

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JORGE LUIZ BATISTA

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO PARA
FABRICAÇÃO DE BRIQUETES/PELLETS A PARTIR DE RESÍDUOS DE CARVÃO
VEGETAL E SERRAGEM/MARAVALHA DE MADEIRA**

PONTA GROSSA

2023

JORGE LUIZ BATISTA

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO PARA
FABRICAÇÃO DE BRIQUETES/PELLETS A PARTIR DE RESÍDUOS DE CARVÃO
VEGETAL E SERRAGEM/MARAVALHA DE MADEIRA**

**Conceptual project of a production plant for the manufacture of
briquettes/pellets from charcoal waste and sawdust/wood shavings**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Aldo Braghini Junior

PONTA GROSSA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



JORGE LUIZ BATISTA

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA PLANTA DE PRODUÇÃO PARA FABRICAÇÃO DE
BRIQUETES/PELLETS A PARTIR DE RESÍDUOS DE CARVÃO VEGETAL E
SERRAGEM/MARAVALHA DE MADEIRA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 25 de Agosto de 2023

Dr. Aldo Braghini Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Carlos Ubiratan Da Costa Schier, Doutorado - Universidade Estadual de Ponta Grossa (Uepg)

Dr. Fabio Neves Puglieri, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Flavio Trojan, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 20/11/2023.

Dedico este trabalho à minha família, pelos
momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Aldo Braghini Junior, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) e aos docentes membros da banca de defesa.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Eu denomino meu campo de Gestão do Conhecimento, mas você não pode gerenciar conhecimento. Ninguém pode. O que você pode fazer, o que a empresa pode fazer é gerenciar o ambiente que otimize o conhecimento.
(DAVENPORT; PRUSAK, 2012).

RESUMO

Com a eminente necessidade de mudança da matriz energética global para um modelo mais sustentável, alternativas para substituição dos combustíveis fósseis são necessárias. Com o aumento da demanda por combustíveis fósseis, como, carvão mineral, petróleo e gás natural, que são responsáveis por considerável teor de emissões atmosféricas, principalmente dióxido de carbono, e ainda possuem limitações em suas reservas e não possuem a capacidade de renovação. Dessa forma combustíveis de origem vegetal que possuem a capacidade de serem renováveis são alternativas importantes na substituição dos combustíveis fósseis. Briquetes e *pellets* são combustíveis produzidos a partir de biomassa madeira com alta densidade e significativo poder calorífico que podem substituir em muitas aplicações os combustíveis fósseis. A proposta desse trabalho é o projeto conceitual de uma planta de produção de *pellets*/briquetes que vai processar e densificar serragem/maravalha madeira e finos de carvão vegetal, formando um biocombustível de alta densidade e elevado poder calorífico, com elevada capacidade energética. Os equipamentos que produzem *pellets* e briquetes possuem aptidão para a processamento de um único tipo de matéria-prima, essa planta de produção tem o diferencial de processar mais de um tipo de biocombustível. Foi adotado para o desenvolvimento o modelo de referência de Rozenfeld *et al.* (2006) e a seleção dos equipamentos a compor a planta de produção foram escolhidos com suporte do método multicritério a *Analytic Hierarchy Process* (AHP), com base em critérios de escolha pré-definidos. Como resultado do processo de pesquisa acadêmica com base no método multicritério e o modelo de referência citados, optou-se por um projeto conceitual de uma planta para produção de *pellets*, composta por estocagem em silo suspenso para serragem e finos de carvão vegetal, peneira vibratória, Moinho tipo bola, forno rotativo contínuo, misturador rotativo contínuo, válvula de controle pneumática, sistema rotativo por rodas.

Palavras chave: Biocombustível; sustentável; bioenergia.

ABSTRACT

With the imminent need to change the global energy matrix to a more sustainable model, alternatives to replace fossil fuels are necessary. With the increase in demand for fossil fuels, such as coal, oil and natural gas, which are responsible for a considerable amount of atmospheric emissions, mainly carbon dioxide, and still have limitations in their reserves and do not have the capacity for renewal. Therefore, fuels of plant origin that have the capacity to be renewable are important alternatives to replacing fossil fuels. Briquettes and pellets are fuels produced from wood biomass with high density and significant calorific value that can replace fossil fuels in many applications. The purpose of this work is the conceptual design of a pellet/briquette production plant that will process and densify sawdust/wood shavings and charcoal fines, forming a biofuel of high density and high calorific value, with high energy capacity. The equipment that produces pellets and briquettes processes a single type of raw material; this production plant has the advantage of processing more than one type of biofuel. The reference model by Rozenfeld et al. was adopted for development. (2006) and the selection of equipment to make up the production plant were chosen with the support of the multi-criteria method the Analytic Hierarchy Process (AHP), based on pre-defined choice criteria. As a result of the academic research process based on the multi-criteria method and the aforementioned reference model, a conceptual project was chosen for a plant for the production of pellets, consisting of storage in a suspended silo for sawdust and charcoal fines, a vibrating screen, ball mill, continuous rotary kiln, continuous rotary mixer, pneumatic control valve, wheel rotary system.

Keywords: Biofuel; sustainable; bioenergy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Serragem de pinus	29
Figura 2 – Finos de carvão vegetal	31
Figura 3 – Esquema de prensagem por rosca sem fim	39
Figura 4 – Modelo de prensa com pistão hidráulico	40
Figura 5 – Modelo de prensa por rosca sem fim	40
Figura 6 – Prensa extrusora de pistão mecânico	41
Figura 7 – Elemento de um modelo de referencia	45
Figura 8 – Modelo de referencia para PDP	46
Figura 9 – Modelo de referencia para PDP	46
Figura 10 – Modelo de estruturação em níveis hierárquicos	54
Figura 11 – Modelo genérico de PDP	55
Figura 12 – Representação esquemática da função total	60
Figura 13 – <i>Pellets</i> compostos de finos de carvão vegetal e serragem	64
Figura 14 – Modelamento Funcional da planta de peletização	69
Figura 15 – Modelagem funcional e etapas do processo de peletização	69
Figura 16 – Fluxograma das etapas do processo de produção de <i>pelletes</i> e briquetes	70
Figura 17 – Hierarquização método AHP	84
Figura 18 – Fluxograma da planta de produção de <i>pellets</i>	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fluxograma da metodologia	56
Quadro 2 – Equipamentos e suas características técnicas para a produção de <i>pellets</i> e briquetes	67
Quadro 3 – Comparação entre registros de patentes e equipamentos com aplicação similar	68
Quadro 4 – Matriz morfológica – critérios de escolha	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas dos <i>pellets</i>	32
Tabela 2 – Tabela de pesos para cada critério	85
Tabela 3 – Definição de peso dos critérios	86
Tabela 4 – Tabela critério custos	86
Tabela 5 – Tabela critério performance operacional	86
Tabela 6 – Tabela critério disponibilidade técnica	86
Tabela 7 – Tabela de prioridade final.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
DFSS	Design Fox Six Sigma
EUA	Estados Unidos da América
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadora
PDP	Projeto Desenvolvimento de Produtos
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemica
SSCs	Sistemas, Subsistemas e Componentes
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de Carbono
CO	Monóxido de Carbono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	Justificativa	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Energia	21
2.1.1	Energia renovável.....	25
<u>2.1.1.1</u>	<u>Energia de biomassa</u>	<u>26</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Biomassa madeireira</u>	<u>28</u>
<u>2.1.1.3</u>	<u>Biomassa de carvão vegetal</u>	<u>31</u>
2.2	Produção de briquetes e pellets	32
2.2.1	Características técnicas para a produção de pellets e briquetes	34
2.2.2	Norma ABNT NBR 17.030.....	37
2.3	Equipamentos	38
2.4	Desenvolvimento de novos produtos	42
2.4.1	Projeto conceitual	49
2.5	Método de apoio multicritério	50
2.5.1	Método AHP (<i>Analytic Hierchy Process</i>)	53
3	METODOLOGIA	55
3.1	Busca por soluções já existentes	57
3.1.1	Revisão Bibliográfica e de patentes	57
3.2	Estabelecer requisitos de projeto	58
3.2.1	Caracterização técnica	58
3.2.2	Representação requisitos de projeto	59
3.3	Construção conceitual para a produção de briquetes e pellets	59
3.3.1	Função global do equipamento	59
3.3.2	Funções parciais do projeto	61
3.3.3	Construir possíveis soluções conceituais	61
3.4	Hierarquizar soluções conceituais	62
4	RESULTADOS E DISCUÇÃO	61
4.1	Desenvolvimento de projeto conceitual	62
4.1.1	Sistemas, subsistemas e componentes	62
4.2	Diferencial da planta de produção	63
4.3	Parâmetros de processo de produção	64
4.4	Soluções presentes no mercado	65
4.5	Patentes relacionadas registradas	67
4.6	Etapas do processo de produção de briquetes e pellets	69
4.6.1	Estocagem de matérias-primas	70
4.6.2	Classificação de partículas.....	71
4.6.3	Uniformização das matérias-primas	72
4.6.4	Controle de umidade	73
4.6.5	Mistura de matérias-primas	74
4.6.6	Dosagem matérias-primas	75
4.6.7	Densificação	75
4.7	Matriz morfológica – Critérios de escolha	76

4.8	Critérios para escolhas de alternativas	76
4.8.1	Critérios de escolha processo de estocagem	78
4.8.2	Critérios de escolha para classificadores de matéria-prima	79
4.8.3	Critérios de escolhas para uniformizadores de matéria-prima	79
4.8.4	Critérios de escolha para ajustador de humidade	80
4.8.5	Critérios de escolha para misturadores de matérias-primas	80
4.8.6	Critérios de escolha para equipamento de dosagem de matérias-primas.....	81
4.6.7	Critérios de escolhas para sistemas de densificação	81
4.9	Alternativas de solução	82
4.9.1	Definição de pesos e critérios	83
4.9.2	Critérios de escolha	83
4.9.3	Aplicação método multicritério	83
4.9.4	Alternativa aceita	87
5	CONSIDERAÇÕES E CONTRIBUIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	89
	REFERÊNCIAS	91
	APÊNDICE A - Revisão de literatura (RBS) e patentes	107
	APÊNDICE B - Busca em Periódicos nacionais e órgãos técnicos	109
	APÊNDICE C - Critérios de escolha dos componentes	111

1 INTRODUÇÃO

Nesse tópico é abordado elementos textuais importantes na construção de uma pesquisa acadêmica. Elementos constituintes da pesquisa como, contextualização geral, objetivos (geral e específicos), justificativa e problema de pesquisa. Nesse tópico também aborda-se em termos gerais sustentabilidade e recursos energéticos.

1.1 Contextualização

Na contemporaneidade a necessidade de recursos energéticos diversos é extremamente importante. Além de variedades de fontes de energia é também necessário alternativas para mudanças do modelo energético atual para um modelo mais sustentável. Abordar novas alternativas energéticas significa também gerar alternativas para a atividade humana, tanto no aspecto ambiental, quanto no econômico.

Segundo Protásio *et al.* (2015), a matriz energética mundial ainda se encontra baseada nos combustíveis fósseis, sendo estes considerados um dos principais fatores responsáveis pelo aquecimento global, devido à grande quantidade de gases poluentes emitidos após a combustão dos mesmos. Ribeiro e Junior (2023) apontam para o uso de fontes renováveis de energia como estratégia para reduzir impactos da mudança climática, de forma sustentável.

Para Lin *et al.* (2017), o Brasil necessita encontrar um caminho energético mais limpo, conseqüentemente mais sustentável, com redução do efeito estufa, com custo de aquisição mais acessível, limpo e renovável. Conforme apontam Moreira *et al.* (2015) o relevo e a hidrografia brasileira contribui significativamente para a produção de eletricidade a partir de usinas hidroelétricas. No Brasil essa situação apresenta relativa diferença, a demanda por recursos energéticos é grande, porém não chega a ser totalmente baseada em energia limpa e renovável, mas

A produção energética em um modelo sustentável requer um produto mais limpo, de origem controlada e que possua o viés de ser renovável. Quando essa alternativa consome resíduos (considerados inconvenientes ambientais) na produção energética, acaba por fazer um elo entre o ganho ambiental e o ganho financeiro. Para

Rensi e Schenini (2016), a produção mais limpa proporciona a geração de ganhos financeiros através da melhor utilização de matérias-primas e insumos. Para Kasrtinos e Weber (2019), a transição para um modelo sustentável, e o desenvolvimento sustentável requer a construção dos modelos voltados para o desenvolvimento de estratégias e inovações no contexto ambiental, como o processo de inserção de biocombustíveis e equipamentos para produzir esses combustíveis.

Ações são realizadas visando o desenvolvimento sustentável. A agenda 2030 (ODS/ESG) é promovida pela ONU com a finalidade de promover ações que garantam o desenvolvimento sustentável, essas ações devem ser seguidas por países de todo o mundo. Sendo ao todo 17 objetivos e 169 metas, que devem ser atingidas até 2030. Atingir metas relacionadas ao meio ambiente, desenvolvimento econômico e desenvolvimento social. Estratégias e a busca por um mundo mais sustentável motivam essa agenda. Geraldo e Pinto (2019) definem o desenvolvimento sustentável como uma interação entre o homem e o meio ambiente. Para Ferrari *et al.* (2022) até maio de 2019 o Brasil possuía 838 organizações entre privadas e públicas aderidas a Agenda (2030).

