Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schaum)**. 2003. 167 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, SP.

SOUZA, V.H.A. et al. Aspectos sustentáveis da biomassa como recurso energético. **Revista Augustus**. Rio de Janeiro, v.20, n.40, p.105-123. Dez. 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/229105069.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.