A atividade industrial, importante para desenvolvimento econômico, ocorre via processos de transformação, processos esses que são grandes geradores de resíduos. Buscar o máximo aproveitamento dos recursos despendidos, em especial utilização dos resíduos gerados nos processos de produção é fundamental. Para Freitas *et al.* (2021) muitos resíduos produzidos pela indústria possuem capacidade de reutilização, como exemplo a utilização desses resíduos para a produção de energia.

Rocha *et al.* (2020) avaliaram o aproveitamento de biomassa residual madeireira, na região do Algarve, Portugal. Picchio *et al.* (2020) define a biomassa florestal madeireira como as mais importantes formas de combustível renovável. Dentre as inúmeras possibilidades de resíduos que podem ser aproveitados em forma de energia está a biomassa madeireira, esta é resultante dos processos de manejo florestal e processos de manufatura em indústrias madeireiras. Apresentando-se na forma de refis de madeira, costaneiras, cascas de madeira, serragem, maravalha, cepilho e finos de carvão vegetal.

A biomassa de madeira na forma de carvão vegetal tem sido usada ao longo da história humana. As aplicações do carvão vegetal, neste início do século XXI, vai

de fonte de energia para a cocção de alimentos, uso na medicina, na agricultura (na forma de biochar) e na indústria metalúrgica (predominantemente no Brasil). Durante o processo de produção do carvão vegetal ocorre a geração de finos do carvão (pó ou particulado pequeno do carvão inadequado para as aplicações tradicionais do carvão). Apesar de possuir alta carga energética, os finos do carvão vegetal são considerados um resíduo da produção do carvão. No entanto, certamente possui um potencial de geração de bioenergia se devidamente aproveitado.

Segundo Nones *et al.* (2014) existe viabilidade da produção de briquetes através de resíduos lenhosos, e que segundo Camargo *et al.* (2020) existe viabilidade da produção de *pellets* produzidos a partir de resíduos de madeira com adição de finos do carvão vegetal. Camargo *et al.* (2020) avaliou em caráter experimental a mistura de finos de carvão vegetal com serragem e observou a viabilidade dessa mistura na produção de *pellets*. Quinteiro *et al.* (2020) apontam para os *pellets* de madeira como uma alternativa energética limpa e renovável para aquecimento residencial, na substituição de combustíveis fósseis.

Tanto a produção de briquetes quanto a produção de *pellets* demanda de projetos de equipamentos que garantam a produção de briquete e/ou *pellet* com qualidade. Encontra-se no mercado equipamentos que processam apenas um tipo de biomassa vegetal por vez. Camargo *et al.* (2020) demonstrou em sua pesquisa que existem vantagens energéticas na junção de dois resíduos de biomassa vegetal na forma de *pellet*. No entanto, essa pesquisa como já mencionado ocorreu em caráter experimental, não foi encontrado uma planta ou equipamento que tenha como sua principal característica a junção de duas biomassas vegetais na produção de um biocombustível em forma de *pellet* ou briquete. Uma planta de produção ou equipamento que realize o trabalho de manufatura, capaz de dosar e homogeneizar a mistura de biomassas vegetais para a compactação, é importante para ampliar a capacidade de gerar energia renovável oriunda de resíduos.

Esta planta de produção é pensada como forma de absorver essa lacuna, mencionada no parágrafo anterior. Existe uma demanda por um equipamento (planta produtiva) que tenha a capacidade de processar finos de carvão vegetal e resíduos de madeira. Pensar em uma planta de produção inovadora com a possibilidade de junção de duas biomassas vegetais residuais distintas significa juntar produtos com a agregação de características caloríficas distintas, mas, que compõem um produto

único com energia concentrada e densificada. Essa densidade e concentração energética garante facilidade no transporte. Para viabilidade desse produto é necessário o desenvolvimento de uma planta de produção de briquetes ou *pellets* que trabalhe com mais de uma biomassa vegetal ao mesmo tempo. Essa planta visa atender as demandas de empresas madeireiras geradoras de resíduos, como, serragem de madeira por exemplo, e também atender empresas específicas de *pellets* e briquetes.

Nesse sentido é apresentada uma proposta conceitual de uma planta produtiva para a produção de briquetes e *pellets* para aproveitamento de resíduos madeireiros (serragem e maravalha) e finos de carvão vegetal. Desta forma, procura-se responder a seguinte pergunta: Como deve ser uma planta de produção de *pellets* / briquetes que utiliza resíduos da indústria madeireira e finos do carvão vegetal como matéria prima?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

- Projetar conceitualmente uma planta para produção de briquete/*pellet* a partir de resíduos industriais madeireiros e finos do carvão vegetal.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar as soluções atuais para a produção de *pellet* e briquete, em termos de equipamentos e projetos já existentes;
- Desenvolver soluções conceituais de equipamentos, para a produção dos briquetes ou *pellets* a base de resíduos de madeira e finos de carvão vegetal;
- Hierarquizar as soluções conceituais.

1.3 Justificativa

A busca por alternativas para a produção energética de forma sustentável, econômica e menos complexa é elemento que objetiva muitos estudos e pesquisas. Questões ambientais têm levado a busca por alternativas renováveis de energias e com menor potencial de poluição. Para Levenda *et al.* (2021) a transição para um modelo energético mais renovável, com energias renováveis, para um processo de descarbonização da economia mundial e reduzir as alterações climáticas no aspecto mundial.

A otimização dos recursos energéticos representa para as organizações o cuidado com o meio ambiente, tanto os recursos empregados na obtenção de energia industrial, como no aproveitamento de maiores possibilidades de recursos energéticos. As fontes de energia hoje utilizadas em sua maioria fazem parte de uma matriz energética já ultrapassada, com significativos impactos ambientais como, inundações de grandes áreas para a construção de barragens, alta taxa de emissão de poluentes e elevado consumo de recursos naturais. Além de ser uma matriz muito dependente de energias não renováveis como petróleo e carvão mineral.

Kasrtinos e Weber (2019) defendem que para um modelo energético mais sustentável requer a inovação no setor energético, voltado para biocombustíveis. Com todas as preocupações em relação ao clima e meio ambiente em caráter global, apresentar um projeto conceitual de uma planta de produção que produza um biocombustível, oriundo de fontes residuais significa um avanço tecnológico na produção de bioenergia.

Os melhores aproveitamentos dos recursos energéticos são indispensáveis para obtenção de melhores resultados e ganhos financeiros nas organizações. Melhorar os índices de aproveitamento energético, a busca por fontes alternativas e o uso de biocombustíveis resultam em uma estratégia econômica e financeira para as empresas, considerando ainda o ganho ambiental.

Quando uma empresa consegue desenvolver um processo de aproveitamento de seus resíduos de produção, deixa de custear as despesas de destinação dessa massa residual e passivos ambientais que a mesma possui. Outra vantagem é quando uma empresa consegue reprocessar esse resíduo ou destinar este para outras empresas, em venda ou parceria de produção.

A produção de briquetes ou *pellets* densificados pode vir a ocasionar um produto que possa atender a indústria madeireira, pois está em seu processo de produção gera elevada quantidade de resíduos, como serragem, maravalha e finos, como também o processo de produção de carvão vegetal que gera finos e estes possuem baixo potencial de comercialização e conseqüentemente tornam-se um passivo ambiental. Com a adição de finos de carvão vegetal ao *pellet* esse aumenta sua capacidade energética, o carvão vegetal possui poder calorífico maior que a serragem, isso agrega ao produto final *pellet* ou briquete.

Como empresas dependem de ganho financeiro, o melhor aproveitamento de recursos energéticos pode vir a ocasionar um ganho extra. Que irá refletir diretamente nas finanças e receitas empresariais, tornando a produção de biocombustíveis densificados bem vantajoso do ponto de vista financeiro para as empresas.

Embora seja viável um composto de resíduos madeireiros e finos do carvão vegetal na substituição de combustíveis fósseis e outras fontes energéticas, existe a necessidade de um equipamento ou de uma planta de produção que faça a mistura e densificação dessas substâncias residuais, para que se obtenha a melhor relação custo benefício nesse tipo de investimento. Para isso é pensado essa planta para atender a essa demanda, de forma sustentável e otimizada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo tratar-se-á o tema energia, biomassa madeireira, biomassa de finos de carvão vegetal, *pellets* e briquetes, equipamentos briquetadores, peletizadores e desenvolvimento de novos produtos.

2.1 Energia

Muitas são as formas de energia disponíveis, porém cada energia natural existente pode apresentar suas particularidades na sua exploração, fatores como disponibilidade, sazonalidade e custo para exploração são fatores que merecem a devida atenção. Dentre as energias encontradas na natureza destacam-se algumas, a energia solar, energia eólica (ventos), energia hidráulica (água), e energias que dependem de processos industriais e de enriquecimento químico, como, a energia nuclear, onde o minério de urânio é submetido a processos industriais para obtenção do urânio enriquecido, e os combustíveis fósseis principalmente o petróleo que necessita passar por um processo de refino.

A energia hidráulica proveniente da força da água, é uma energia muito utilizada para gerar eletricidade. Esta energia depende de rios e lagos para aproveitar a força motriz da água e mover turbinas hidráulicas. Solaun e Cerd (2017) avaliaram que com as constantes mudanças climáticas e o aquecimento global tendem a interferir diretamente no nível de precipitação atmosférica e conseqüentemente no abastecimento das barragens das usinas hidrelétricas, visto que as chuvas são as fontes de renovação dessa matriz energética.

Segundo ANEEL (2020) 90% da energia elétrica gerada no Brasil é por usinas hidroelétricas, a hidrologia do território brasileiro é favorável para isso, porém no contexto global isso não se confirma, usinas a carvão mineral e outras fontes predominam, o que difere o Brasil da matriz energética global que é altamente dependente de combustíveis fósseis.

A energia nuclear é um importante e polêmica energia, por possuir risco de acidente radioativo. Schneider e Froggat (2019) aponta que a energia nuclear tinha participação de 13% na produção de energia elétrica global. Produzida nas usinas termonucleares ou também popularmente chamada de usinas nucleares. Em seu processo utilizam-se do urânio como elemento principal. Seu funcionamento ocorre

por meio da utilização do calor para gerar a energia elétrica, isso se dá através da fissão dos átomos de urânio enriquecido. Porém esse modelo de energia embora muito utilizado na Europa e Ásia apresenta sérios riscos, onde acidentes com qualquer material residual pode acarretar em sérios riscos ao meio ambiente e a vida humana.

Schneider e Froggat (2019) avaliaram a construção e fechamento de reatores nucleares, comparando com fontes renováveis de energia no contexto energético global. Segundo Manfred (2008), apesar de não gerar emissões de gases de efeito estufa, a energia nuclear não é uma fonte de energia com emissões zero. O risco de graves acidentes nucleares por meio de vazamentos também é um agravante da utilização dessa fonte energética.

Produzida por meio da ação dos ventos a energia eólica possui grande aceitação no sistema energético atual. Para Blaabjerg (2013), trata-se de uma fonte de energia renovável altamente promissora, evoluiu seu uso significativamente desde a década de 1980. Por apresentar uma característica sustentável e ser uma fonte limpa e inesgotável, essa fonte energética está em expansão, e no Brasil já começa a ganhar relevante atenção. Porém para Azevedo *et al.* (2016) fatores como desmatamento e erosão do solo são impactos negativos na instalação de parques eólicos. Além disso, é uma fonte de energia intermitente, depende do regime de ventos.

Outra energia muito importante é a energia solar, com ascensão em sua utilização, é uma energia inesgotável e não poluente na sua geração, a energia solar tem flexibilidade de geração, pois pode ser obtida em qualquer ponto com intensa radiação solar, inclusive em grandes centros urbanos. Para Kabir *et al.* (2018) o desenvolvimento de novas tecnologias de energia solar é fundamental para o desenvolvimento alternativas para a matriz energética global.

Para Ahmadi *et al.* (2018), no processo de produção de energia, a energia solar concentrada utiliza-se de lentes e espelhos para focalizar a irradiação da luz solar em uma área. Essa radiação concentrada pode ser aplicada para gerar eletricidade indiretamente, com o calor absorvido pela irradiação solar é usado em ciclos termodinâmicos para produzir eletricidade. A energia solar também é uma fonte de energia intermitente, pois esta energia não está disponível a noite. Kabir *et al.* (2018), definem a energia solar como uma fonte de energia futura, pelo seu potencial e pelo fato de ser inesgotável, também por ser uma fonte limpa sem potencial de poluição.

Os combustíveis fósseis são um grupo de combustíveis com elevada utilização. Carvão mineral, petróleo e gás natural fazem parte do grupo denominado combustíveis fósseis, por serem resultado de decomposição de massa orgânica, seres vivos em decomposição. Segundo a Eletrobrás (2019) usinas térmicas que utilizam de combustíveis de origem fósseis foram responsáveis por 65,1% da geração elétrica no planeta, as usinas hidrelétricas por 16,6%, energia nuclear por 10,4% e as fontes renováveis por 5,6% da eletricidade gerada no planeta em 2018. Schlesinger (2018), aponta que 40% da eletricidade do planeta é gerada em usinas movidas a carvão mineral, que compromete 80% do carvão extraído por ano no mundo. Segundo a ANP (2019), em 2018 o consumo de petróleo mundial foi de 99,8 milhões de barris/dia, e o consumo mundial de gás natural foi de 3,9 trilhões de m³/dia.

Os combustíveis fósseis embora ainda muito demandados para consumo no cenário mundial possuem em sua constituição elevado teor de carbono, e são extremamente poluidores. Perera (2017) aponta para os vários impactos a saúde de crianças causados pelo uso de combustíveis fósseis causados pelas emissões atmosféricas tóxicas e gases e dióxido de carbono (CO₂). Segundo Kabeyi e Olanrewju (2022) combustíveis fósseis como carvão mineral e gás natural, que possuem elevada capacidade de emissões de gases de efeito estufa, e conseqüentemente são responsáveis pelo aumento do aquecimento global.

Segundo Economides e Wood (2009), o gás natural está competindo fortemente com outros combustíveis fósseis, na perspectiva de eficiência e emissões como o combustível escolhido para geração de energia. Embora tenha um potencial de emissões atmosféricas reduzido, mas ainda gera poluição atmosférica em sua combustão. Para Welsby *et al.* (2021) as partes do acordo de Paris em 2015 apontam para a redução no consumo dos combustíveis fósseis no controle do aumento da temperatura global nos próximos anos.

Os biocombustíveis formam outra importantíssima fonte energética, apresentando-se como alternativa viável aos combustíveis fósseis para a manutenção das frotas de automóveis e meios de transporte diversos, e para os combustíveis fósseis e energia hidráulica na geração de eletricidade. Flexibilidade operacional nos sistemas energéticos pode ser obtida através da alternância da geração na forma de usinas de energia convencionais a uma forma dinâmica, como, turbo geradores movidos a gás, óleo ou biomassa.

A energia de biomassa vegetal é outra importante fonte energética, principalmente pelo seu potencial renovável. Para Freitas *et al.* (2020) a biomassa apresenta-se como uma importante alternativa energética para o Brasil, com o biogás como alternativa para a geração de eletricidade. Kabeyi e Olanrewju (2022) combustíveis fósseis como carvão mineral e gás natural, que possuem elevada capacidade de emissões atmosféricas de gases de efeito estufa, foram responsáveis por 61,3% da eletricidade gerada no mundo no ano de 2020.

Óleos vegetais, biodiesel, etanol são alguns biocombustíveis que substituem o gás natural e os derivados do petróleo. Gielen *et al.* (2019) mencionam a política governamental brasileira de apoio a utilização do etanol na substituição de derivados do petróleo.

O modelo energético mundial ainda está muito dependente de combustíveis fósseis. Para Martins *et al.* (2019), o petróleo e o carvão mineral, são combustíveis que possuem relação direta em relação ao aquecimento global, devido a elevada emissão de CO₂ para a atmosfera. A busca por alternativas ao uso do carvão mineral e do petróleo possui sempre duas particularidades, serem renováveis e com menor potencial de emissões atmosféricas, seja de CO₂, ou outros gases de efeito estufa.

De acordo com Hajjari *et al.* (2017), com uma possível exaustão das fontes petrolíferas, e o diesel com elevada demanda de consumo, o biodiesel têm ganhado espaço de forma global como o melhor substituto para o diesel mineral em curto prazo. Ulbig e Anderson (2015), avaliam alternativas energéticas que diversifiquem os modelos atuais voltados em sua maioria a combustíveis fósseis. Dentre essas alternativas destaca-se os biocombustíveis, com potencial renovável.

A biomassa florestal também forma outra importante fonte energética, tem espaço na geração energética das indústrias como combustível em caldeiras, gerando vapor de água e também energia elétrica. Substitui tradicionais combustíveis fósseis como óleo 1A, gás natural e carvão mineral. Wang *et al.* (2017) apontam para a substituição de carvão mineral por *pellets* de madeira na China, quanto utilizado os *pellets* de madeira a redução de emissões atmosféricas reduziram em 94% em relação ao carvão mineral. Para Zafar *et al.* (2021) a energia de biomassa recebe atenção por apresentar menor potencial poluidor e conseqüentemente apresentar melhor resultado ambiental em seu uso, sem comprometer o desenvolvimento econômico.

2.1.1 Energia renovável

Dentre as inúmeras formas de energia presentes na natureza a energia renovável é aquela que possui a capacidade de estar se renovando constantemente, como a biomassa florestal por exemplo e não ser uma fonte energética esgotável como os combustíveis fósseis.

Segundo Gielen *et al.* (2019), a transição energética para uma matriz mais renovável pode mitigar mudanças relacionadas ao aspecto do aquecimento global. Em uma transição que pode ir ocorrendo desse momento até o ano de 2050, com o incremento de muitas outras formas e fontes de energia renovável.

Kittner *et al.* (2017), enfatizam a importância da Tecnologia e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no desenvolvimento de estratégias na busca de energias alternativas, inovação nas formas de geração e armazenamento de energia.

Harjanne *et al.* (2019), relacionam o uso de fontes energéticas em desacordo com um modelo mais sustentável e renovável às principais consequências de um aquecimento global. Ainda segundo Harjanne *et al.* (2019) a população mais vulneravelmente economicamente irá sofrer mais as consequências de uma desequilíbrio ambiental.

Para Gielen *et al.* (2019), é urgente a necessidade de uma transição energética global para frear o aquecimento global acima de 2° C. Aprimorar os investimentos em fontes energéticas com menor potencial de emissões atmosféricas é fundamental para frear o aquecimento global.

Zhang (2018), define que consumidores de energia na atualidade podem se transformar produtores, que podem tanto consumir como também gerarem energia. Segundo Salokhiddinovich (2017), com crescente demanda por recursos energéticos, principalmente o petróleo e o gás natural, tem levado à urgência da segurança energética nos sistemas de segurança nacional e internacional dos países mais ricos.

Segundo Steven Chu (2017), a União Europeia implementou uma política de emissão de carbono, onde os emissores podem negociar licenças de emissão, a fim de fornecer incentivo econômico contínuo para reduzir as emissões.

Hein e Bentgem (1998) já nessa época apontavam para alternativas de substituição aos combustíveis fósseis por fontes alternativas e regenerativas, para a

aplicação e uso como fonte alternativa, como, resíduos da atividade de silvicultura, resíduos da agricultura e plantas de crescimento rápido.

Resíduos madeireiros tendem a possuir menor produção de gases poluentes em relação a combustíveis fósseis, isso garante que além de ser uma fonte energética renovável, também possui menor potencial poluidor. Da mesma forma que resíduos madeireiros os resíduos agrícolas também entram nesse segmento por possuírem menor capacidade poluidora.

2.1.1.1 Energia de biomassa

Energia renovável, geralmente proveniente de resíduos vegetais, tem como característica, baixo custo de aquisição em relação a combustíveis fósseis e menor potencial de emissões atmosféricas, além de ser renovável. Shah *et al.* (2020) apontam a energia de biomassa como uma energia mais limpa, com elevado potencial na redução do *stress* ambiental impulsionando o desenvolvimento econômico com menor impacto ambiental. Irfan *et al.* (2022) apontam para o esforço da Índia em aumentar o consumo de energia de biomassa para superar as crises energéticas internas que a Índia possui.

Herbert e Krishan (2016) apontam a biomassa vegetal principalmente a madeireira como alternativa ambiental, pelo baixo teor de emissão de carbono se comparado aos combustíveis fósseis. Pari *et al.* (2015), destacam que biocombustíveis possuem papel fundamental na substituição de combustíveis fósseis, amenizando e reduzindo o impacto causado por estes tipos de combustíveis. Moraes *et al.* (2017), apontam para a elevada produção de biomassa agrícola no Brasil, porém ainda sem aproveitamento como meio energético. Pierri *et al.* (2016) levantaram dados de lavouras de milho, soja, trigo, cevada, aveia branca e aveia preta, onde observou-se o poder calorífico desses compostos agrícolas e o potencial energético do mesmo. Pang (2019) define a biomassa vegetal como neutralizador de emissões atmosféricas, pois ao mesmo tempo que possui menor potencial de emissões também captura dióxido de carbono do ar atmosférico.

Para Bilgili *et al.* (2016), o consumo de combustíveis de biomassa tende a mitigar e restringir à emissão de CO₂ para à atmosfera, e de forma alternativa para países que necessitam reduzir o índice de emissões de CO₂. Saliendam ainda que o

uso de energia de biomassa pode representar uma alternativa sustentável ao modelo energético dos EUA por exemplo. Muhammad *et al.* (2019) apontam o aumento das emissões de CO₂ devido ao consumo de combustíveis fósseis e aponta a biomassa como uma importante alternativa. Toklu (2017), define a energia de biomassa como a energia renovável mais consumida no mundo, atende pelas necessidades energéticas, incluindo geração de energia elétrica, aquecimento doméstico, abastecimento de veículos, fornecimento de calor para processos industriais e comerciais, proveniente de resíduos de madeira, animais e plantas.

Kumar *et al.* (2015) apontam que a Índia pode aumentar a geração de energia elétrica consideravelmente através da utilização da energia de biomassa, neste país 10,5% da energia produzida é renovável, mas, com apenas 12,83% desse montante em energia de biomassa.

Agamuthu *et al.* (2019), Thrän *et al.* (2020), Jeguirim e Limousy (2017), destacam a importância de desenvolver alternativas ao modelo energético atual, sair de um modelo energético voltado a matrizes pouco sustentáveis, buscando novos meios energéticos. Nesse sentido a energia de biomassa oriunda de residual agroflorestal apresenta-se como uma alternativa ambiental e econômica.

Nessa linha de atuação alguns autores definem a biomassa como uma alternativa importante a alternância do modelo energético atual, com destaque, Yazan *et al.* (2016), Agamuthu *et al.* (2019), Thrän *et al.* (2016), Saul *et al.* (2018), Chang *et al.* (2019).

A agricultura além de produzir alimentos e matérias-primas diversas também possui capacidade de geração de elevada quantidade de resíduos agrícolas, estes resíduos ainda são muito pouco aproveitados para fins energéticos. Proto *et al.* (2021), alertam para a perda e muitas vezes a queima de biomassa agrícola a céu aberto, sem controle de emissões atmosféricas e sem recuperação de energia, sem aproveitar o potencial da biomassa.

A silvicultura e a indústria madeireira são grandes geradores de resíduos, e dessa forma importantes geradores de energia. Resíduos de madeira em geral são importantes fontes caloríficas e energia. A indústria madeireira recebe a madeira dos reflorestamentos (silvicultura) e no processo de manufatura produz a madeira beneficiada e os resíduos. Para Makhirev *et al.* (2019) resíduos e detritos da madeira podem ser aproveitados como combustíveis.

2.1.1.2 Biomassa madeireira

A madeira é um ativo agrícola e industrial fundamental para as atividades econômicas. Existem regiões com muita oferta de madeira, essas regiões são propícias para as mais diversas indústrias de manufatura madeireira. Madeira além de inúmeras utilizações comerciais e industriais também apresenta um importante potencial energético. A produção madeireira é fundamental para diversos segmentos da sociedade, a madeira é um produto que está presente em diversos produtos, como, móveis, construção civil, embarcações. Também é fundamental na indústria química, e matéria prima principal para a produção de celulose, papel, MDF, MDP, compensados, entre outros.

Moomaw *et al.* (2020) apontam a madeira como além de alternativa aos combustíveis fósseis enquanto alternativa energética, as florestas ainda atuam no sequestro de dióxido de carbono. Para Nambiar (2019) a madeira é um recurso natural reciclável e renovável sustentável, ainda define que a demanda por madeira é proporcional conforme o crescimento econômico, como nos casos dos países em desenvolvimento. Juutinen *et al.* (2021) definem as florestas como possuidoras de muitas utilidades para o ser humano, no aspecto ambiental e econômico.

A madeira também é um importante quanto ao aspecto energético, resíduos de madeira podem ser aproveitados como combustíveis para a indústria. Grandes caldeiras são fundamentais na produção de energia nas indústrias, a madeira é uma importante alternativa na substituição de derivados do petróleo. Para Zahraee *et al.* (2020) a energia de biomassa madeireira está crescendo rapidamente devido as questões ambientais, por apresentar melhores resultados com menor índice de emissões atmosféricas e ser renovável.

A maioria das indústrias buscam por caldeiras com fornalhas preparadas para a combustão de biomassa madeireira (lenha, cavaco, serragem, maravalha, cepilho, briquetes, *pellets*), aproveitando ao máximo o poder calorífico e a energia presente nessa massa madeireira. Conforme Veja *et al.* (2019) avaliaram em seu estudo e verificaram a viabilidade do uso de resíduos de espécies distintas de madeira, como, Pinus Pátula, Tectona Grandis e Acacia Mangium, onde foi verificada a viabilidade desses resíduos para fins energéticos. Imagem ilustrativa de serragem de pinus, figura1.

Figura 1 - Serragem de Pinus



Fonte: Autoria Própria (2022)

Cada espécie madeireira apresenta um poder calorífico específico (quantidade de calor gerado por determinado volume/quantidade de energia presente na madeira), e densidade diferentes. Além dessas características mencionadas a madeira é um recurso natural renovável. Harjanne *et al.* (2019) definem como inesgotável o potencial energético da biomassa, pelo seu potencial renovável.

Para Oliveira *et al.* (2019) do montante total de madeira em massa (toras) que entra em processos de manufatura em serrarias, os resíduos equivalem a 58,2%, sendo aproveitado como madeira comercial apenas 41,8% do volume de madeira que entrou no processo. “Estima-se que no Brasil sejam gerados 30 milhões de toneladas de resíduos de madeira anualmente, destes 91% são gerados nas indústrias madeireiras” (RAMOS *et al.* 2018).

A madeira pode ser extraída de dois tipos de fontes distintas, de florestas nativas (matas naturais com manejo florestal autorizado) ou de reflorestamentos que são áreas destinadas ao plantio de madeira e sua comercialização para a aplicação industrial. O modelo de reflorestamento é o indicado para o processo de produção madeireira. Nesse estudo será abordado a biomassa madeireira somente de florestas plantadas (reflorestamentos). Sulaiman *et al.* (2020) apontam que países membros da União Europeia (EU) entre os anos de 1990 e 1997 obtiveram uma redução nas emissões de CO₂, com o uso de energia de biomassa madeireira em substituição aos combustíveis fósseis.

Nosek *et al.* (2016) analisaram a aplicação das cascas de árvores na produção de biomassa, observou que as cascas geram teor maior de cinzas e partículas atmosféricas, porém ainda possuem viabilidade na produção de biomassa.

Sulaiman *et al.* (2018) apontaram que quando adotado o uso da biomassa resultou na redução de emissão de CO₂ nos países membros da União Europeia. Ren *et al.* (2019), definem que a madeira possui também potencial de capturar carbono do meio ambiente quando está em forma de árvore.

Segundo Lof *et al.* (2016), os preços da madeira são determinados pela demanda e pela capacidade dos produtores de cultivar e disponibilizar a madeira no mercado global. O processo de produção de briquetes e *pellets* madeireiros possuem importância no aproveitamento de resíduos madeireiros e agrícolas e sua concentração de massa para emprego futuro como combustível sólido. O processo de compactação da biomassa para a produção de briquetes e *pellets* tem a função de aumentar a densidade do composto, facilita a logística de transporte e manuseio. Segundo Rezaei *et al.* (2016) com o processo de peletização de partículas de madeira aumenta-se a densidade da madeira e reduz a variação de densidade entre as partículas pelo processo de compactação das mesmas.

A produção de biomassa madeireira apresenta elevada demanda de consumo, e abre oportunidade para o desenvolvimento de processos de produção de biomassa mais modernos, com maior volume de automação e busca por produtos com melhores capacidades energéticas aplicados. Derivado da madeira o carvão vegetal apresenta elevado poder calorífico e boa aplicabilidade energética.

2.1.1.3 Biomassa de carvão vegetal

Uma outra forma de uso da biomassa madeireira é na forma de carvão vegetal, resultado do processo de queima industrial de lenha *in natura*. O carvão vegetal é importante nos processos siderúrgicos e também muito utilizado em residências em churrasqueiras. Segundo Froehlich e Moura (2017), “85% do carvão produzido é utilizado nas indústrias, as residências respondem por 9% do consumo e o setor comercial, como pizzarias, padarias e churrasqueiras, 1,5%”, dentro de uma perspectiva brasileira. O carvão vegetal consiste em uma importante biomassa madeireira. Segundo Martins *et al.* (2016) o carvão é obtido por um processo de

carbonização da madeira (pirólise lenta), o Brasil é o maior produtor mundial desse combustível renovável. A norma NBR 8112 (1986) regulamenta o carvão vegetal no Brasil, e a norma NBR 8633 (1984) regulamenta a determinação do poder calorífico do carvão vegetal.

No processo de produção e manuseio o carvão vegetal tende a fragmentar-se gerando partículas com granulometria muito pequenas chamadas de finos de carvão vegetal. Para Martins *et al.* (2016) por ser um biocombustível de estrutura frágil fragmenta-se facilmente, na produção, transporte e estocagem. O manuseio do carvão vegetal facilita essa fragmentação do mesmo, isso gera em torno de 25% de finos de carvão vegetal. Como os finos de carvão vegetal não possuem boa aceitação comercial acaba por tornar-se um passivo ambiental. A aplicação comercial dos finos de carvão vegetal é extremamente interessante para a indústria, onde pode vir transformar um passivo ambiental em importante matéria-prima. Segue imagem representativa de finos de carvão vegetal, figura 2.

Figura 2 - Finos de carvão vegetal



Fonte: Charcoal Brasil (2023)

Para Martins *et al.* (2016) os finos do carvão vegetal podem ser utilizados na produção de briquetes de madeira. A briquetagem desse material com madeira ou outro resíduo vegetal pode apresentar-se como solução para a aplicação desse carvão residual.

Camargo *et al.* (2020) avaliaram três tipos de *pellets* produzidos a partir de serragem de pinus, serragem de eucalipto e finos de carvão vegetal. O primeiro tipo de *pellet* denominado (P1) composto serragem de pinus e 15% de finos de carvão vegetal, o segundo (P2) composto por serragem de pinus e o (P3) composto por

serragem de eucalipto, os *pellets* denominados (P1) apresentou o melhor poder calorífico (20,52 MJ.kg-1).

Finos de carvão vegetal possuem elevada quantidade de energia (poder calorífico), Delatorre *et al.* (2020) avaliaram a aplicação para fins energéticos dos finos de carvão vegetal e observaram que a uma pirólise acima de 800°C (queima industrial do carvão) aproveita melhor o poder calorífico do carvão vegetal. Martins *et al.* (2016), concluíram que finos de carvão vegetal com resíduos de celulose apresentam viabilidade energética na produção de briquetes. Camargo *et al.* (2020) analisaram e obtiveram significativos resultados na aplicação de finos de carvão vegetal juntamente com serragem madeireira na produção de *pellets* para fins energéticos, com destaque para os *pellets* compostos de serragem de pinus 85% e finos de carvão vegetal 15% (P1) com poder calorífico superior aos demais, conforme tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas de *pellets*, Camargo *et al.* (2020)

Propriedades Físicas <i>Pellets</i>	Unidade	P1	P2	P3
Diâmetro Médio	mm	6.67	6.67	6.66
Comprimento médio	mm	14.41	11.23	16.15
Comprimento máximo	mm	26.06	20.86	35.12
Comprimento Mínimo	mm	5.55	6.74	6.41
Densidade	Kg/m ³	660.6	645.6	675.0
Resistência Mecânica	%	96.73	95.91	98.83
Poder Calorífico	MJ.kg -1	20,52	20.25	20.16

Fonte: Camargo *et al.* (2020)

2.2 Produção de briquetes e *pellets*

Para Lauri *et al.* (2017) a produção e a utilização de biomassa para fins energéticos têm aumentado gradativamente, diversos produtos à base de biomassa manufaturados e residuais são empregados como alternativas energéticas. A relação do quantitativo de energia por volume é um problema que necessita de solução, pois em maneira geral a biomassa madeireira tende a apresentar-se muito volumosa, como exemplo a serragem, maravalha e cavaco, e esse volume não necessariamente está relacionado com volume energético.

Sharma *et al.* (2020) apontam para a biomassa residual como alternativa como energia renovável, porém apresentam desvantagens, como, alto teor de umidade, alto

volume (baixa densidade) e baixo poder calorífico devido à baixa densidade. Segundo Silva *et al.* (2020) em alguns processos de manufatura madeireira o desperdício de madeira pode ser de até 70%, isso é muito comum em serrarias, onde esse quantitativo pode ser residual em serragem, maravalha e costaneiras.

O potencial energético de uma biomassa madeireira está relacionado com o poder calorífico específico de cada madeira, ou seja, a capacidade dessa madeira gerar calor. Aspectos físicos como umidade e níveis de contaminantes também são fatores determinantes no potencial energético de cada elemento constituinte dos biocombustíveis, principalmente dos residuais madeireiros como a serragem e a maravalha.

Nones, *et al.* (2014) avaliam a viabilidade da produção de briquetes através de resíduos lenhosos e observaram que existe sim a viabilidade de produção em larga escala quando existe oferta de madeira. Combustíveis derivados de madeira têm ganhado significativo espaço perante a busca por alternativas a combustíveis fósseis, mais precisamente ao petróleo e o carvão mineral. Em eventos e conferências climáticas em todo o planeta ações para substituição desses combustíveis estão sendo tratadas.

Garcia *et al.* (2015), com a conferência do clima da ONU em 2015 “COP21”, acordos de sugestão da substituição de combustíveis fósseis por combustíveis renováveis, como os *pellets* madeireiros, apontando que o Brasil tem potencial para tornar-se um grande exportador desse biocombustível renovável. Na busca por alternativas ao carvão mineral os compactados de biomassa madeireira briquetes e *pellets* podem ser uma importante alternativa, podem ser utilizados diretamente nos processos de geração de eletricidade em substituição aos combustíveis fósseis. Schlesinger (2018), destaca que 40% da eletricidade do planeta é gerada em usinas movidas a carvão mineral, combustível extremamente poluidor. Para Visser *et al.* (2020) a produção de eletricidade a partir de *pellets* de madeira possui potencial elevado para o cumprimento das metas climáticas. Garcia *et al.* (2013) apontam para os *pellets* de madeira com menor potencial poluidor e menor custo em relação ao petróleo. Além dessas características Garcia *et al.* (2013) também definem que os *pellets* madeireiros são produzidos a partir de serragem, maravalhas, aparas, cavacos, galhos de madeira.

Jonsson e Rinaldi (2017) destacam o aumento do consumo de *pellets* de madeira pelos países membros da União Europeia com novas metas de emissão de

gases atmosféricos, para a implementação de consumo de biocombustíveis, consumo que deve aumentar ainda mais nos próximos anos, podendo até mesmo dobrar o consumo entre 2015 e 2030, porém a União Europeia não possui toda essa capacidade produtiva. Rússia, Estados Unidos e Canadá emergem como os principais fornecedores. Segundo Pradhan *et al.* (2018) com a crescente demanda por *pellets* de madeira como bioenergia, aliado ao viés sustentável, levou a muitos produtores por produzir *pellets* de biomassa residual.

Dale *et al.* (2017) afirma que a produção de briquetes e *pellets* de madeira apresenta crescimento das exportações de *pellets* pelos Estados Unidos, cresceram do ano 2000 até 2015 chegando a total de 4,6 milhões de toneladas, 98% dessas exportações são para a Europa para substituir o uso do carvão mineral em usinas de geração de energia. Nunes *et al.* (2016) aponta para o mercado em desenvolvimento de *pellets* madeireiro em Portugal, com indústria em fase inicial de implantação, já é observável o potencial de crescimento.

A produção de briquetes e *pellets* tem significativa importância quando a utilização de resíduos de origem vegetal e agrícola, para a realidade brasileira esses resíduos tornam-se importantes alternativas mediante o elevado volume produzido. Conforme Oliveira *et al.* (2017), 41,2 % da matriz energética brasileira é voltada para fontes renováveis, sendo 8,2% de biomassa florestal e agrícola.

2.2.1 Características técnicas para a produção de *pellets* e briquetes

Alguns aspectos técnicos devem ser avaliados na produção de briquetes e *pellets* madeireiros, assim como em qualquer processo de manufatura essas variáveis tornam-se indispensáveis para a produção desses compostos de biomassa florestal. A planta de produção deve estar adequada a produzir briquetes e *pellets* dentro desses aspectos técnicos. O fator umidade é uma variável fundamental nos processos de manufatura de produtos processados, o teor de umidade pode ser fundamental em relação a resistência e decomposição biológica de matéria orgânica, no caso da biomassa madeireira.

Oliveira *et al.* (2017), analisou em laboratório a granulometria da biomassa residual de madeira de *pinus. sp* para a produção de briquetes, a umidade foi ajustada em laboratório foi 12%, sendo está a faixa considerada ideal para fabricação de

briquetes, processo de briquetagem foi realizado em briquetadeira laboratorial a uma temperatura de 120 °C e 140 kgf.cm⁻² de pressão.

Outra variável que necessita de atenção é em relação a densidade aparente e específica dos compostos briquetes e *pellets* madeireiros. Conforme Oliveira *et al.* (2017) a densidade aparente é obtida através da equação: $dap = Mi/V$, onde: dap = Densidade aparente (g.cm⁻³); Mi = Massa inicial (g); V = Volume individual (cm³) que compreende o volume de cada unidade de *pellet*, nesse teste específico a densidade aparente foi de aparente de 1.218 kg.m⁻³. Para Wu *et al.* (2011) o teor de umidade dos pellets deve ficar em torno de 8% e densidade aparente superior aos 600 kg/m³.

O potencial de geração de calor em combustão também conhecido como poder calorífico da biomassa é um fator fundamental para a produção de qualquer combustível através de biomassa, isso é necessário para verificar a viabilidade energética da biomassa. Quanto mais energético o combustível, melhor seu aproveitamento na indústria. Silva *et al.* (2015) avaliou o potencial da madeira de Eucalipto *bentharii*, avaliou que esta espécie possui poder calorífico ideal para fins energéticos.

Júnior *et al.* (2021) avaliaram que o uso de carvão vegetal na composição de briquetes de serragem de madeira de *S. parahyba var amazonicum*, melhoram as características específicas dos briquetes. Onde foi analisado que a proporção de 50% serragem e 50% carvão apresentaram os melhores resultados.

Ajimoto *et al.* (2019), concluíram que a mistura de partículas de carvão de *Idigbo (Terminlia ivoneris)* com serragem de madeira de pinus (*Pinus caribaea*) juntamente com cascas de mandioca gelatinizada, foi observado que com o aumento do teor de carvão também ocorreu o aumento do teor de carbono fixo, aumentando o poder calorífico dos briquetes.

Para Santana *et al.* (2021) o uso de resíduos lignocelulósicos para melhorar a qualidade física, química e mecânica de pellets destinados a uso industrial, esses pellets foram desenvolvidos a partir de resíduos de soja, resíduos de sorgo, pó de arroz, bagaço de cana-de-açúcar de eucalipto, serragem de pinus e finos de carvão. Na composição com cana-de-açúcar os resultados foram satisfatórios em termos de resistência e poder calorífico.

Outro fator a ser analisado na produção de briquetes de madeira é o fator composição, além do resíduo madeireiro é fundamental a inserção de outro composto (biomassa) para garantir a qualidade do composto em produção. Para Martins *et al.*

(2016) após analisar a aplicação de finos de carvão vegetal em briquetes verificou a viabilidade de aplicação desse residual de carvão vegetal na composição de briquetes com amido como aglutinante e resíduo celulósico da indústria de celulose e papel.

Outro fator relevante na produção de um biocombustível sólido a partir de biomassa é a secagem desse, essa secagem pode ocorrer antes ou após a produção desse. Porém a secagem garante a redução do teor úmido do briquete ou *pellet*, ou seja, a redução da água presente no composto. Para Martins *et al.* (2016) a produção de briquetes com finos de carvão vegetal apresentou melhores resultados com secagem ao sol, embora seja um processo com demanda maior tempo em relação a secagem em estufas industriais, com secagem ao sol apresentou maior resistência mecânica.

Para a produção de *pellets* e briquetes é fundamental o processo de manufatura que transformar a biomassa (serragem) em elementos maiores e com maior densidade (*pellets* e briquetes). Esse processo ocorre por meio de prensas mecânicas e hidráulicas conforme o próximo tópico.

Em termos gerais os *pellets* apresentam dimensões médias de 16 mm de comprimento e 6 mm de diâmetro (padrão usual no Brasil), que está próximo a Norma Internacional (ISO 17225-2). Já os briquetes possuem dimensões superiores a 50 mm, conforme a norma sueca SS 187120 (Swedish Standards – Padrões Suecos), os briquetes possuem comprimento igual ou superior a 100 mm, e diâmetro igual ou superior a 25 mm, ambos os processos são conseguidos através de processos de extrusão industrial. Apesar de apresentarem dimensões padrão existem normas internacionais, a europeia CEN/TS (14961), norte-americana (EUA PFI) e a norma internacional ISO 17225-2, para definição dessas dimensões, e as características básicas que os definem. Para o desenvolvimento desta pesquisa será utilizada a norma internacional ISO 17225-2.

No Brasil existem normas específicas para normatizar *pellets*, a norma NBR 17.030 (2022) para *pellets*, porém em âmbito internacional os *pellets* são normalizados por normas internacionais, dentre elas a norma ISO 17225-2, que normatiza o padrão de pellets para comercialização.

O diâmetro dos *pellets* tem variação entre 6,0 e 8,0 mm, , teor de umidade próximo a 10%, teor de cinzas variando entre 0,7 e 1,2% e poder calorífico próximo a 16,5 MJ¹. Conforme Silva *et al.* (2015), Oliveira *et al.* (2017), a norma ISO 17225-2 e a Norma NBR 17030 (2022) para definir os parâmetros de projeto será considerado

que o equipamento aglutinador (*pellets* e briquetes) , porém destaca-se que a umidade (% de água) é um fator que facilita o processo de aglutinação, reconhecendo ainda que no processo de compactação será gerado significativa quantidade de calor residual de processo, e que este calor facilita a vaporização de água durante o processo de aglutinação/densificação, portanto a matéria-prima poderá ser recebida com uma variação de 3% de umidade acima do padrão de 10%, porém na maioria de plantas de produção de *pellets* e briquetes é necessário um processo de secagem da biomassa para garantir o percentual ideal de umidade.

Esse equipamento vai demandar de um sistema de moagem ou refino das partículas madeiras (serragem, maravalha) e de carvão vegetal (finos de carvão vegetal). O equipamento vai receber as matérias-primas já previamente secas (% de umidade dentro dos parâmetros de processo). A escolha do modelo de processo de prensagem estará diretamente relacionado aos requisitos de processo.

2.2.2 Norma ABNT NBR 17.030

O Brasil agora possui uma norma técnica de regulamentação técnica voltada para a regulação de especificações de *pellets* combustível. Trata-se da norma ABNT NBR- 17.030 (2022), que está em vigor para normalizar e regulamentar a produção e especificação técnica de *pellets*.

Está Norma especifica os termos e definições aplicados a *pellets* e os métodos de ensaio para *pellets* produzidos a partir de matérias-primas diversas, para aplicação comercial, residencial e no setor industrial, destinados ao uso energético ou ainda como material sanitário (ABNT NBR 17030:2022).

A produção de *pellets* no Brasil agora deverá estar adequada a norma nacional, a qual estabelece análises técnicas para a produção de *pellets* no Brasil. A norma ABNT NBR 17.030 (2022) define as fórmulas para calcular o diâmetro e comprimento médio de *pellets*, conforme norma ABNT NBR 17.030 (2022).

$$Dm = \frac{\sum Dt}{20}$$

Onde:

Dm é o diâmetro médio, expresso em milímetros (mm);

Dt é a soma dos diâmetros totais dos 20 *pellets* medidos (incluindo os *pellets* com comprimento acima de 40 mm), expressa em mm.

$$Lm = \frac{\sum Lt}{nt}$$

Onde:

Lm é o comprimento médio, expresso em milímetros (mm);

Lt é a soma dos comprimentos totais de todos os *pellets* (incluindo os *pellets* com comprimento acima de 40 mm);

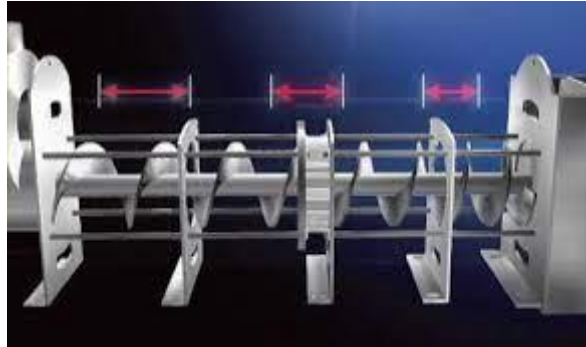
nt é o número total de *pellets* medidos.

2.3 Equipamentos

Para a produção de biomassa madeireira em forma de briquetes e *pellets* muitos equipamentos já foram desenvolvidos e destes vários já estão sendo comercializados. Muitas soluções são desenvolvidas visando obter as melhores soluções para o mercado de biomassa. O processo de produção de briquetes e *pellets*, pode ocorrer por vários meios e processos de produção. Vários são os modelos de equipamentos encontrados no mercado, embora cada um possui sua particularidade e características básicas de processo, bem como a busca por modelos que otimizem a produção apresenta-se de extrema importância tecnológica. Várias empresas produzem esses equipamentos para o mercado nacional e internacional, porém apesar do mercado apresentar alguns modelos para a produção de briquetes e *pellets* ainda é considerada pequena a produção desses produtos em relação ao quantitativo total de biomassa madeireira destinada a biomassa combustível.

Academicamente é apresentado o modelo de prensagem por rosca sem fim para o processo para prensagem de biomassa residual, como, serragem, cepilho e maravalha. Orisaley et al. (2019), analisaram o uso de prensa extrusora na produção de briquetes de biomassa. Bako et al. (2020) avaliaram o uso de prensagem por rosca parafuso (rosca sem fim) no processo de prensagem e extração de óleo residual. Na sequência um modelo esquemático de prensagem por rosca sem fim, a esquerda é alimentada a biomassa com elos de rosca mais espaçados, a direita os espaços tendem a reduzir, onde vai ocorrendo a compactação, conforme figura 3:

Figura 3 - Esquema de prensagem por rosca sem fim



Fonte Braswold Engenharia (2022)

A produção de combustíveis sólidos compactados tais como *pellets* e briquetes necessitam de equipamentos que efetuem a prensagem e compactação dos mesmos, esse processo garante a densificação da biomassa e consequentemente redução do volume da massa e concentração de energia. Souza *et al.* (2015) apresentam processo de extração de óleo de sementes de andirobeira por processo de prensagem por rosca sem fim com resultados satisfatórios.

Para Quirino e Brito (1991) a rosca sem fim pode ser utilizada no processo de prensagem para briquetagem de resíduos lignocelulósicos. A estrutura para essa prensagem pode ser de várias formas, por meio de prensas hidráulicas, rosca sem fim e sistemas de prensagem automatizados. O processo de compactação de *pellets* e briquetes é a aglomeração de pequenas partículas em partículas maiores por meio de um processo mecânico com combinação de umidade, calor e pressão.

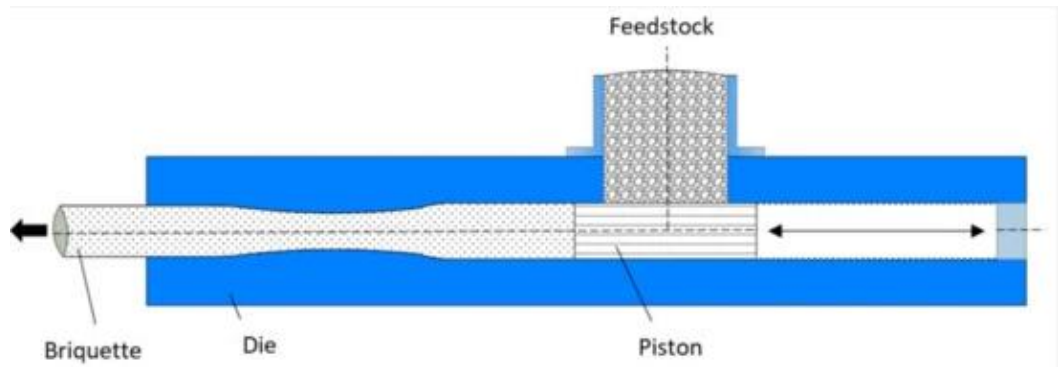
Quirino (1991) em análise observou que extrusoras de rosca e pistão mecânico trabalham com biomassa na faixa de 10-12% de umidade, já as extrusoras de pistão hidráulico tendem aceitar biomassa com umidade entre 18-20%.

Cada sistema de prensagem e compactação possui sua particularidade, sistemas de prensagem hidráulica e por rosca sem fim são sistemas mais tradicionais e mais usuais, são sistemas mais utilizados em processos de prensagem de biomassa combustível.

Os sistemas de prensagem por prensas de acionamento hidráulico são amplamente utilizados, esse processo se dá mediante a pressurização de um sistema composto por bomba hidráulica e dutos com fluido (óleo) no interior, que por meio da pressurização acionam um pistão hidráulico que gera uma força resultante sobre a massa a ser prensada. Esse tipo de prensa possui robustez de operação, pode ser utilizada em processos de operação manual ou automatizado. Marreiro *et al.* (2021)

apresentam processos de prensagem de biomassa para obtenção de combustível, com destaque a prensagem por pistão hidráulico, sistema composto por um pistão de carga no sentido horizontal e alimentação no sentido descendente na vertical, conforme figura 4.

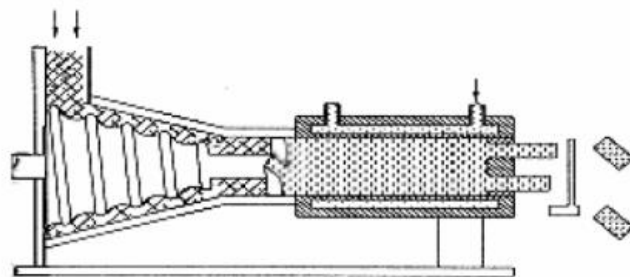
Figura 4 - Modelo de Prensa com Pistão Hidráulico



Fonte: Marreiro et al. (2021)

Outro modelo apresentado foi a de rosca sem fim, muito empregado em processos de prensagem. Segundo Oliveira (2020) esse sistema possui semelhança com as marombas utilizadas na indústria cerâmica. Esse processo possui uma rosca cônica, que alimenta uma matriz mecânica de compactação de biomassa, o processo de alimentação de biomassas para compactação ocorre no sentido vertical descendente, conforme pode ser observado na figura 5.

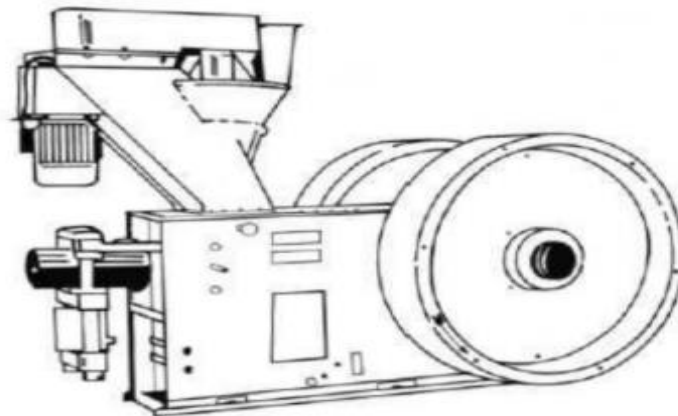
Figura 5 - Modelo de Prensa por Rosca Sem Fim



Fonte: Oliveira (2020)

Quirino (1991) diferencia um modelo de pelletizador de outro, o modelo de pistão mecânico utiliza de um dispositivo mecânico ligado a um grande volante, ou seja, é um dispositivo (pistão mecânico) de acionamento mecânico acionado por duas rodas tracionas por meio de correias de transmissão, que por sua vez compacta o material por meio da força de cone, conforme disposto na figura 6.

Figura 6 - Prensa extrusora de pistão mecânico



Fonte: Quirino (2001) apud Zorzan *et al.* (2011)

Ferreira (1999) desenvolveu nas oficinas de testes os processos de fabricação dos componentes do sistema de fabricação de pastilhas combustíveis através do sistema de dupla prensagem. Resultando no equipamento com punção inferior fixo, mas sendo flutuante, consegue-se o chamado duplo efeito, ou seja, graus idênticos de compactação, tanto na região superior, como também na região inferior da pastilha, evitando-se assim que as pastilhas fiquem cônicas após a sinterização.

Frodeson *et al.* (2018), analisaram a compactação de vários tipos de biomassa em um mesmo equipamento peletizador, e observou-se que existem variações no combustível sólido (biomassa) por conta das características do produto compactado, independente do equipamento compactador (peletizador) de biomassa.

No sistema de adequação de novos produtos para desenvolver processos as ideias e inovações se fazem necessárias. Magalhães *et al.* (2017), desenvolveu um sistema para briquetagem de resíduo de Pupunha, o processo consiste basicamente nas etapas de secagem e moagem do resíduo, e compactação do material residual.

Rocha (2019), desenvolver briquetes com casca de pinhão-manso por meio do processo de briquetagem por prensas extrusora. Bhattacharya *et al.* (2006), no Brasil o processo de briquetagem utiliza-se de briquetadeiras de pistão mecânico de dois fabricantes, que a comercializam no mercado nacional. Prensas briquetadeiras extrusoras, que possuem maior flexibilidade em relação aos tamanhos de cavacos utilizados nos briquetes com formatos variados e não apenas cilíndricos também são utilizados.

Magalhães *et al.* (2019), demonstrou o uso de prensas com sistema de prensagem semi-manual na prensagem de biomassa residual de madeira de Maçaranduba e resíduo de carvão vegetal.

Em relação aos processos de fabricação de briquetes e *pellets* além das publicações existentes tem-se ainda algumas patentes de equipamentos e processos desenvolvidos para a produção desses biocombustíveis. Alguns desses produtos já estão sob o registro de patentes que garantem a seus desenvolvedores o direito sobre seus desenvolvimentos.

Qianglong (2014), (CN201420788431U) desenvolveu um processo para a obtenção de carvão vegetal com alguns aglutinantes como celulose nano cristalina, fibrilas nano cristalinas, bentonita e acetato de polivinila. Oresund (1986), (EP85302827A) desenvolveu um modelo de prensagem por meio de roda de alimentação. Ashby (2008), (US7765922B2) desenvolveu um compactador portátil de fácil portabilidade para compactação de biomassa. A patente da empresa Harbin Hangfei (CN2011204720906U), (2011), desenvolveu um sistema de prensagem hidráulica para biomassa e massa orgânica em geral.

Todo e qualquer equipamento passa pelo processo de desenvolvimento, o desenvolvimento de um novo produto. O desenvolvimento de novos produtos compactadores (briquetadores e peletizadores) necessitam seguir etapas específicas, e de ferramentas específicas para auxiliar o processo de desenvolvimento. Essas etapas serão elencadas no próximo tópico.

2.4 Modelos de referência para desenvolvimento de novos produtos

Quando uma empresa lança no mercado um produto novo toda estrutura de gestão da empresa está envolvida, no nível estratégico que compreende a diretoria da organização que estuda e avalia o mercado, o nível tático que compreende a gerência que faz uma interface com os setores de desenvolvimento, inovação e produção dos novos produtos.

Para Cheng e Filho (2007), o sucesso no processo de desenvolvimento de produto é fundamental para que o produto a ser desenvolvido seja competitivo em relação a seus concorrentes no mercado.

No mundo globalizado a concorrência entre produtos está cada vez mais acirrada, de tal modo que detalhes no processo de desenvolvimento de produtos

podem ser o diferencial em relação ao sucesso de um produto em detrimento de outro produto. Deste a concepção conceitual este produto deve ser pensado para suprir necessidades.

Cooper (2019) apresenta três fatores de sucesso no processo de desenvolvimento de novos produtos. Os impulsionadores de sucesso, que explicam o sucesso de projetos de novos produtos, sendo uma abordagem mais tática. Os impulsionadores de sucesso no nível de negócios, sendo estes fatores organizacionais e estratégicos. E os sistemas e métodos que a empresa possui para gerenciar o desenvolvimento de novos produtos.

Na busca por tecnologias alinhadas ao conceito de modernidade e de sustentabilidade muitos produtos são criados, sejam estes novos a partir de novos projetos e conceitos, ou seja, por adaptação de produtos já existentes que estão ficando com sua funcionalidade obsoleta. Pessoas e empresas buscam se adaptar em busca de produtos mais funcionais e que tenham uma boa relação custo benefício. Desta forma os investimentos em desenvolvimento e inovação se faz presente em organizações sejam em indústrias, universidades e centros de tecnologia e desenvolvimento.

Para Kazemi *et al.* (2016) a inovação é uma forma de desenvolver um novo produto por meio de uma ideia ou conceito de produto pré-existente, adaptar, ajustar melhorar um produto já desenvolvido. Inovar significa desenvolver algo melhor, agregar uma melhoria a um produto

Segundo Kahn (2018) a inovação deve ser definida como, resultado, processo e mentalidade, que aborda e a internalização da inovação pelo público alvo. Dewwes *et al.* (2011) definem o processo de inovação como um encontro entre o psíquico e o econômico. As boas ideias tendem a tornar-se invenção, ou seja, uma alteração conceitual de paradigma que leva a geração ou adaptação de algo.

Segundo Toledo *et al.* (2008) o processo de desenvolvimento de um produto é um processo crítico para as empresas e a análise do desempenho deste processo pode ser avaliado em função dos resultados que são obtidos, em termos de sucesso ou não sucesso, do referido produto desenvolvido. Em termos gerais um produto de sucesso é um produto aceito no mercado.

Michels e Ferreira (2013) apontam que as organizações visam lucro e a vantagem competitiva, por isso buscam inovar em seus projetos. Machado e Toledo

(2006) já apontavam para o desenvolvimento de novos produtos como um diferencial competitivo entre organizações.

Para Beuren *et al.* (2009) o desenvolvimento de produtos tornou-se um fator de concorrência entre empresas, com impacto direto nos custos, satisfação dos clientes e vantagem competitiva.

No processo de desenvolvimento de produtos se faz necessário o segmento de etapas, cada etapa tem importância no desenvolvimento do referido produto. Mascarenhas *et al.* (2021) elencaram para o desenvolvimento de produtos é necessário seguir etapas para o desenvolvimento de produtos com hardware e software para desenvolvimento de produtos. Dessa forma se faz necessário a gestão do processo de desenvolvimento do produto, gerir as etapas para mitigar qualquer falha de desenvolvimento do produto.

Nos processos de criação de novos produtos a adoção de modelos de referência seguindo a abordagem de alguns autores pode ser uma estratégia auxiliar para esquematizar e organizar as ideias dos desenvolvedores. Modelos como de Rozenfeld *et al.* (2006) e Pahl *et al.* (2005) podem auxiliar no desenvolvimento de novos produtos.

Para Campos e Ribeiro (2011) os modelos de referência são ferramentas necessárias para desenvolver um novo produto, tem como objetivo melhorar a participação dos membros do projeto, desenvolver o fluxo de informação, a diminuição do tempo de desenvolvimento, reduzir os custos do produto, avaliar e aumentar as chances de sucesso do produto.

Modelo de referência trata-se de uma representação gráfica ou escrita (textual), ferramenta elementar base para um PDP (projeto de desenvolvimento de produtos). Para Rozenfeld *et al.* (2006) a partir de modelo genérico é possível desenvolver um modelo específico para a empresa. Barbalho e Rozenfeld (2013) definem modelo de referência como as diretrizes, procedimentos e os critérios de decisão para o sucesso no Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP).

A utilização de um modelo de referência vem a auxiliar os desenvolvedores de produtos em seus PDPs, na busca pelas necessidades do mercado e das pessoas. Vários são os modelos de referência a serem utilizados, muitos autores abordam essa temática voltada para a área de desenvolvimento de produtos.

Paula (2004) apresentou um modelo que foi desenvolvido voltado para a indústria farmacêutica. O modelo consiste em: oferecer uma visão comum do PDP,

permite a visão integrada do processo, com destaque para os elementos, estratégias e atividades. Com estrutura operacional do PDP dividida em: macro etapas, fases, atividades e pacotes de trabalho. Com as fases identifica-se e seleciona as oportunidades de negócios, geração e seleção de conceito. Para Campos e Ribeiro (2011) o “detalhamento e seleção do conceito detalhado, desenvolvimento e análise do produto e processo, execução da produção e do plano de *marketing*, conclusão do PDP”.

Clark & Fujimoto (1991) abordaram o desenvolvimento de produtos como um processo de negócios. Griffin (1997) elenca o desenvolvimento de produtos alinhado com um processo de *benchmarking* voltado a novas práticas. Rozenfeld *et al.* (2006) define as necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, como elementos que levam ao desenvolvimento de novos produtos. Francisco *et al.* (2020), definem o “*Design For Six Sigma (DFSS)*”, na aplicação ao desenvolvimento de novos produtos para buscar a convergência em relação as especificações dos clientes.

Para Mundium *et al.* (2002) modelo de referência é constituído em conceitos técnicos e ferramentas, que embasam atividade, informação, recurso e organização, conforme figura 7.

Figura 7 - Elemento de um Modelo de Referência

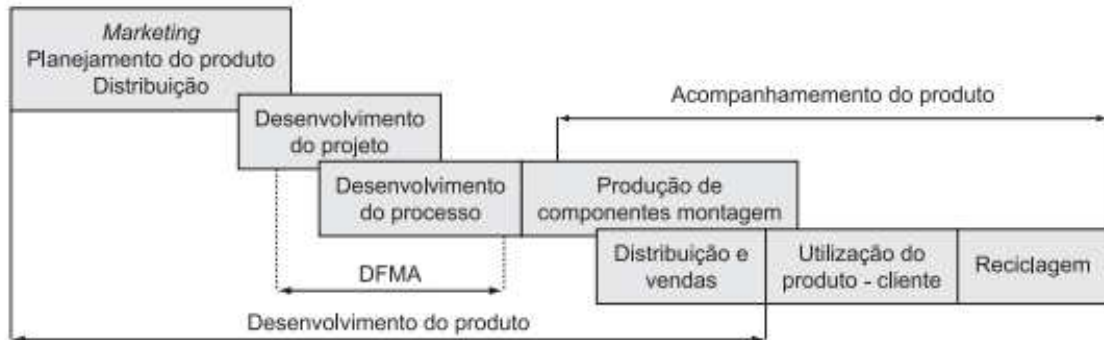


Fonte: Mundium *et al.* (2002)

Pahl *et al.* (2005) define um modelo de referência para PDP no qual destaca aspectos importantes para o processo de implantação da engenharia simultânea. Esse processo consiste basicamente na antecipação e intersecção do início das fases do processo para uma redução do prazo, e para o desenvolvimento de um novo produto e de seus custos de projeto. Onde na engenharia simultânea as partes da empresa caminham em paralelo, onde as equipes de desenvolvimento de produtos

devem ser constituídas não somente por pessoas do projeto, mas por pessoas que compõe outros departamentos da empresa. Equipes de desenvolvimento, *marketing* e produção devem trabalhar em parceria no processo de desenvolvimento de produtos, conforme figura 8.

Figura 8 - Modelo de referência para o PDP



Fonte: Pahl et al. (2005)

No desenvolvimento de um PDP é importante analisar as possibilidades e as alternativas para o desenvolvimento do projeto. Critérios de análise são necessários, como, custo de implementação, custo total do projeto, tempo de construção, manutenção, disponibilidade comercial de peças e componentes, logística e layout do produto.

Rozenfeld et al. (2006), utiliza-se de um modelo gráfico para representar o modelo de referência, esse esquema é amplamente utilizado nos processos de desenvolvimento, elencando as etapas de projetos a serem seguidas, desde o planejamento estratégico de produto até o acompanhamento do produto após sua comercialização, conforme o esquema ilustrativo da figura 9.

Figura 9 - Modelo de referência para PDP



Fonte: Rozenfeld et al. (2006)

Seguindo o modelo de Rozenfeld *et al.* (2006), o pré-desenvolvimento, é uma etapa que se faz o planejamento do projeto. Esse modelo é embasado em “*Stage Gate*” de Cooper (1993), também defendido por Edgett (2015).

Rozenfeld *et al.* (2006) apresentam seu modelo de referência dividido em macro fases. No pré-desenvolvimento desenvolve-se o planejamento estratégico do produto, ou seja, nessa etapa ocorre o planejamento de todo o processo, relaciona o objeto da empresa e o portfólio que a empresa tem de produtos desenvolvidos. Na macro fase de desenvolvimento os autores elencam as etapas, sendo estas: a) Projeto informacional: com informações coletadas na macro fase de pré-desenvolvimento, e define as características técnicas do produto no atendimento do consumidor; b) Projeto conceitual: *benchmarking*, com representação realizada por meio de desenhos ou esquemas podendo ser manuais ou com auxílio computacional, a seleção de informações baseadas em métodos adequados às necessidades do público alvo previamente definidas; c) Projeto detalhado: finaliza todas as especificações do produto, nesta fase define-se as especificações finais do produto quanto aos desenhos digitais ou manuais, tolerância, planejamento de processo, suporte ao produto, embalagens, entre outros; d) Preparação para produção: manufatura em atendimento as fases anteriores do projeto, busca de recursos para fabricação, equipamento piloto, otimização do processo de produção, manutenção e recursos humanos; e) Lançamento do produto: produto colocado no mercado, resguardado ao cliente serviços de atendimento e assistência técnica, nessa etapa também é trabalhado o *marketing* do produto. Após essas macros fases ocorre as etapas de acompanhamento do produto, bem como avaliar a necessidade de descontinuação do produto.

Desta forma o modelo de referência de Rozenfeld *et al.* (2006) pode ser base para metodologia de projetos acadêmicos de desenvolvimento de produtos. Dentro do desenvolvimento de um projeto de produto, mesmo que no aspecto conceitual, ou diretamente relacionado ao projeto conceitual de produto.

Além do modelo de Rozeneld *et al.* (2006) outros autores também abordam modelos de referência. Penso (2003) desenvolveu um modelo elaborado a partir de diretrizes que orientam o processo de desenvolvimento de novos produtos, sendo estas: forma de apresentação do modelo, para indicar o início, meio e fim, desdobramento do PDP, as entradas e saídas do PDP, a utilização de ferramentas de

apoio no PDP, avaliação dos resultados obtidos ao final de cada fase do PDP, ao final a apresentação dos resultados do PDP, com documentação do processo.

Rozenfeld *et al.* (2006) definem alguns processos relacionados com o desenvolvimento de produtos, apontam para a integração do desenvolvimento de um produto com funções de outras áreas de atuação industrial, como, planejamento estratégico, monitoramento de mercado, vendas, atendimento a clientes, assistência técnica, produção, suprimentos, distribuição, P&D. Desta forma o desenvolvimento de um produto deve ser pensado de forma integrada e voltada para a construção da melhor alternativa possível, entregando um produto funcional e viável.

Dentre os fatores mais impactantes em um projeto está o custo de projeto, esse fator além de impactante ao ponto de vista de projeto, também possui fator limitante para a empresa que adquirir o equipamento. O critério custo é um dos mais importantes dentro de um PDP. Rostova e Geras'kin (2019), apontam para a política de custos de uma organização que reduzem o risco industrial e a política de gestão para maximização de custos de produção.

Layout e estética de um projeto também é outro fator de impacto no desenvolvimento, isso está diretamente atrelado a custos e a funcionalidade do equipamento. Além de fatores estéticos a disposição de equipamentos e subprocessos são fundamentais a funcionalidade total do equipamento.

Belaud *et al.* (2019) definem que o produto deve ter fases de desenvolvimento de projetos voltados para questões básicas, como, projeto, *layout*, comercialização, operação e renovação do produto. Pérez-Gosende *et al.* (2021) definem que o arranjo físico é um dos principais fatores em termos de importância na definição de um projeto, envolve estratégias operacionais e está diretamente relacionada a custos de produção. Suhardi *et al.* (2019) definem que em um projeto o *layout* das instalações é um fator muito importante no desempenho de uma organização empresarial para apoiar o processo de produção enxuto e limpo.

Dentro de um processo de manufatura industrial (um processo de transformação industrial) é importante para um Sistema interno de produção. Zhang *et al.* (2022) definem a importância da logística linear em um sistema produtivo.

2.4.1 Projeto Conceitual

No processo de desenvolvimento de produto é necessário analisar todo o processo de concepção do produto, para isso é necessário desenvolver um projeto conceitual do produto, e assistir todas as etapas do processo de desenvolvimento do novo produto. O Projeto Conceitual é uma etapa muito importante do PDP, é a etapa onde ocorre a criação, a concepção do produto. Para Baxter (2000) esta etapa representa baixo custo de investimento financeiro, e potencializa o retorno de investimento.

Para Rozenfeld *et al.* (2006) o projeto conceitual compreende a segunda fase da macro fase de desenvolvimento, estando entre o projeto informacional e o projeto detalhado. Esta fase tem por finalidade gerar soluções capazes de satisfazer as necessidades dos clientes e proporcionar base para o projeto detalhado do produto.

Dentre as etapas de desenvolvimento de um projeto de equipamento tem-se o projeto conceitual, que é uma etapa dentro do processo de criação, para Rozenfeld *et al.* (2006) essa é a etapa de definir as funções do produto, e na modelagem funcional do produto ou equipamento, desenvolvimento do modelo de forma abstrata. Para Rozenfeld *et al.* (2006) no projeto conceitual é definido a arquitetura do produto e esboça-se a estrutura funcional do produto, com as demais etapas do processo de criação. Nessa etapa se define as funções total e parcial do produto. Rozenfeld *et al.* (2006), o Projeto Conceitual define de forma estruturada um “*benchmarking*, com representação realizada por meio de desenhos ou esquemas podendo ser manuais ou com auxílio computacional”, nessa etapa também se busca selecionar informações baseadas em métodos adequados e às necessidades do público alvo, que devem ser previamente definidas.

Para Rozenfeld *et al.* (2006) o Projeto Conceitual é a etapa que a equipe de projeto “busca, criação, representação e seleção de soluções”. Onde na busca por soluções já existentes se observa produtos concorrentes tanto em produtos comerciais como em propostas acadêmicas (patentes e artigos). No processo de criação não existe restrições, desde que direcionadas as necessidades do projeto. A representação deve ser feita por meio de esquemas, croquis, fluxogramas e desenhos que podem ser computacionais ou manuais. A seleção de soluções é feita com base métodos apropriados, nesse caso podendo ser utilizado método de apoio multicritério ou outras ferramentas de desenvolvimento.

Dentro do processo de buscas Griffin (1997) elenca o desenvolvimento de produtos alinhado com um processo de *benchmarking*, buscar conhecer as melhores estratégias e oportunidades de mercado. Mundium *et al.* (2002) define que a estratégia conceitual como elemento de organização de um PDP.

Rozenfeld *et al.* (2006) a etapa do projeto conceitual serve para modelar o produto, auxiliando o time de projeto a elencar e descrever o produto em um nível abstrato, definição das funções de um produto, apresentar as entradas e saídas dentro da estrutura da função total do produto, o sinal, material e energia. Dessa forma o Projeto Conceitual é apresentado como “Desenvolver princípios de solução para as funções do produto”. Para Pagan *et al.* (2013) o projeto conceitual está relacionado com busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto de produto, definindo inicialmente a função global do produto e em seguida desdobrar em várias estruturas as funções do produto.

Uma ferramenta muito utilizada em projetos conceituais e que será utilizada nesse PDP será a matriz morfológica, sendo esta é uma matriz onde as colunas e as linhas representam os vários parâmetros de solução de um problema.

Rozenfeld *et al.* (2006) define a matriz morfológica como uma importante ferramenta para realizar a combinação de princípios de solução individuais em princípios de soluções totais para o produto, ela tem como característica dispor de forma simultânea as funções que compõem a estrutura funcional do produto, e as diversas possibilidades de solução para estas. Sua construção é baseada em gerar o maior número possível de princípios de solução para cada uma das funções parciais do projeto conceitual.

2.5 Método de apoio multicritério

Nos processos de desenvolvimento se faz muitas vezes necessária a utilização de um método de apoio multicritério (MCDA), (MCDM) ou para auxílio nas tomadas de decisões. Os métodos multicritérios são técnicas de apoio a tomada de decisão, na solução de incertezas e de problemas conflitantes. Muitos são os métodos existentes, dentre os muitos métodos de apoio multicritério destacam-se o AHP, o MAUT, que são métodos mais simples e fácil aplicação, por isso tem uso mais popularizado e possuem alta aplicação acadêmica. No desenvolvimento e na modelagem funcional de novos produtos deve-se buscar ferramentas técnicas para

apoio em decisões técnicas. Dentre os métodos multicritérios existem aqueles que são compensatórios e os métodos não compensatórios.

Para Albuquerque *et al.* (2023), o processo de decisão nos projetos é um elemento importante na gestão de portfólio de projetos. Deve-se avaliar também essa proposta na implementação de estratégias e implementação no desenvolvimento de novos produtos.

Jiménez *et al.* (2021) definem os métodos de apoio multicritério como ferramentas de implementação de estratégias na proposta de regeneração urbana em vários níveis hierárquicos e gerando taxas de regeneração sustentáveis e satisfatórios. Marovic *et al.* (2021) definem que os métodos multicritérios como alternativa de minimizar incertezas e alcançar os melhores desempenhos no desenvolvimento e na gestão de projetos.

Os métodos de apoio multicritério são amplamente utilizados em segmentos diversos, sendo utilizados e aplicados na esfera pública, acadêmica e organizacional. Para Németh *et al.* (2019) métodos de apoio multicritério estão sendo amplamente utilizados em tomadas de decisão em saúde. Para Németh *et al.* (2019) definem também que a escolha do método a ser utilizado depende da aplicação específica que será submetido o método de apoio a tomada de decisão. Kellner *et al.* (2019) apresentam uma metodologia para seleção de fornecedores levando em consideração riscos e sustentabilidade, com base em um modelo de otimização multiobjetivo.

Existem vários métodos de apoio multicritério, esses podem ser escolhidos conforme a necessidade ou a aplicabilidade de cada situação de análise e escolha. Németh *et al.* (2019) definem que a escolha do método deve ser conforme o critério de escolha e seleção.

Cinelli *et al.* (2022) apresentaram um modelo para seleção de métodos de apoio multicritério baseados e instalados em um *software* de seleção de métodos de Análise de Decisão com Múltiplos Critérios (MCDA) o MCDA-MSS, esse *software* orientação para escolha do melhor método multicritério.

Dezert *et al.* (2020) apresentam um novo método de apoio multicritério (MCDM) o Método SPOTIS, que é livre de reversão de classificação como apontados pelos autores, isso se dá devido a ordem de seleção ser apresentada a partir de uma matriz de pontuação de problemas.

Albuquerque *et al.* (2023), define o método a AHP (*Analytical Hierarchy Process*) como um método de suporte e análise de critérios financeiros e não-

financeiros. Afolayan *et al.* (2020) apresenta o método AHP (como uma ferramenta “estratégia MCDM” amplamente utilizada, defende a eficácia do método mesmo em incertezas e imprecisões. Marovic *et al.* (2021) tem como objetivo mostra que o processo de hierarquia analítica (AHP) em conjunto com o PROMETHEE no auxílio ao desenvolvimento de projetos na área de construção civil. Para Datoli *et al.* (2020) as técnicas de tomada de decisão (MCDM) aplicadas a tomada de decisão em compras públicas com base nos métodos PROMETHEE, AHP, MAUT e DEA.

Garcia-Garcia (2022) define que a tomada de decisão com vários critérios (MCDM) requer a identificação de uma solução mais sustentável na gestão de resíduos sólidos e os desafios conflitantes como as bases métricas, ambientais, econômicas e sociais, além da base técnica, e define os métodos *Analytic Hierarchy Process* (AHP), a *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) como as melhores alternativas de análise e escolha. Amorocho-Daza *et al.* (2019) apresenta o método MAUT como um método para auxiliar na seleção de alternativas para o desenvolvimento de projetos e infraestrutura em abastecimento de água potável. Irlan *et al.* (2022) utilizaram-se dos métodos AHP e TOPSIS para classificar as soluções e alternativas para as barreiras que impossibilitam o uso de energia de biomassa, como, as barreiras econômicas, financeiras, políticas e culturais, em relação ao uso de biomassa como energia.

Haruna *et al.* (2021) apontam o Processo de Rede Analítica (ANP) como um método para identificação de fatores relacionados a construção sustentável, redução de energia empregada na construção sustentável e a redução de emissão de carbono.

Feitosa e Costa (2021) apresentam o método MACBETH (*Measuring Attractiveness by Categorical Based Evaluation Technique*) como alternativa para avaliar as quatorze alternativas de energia mais utilizados no Brasil para a produção de hidrogênio para o setor automotivo, onde foram avaliados os aspectos financeiros, ambientais e sociais, como resultado e aporte do MACBETH foi observado a energia elétrica fotovoltaica como a melhor alternativa.

Akran *et al.* (2020) definem o método ELECTRE como a composição de uma família de técnicas de análise de decisão multicritério que possui precisão na solução de alternativas, eliminando alternativas suprimidas por outras alternativas.

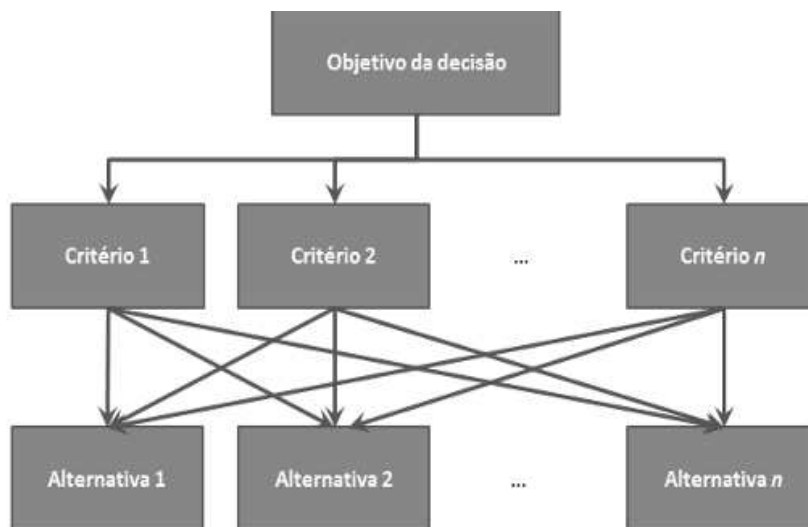
2.5.1 Método AHP (*Analytic Hierchy Process*)

Dentre os principais métodos de apoio multicritério, destaca-se pela sua aplicação o método, AHP. O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), desenvolvido pelo matemático americano Tomas L. Saaty na década de 70. Trata-se de um método de escolha por alternativas, é um dos métodos de apoio multicritério mais utilizados.

Para Santos e Viagi (2009) a aplicação do método AHP ocorre em três etapas, sendo, a primeira a estruturação do problema em níveis hierárquicos, primeiro nível composto pelos objetivos, segundo nível dos critérios, terceiro nível os sub-critérios e no último nível as alternativas, a segunda etapa é a definição de prioridades e a terceira etapa a consistência.

A estruturação do método AHP se inicia com a estruturação em níveis hierárquicos, conforme aponta Marins et al. (2009), e esquema representado pela figura 10:

Figura 10 - Modelo de estruturação em níveis hierárquicos



Fonte: Saaty. Modelo Hierárquico AHP (1991)

A segunda etapa é a definição dos pesos e prioridades, nessa etapa conforme aponta Saaty (1991) e Saaty (2008) são calculados os pesos dos impactos dos elementos sobre o nível mais baixo e sobre os objetivos gerais, onde os elementos devem ser comparados paritariamente no mesmo nível de hierarquia. A terceira etapa é a são avaliadas as alternativas, e comparadas com os valores referentes as prioridades. A partir dessa análise é possível diagnosticar a melhor alternativa.

Da Silva *et al.* (2020) escolheu o método AHP para definir a priorização de ações em inovação e serviços. O método AHP é amplamente utilizado em problemas

técnicos que envolvam custos. Silva *et al.* (2020) avaliaram a ampla aplicação do método AHP em pesquisas científicas brasileiras e dissertações e teses em programas de pós-graduação *stricto sensu* em universidades brasileiras. Kahn e Ali (2020) definem o método AHP como um método de aplicação em soluções complexas e importantes, com pesquisas e importantes publicações, com destaque para a Turquia como um país que possui elevado número de publicações referente a problemas solucionados com auxílio do método AHP.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritas as etapas da metodologia desenvolvida para a obtenção dos requisitos básicos de projeto, para o desenvolvimento conceitual do equipamento para a produção de briquetes e *pellets* de resíduos da indústria madeireira (serragem e maravalha), com fins de carvão vegetal.

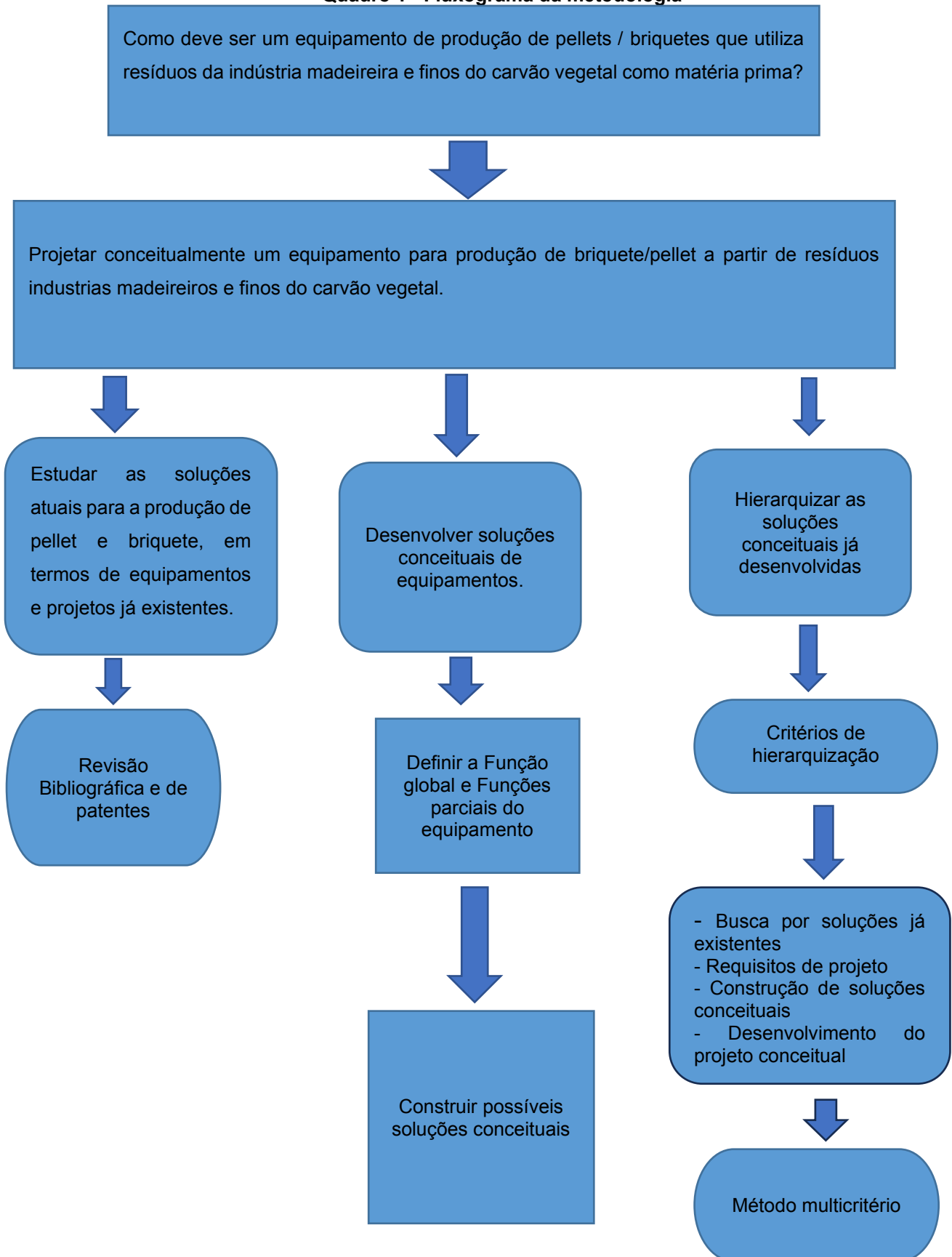
Para desenvolvimento do projeto conceitual foi utilizado o modelo de referência desenvolvido por Rozenfeld *et al.* (2006), esse modelo foi escolhido por ser um modelo didático e amplamente utilizado em desenvolvimentos no meio acadêmico. Rozenfeld *et al.* (2006) definem que o projeto conceitual consiste na modelagem funcional do produto ou equipamento, desenvolvimento do modelo de forma abstrata, partindo de uma visão geral do produto. Permitir que o produto seja representado por meio de suas funções, suas funcionalidades. Na sequência é apresentado o modelo genérico de PDP apresentado por Rozenfeld *et al.* (2006), conforme figura 11.

Figura 11 - Modelo genérico de PDP



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

Conforme Rozenfeld *et al.* (2006) o Projeto Conceitual é uma fase dentro de um processo de criação, onde a equipe de projeto “relacionam-se com a busca, criação, representação e seleção de soluções”. A metodologia está melhor detalhada no quadro de desenvolvimento de objetivos, conforme quadro 1.

Quadro 1 - Fluxograma da metodologia

Fonte: Autoria própria (2023)

3.1 Busca por soluções já existentes

Para início de projeto é necessário o levantamento das soluções já existentes no segmento acadêmico e científico. Para Rozenfeld *et al.* (2006) “a busca por soluções já existentes pode feita pela observação de produtos concorrentes ou similares descritos em livros, artigos, catálogos e bases de dados de patentes ou mesmo por *benchmarking*”.

O levantamento de informações pertinentes relacionadas a temática auxilia na formação da estrutura central da proposta de pesquisa acadêmica no desenvolvimento do projeto conceitual de produto. Nessa etapa é fundamental obter informações de fontes confiáveis para desenvolver os requisitos básicos do projeto. A busca de soluções já existentes é necessária para se conhecer o que é encontrado no mercado, e no meio acadêmico e dentre as soluções já encontradas buscar diferenciar o produto em desenvolvimento e criar assim um modelo que se diferencie aos demais equipamentos que já atendam nessa necessidade, nesse caso de proposta algo que processe resíduos madeireiros com fins de carvão vegetal.

3.1.1 Revisão Bibliográfica e de patentes

Para o desenvolvimento dessa pesquisa foi adotado de uma revisão bibliográfica sistêmica (RBS) pelo *Methodi Ordinatio*, buscando publicações relacionadas a temática de trabalho. A revisão de literatura, com um criterioso trabalho de consulta e seleção dos artigos consultados. Na etapa de revisão bibliográfica também foi levantado os registros de patentes de equipamentos já existentes utilizados na produção de *pellets* e briquetes, visto que o desenvolvimento se dará em um produto inédito.

O processo de revisão bibliográfica busca elementos de aporte acadêmico com referência a energia, biomassa e biocombustíveis, biomassa madeireira, biocombustíveis na substituição dos combustíveis fósseis, projetos de equipamentos peletizadores e briquetadores existentes, e desenvolvimento de novos produtos, com levantamento de todas as etapas do projeto. Para essa revisão literal foi priorizado artigos de periódicos das bases do Scielo e *Science Direct*, priorizando os periódicos com JCR, exceto algumas exceções que tratam de documentos de órgãos reguladores e periódicos de bases nacionais com algumas informações específicas

do contexto nacional. O portal de periódicos Capes também foi amplamente consultado.

Nessa etapa foram levantadas patentes relacionadas a finalidade do equipamento e equipamento similares com registros de patentes, foi utilizado para essa busca a base do INPI.

3.2 Estabelecer requisitos de projeto

Conforme elencado na busca por meio de literatura acadêmica, patentes e no mercado é avaliado a importância desse projeto e sua relevância acadêmica. Na etapa do projeto conceitual é trabalhado as potencialidades do produto, bem como suas funções técnicas, elencando as funções estruturais, funções operativas, funções de transformação e funções adicionais. O produto deve atender as necessidades para qual foi desenvolvido, nesse caso a produção de *pellets* a partir de serragem madeireira e finos de carvão vegetal. Nessa fase, a de modelagem do produto deve-se analisar as especificações do produto, identificar as funções do produto, estabelecer a função global do produto, estabelecer estruturas funcionais alternativas e selecionar a estrutura funcional.

3.2.1 Caracterização técnica

É um produto com finalidade de produzir briquetes ou *pellets* através de serragem de madeira e finos de carvão vegetal, para melhor desenvolver essa etapa no desenvolvimento do equipamento será utilizado de um quadro para definir as principais características técnicas do equipamento. Será adotado o modelo de quadro de Warell (2001) apud Rozenfeld *et al.* (2006).

Na concepção do projeto conceitual deve-se avaliar os parâmetros de processo da planta de peletização, para que a partir desses parâmetros se consiga atender a requisitos fundamentais na produção do equipamento. Para isso foi buscado junto a literatura e a normas técnicas vigentes subsídios para o desenvolvimento do projeto conceitual, mediante os requisitos necessários para isso. O produto final a ser produzido pelo equipamento deve estar em acordo com as normas nacionais consultadas, ou seja, atender aos parâmetros dos *pellets* conforme a norma nacional NBR 17030 (2022).

O desenvolvimento do projeto conceitual da planta de produção deve atender a essa demanda específica de produção, desenvolvendo assim um produto com aceitação no mercado internacional.

3.2.2 Representação dos requisitos do projeto

Construir um diagrama gráfico para desenvolver as análises referente a processos inerentes ao equipamento, como, peneiramento e seleção, moagem, mistura, secagem e compactação das biomassas. Criar alternativas e soluções para convergir com as melhores escolhas para o projeto.

3.3 Construção de soluções conceituais para a produção de briquetes e *pellets*

Em relação ao efeito do projeto, em suas funcionalidades do projeto o mesmo deverá abordar a compactação de biomassas residuais de processos industriais, e a flexibilização das matérias-primas empregadas. Para definir o efeito do produto (equipamento) foram elencados os efeitos físicos e os portadores de efeito do projeto, ou seja, como será o processo de produção de *pellets* e briquetes e o processo empregado pelo equipamento para isto. Nessa etapa será utilizado de um princípio de solução para efeitos. Efeitos dos processos de compactação que é o processo principal do equipamento, porém processos auxiliares como moagem ou refino para padronizar a granulometria das matérias-primas, e um processo pós-compactação para manter as propriedades físicas e químicas adquiridas no processo.

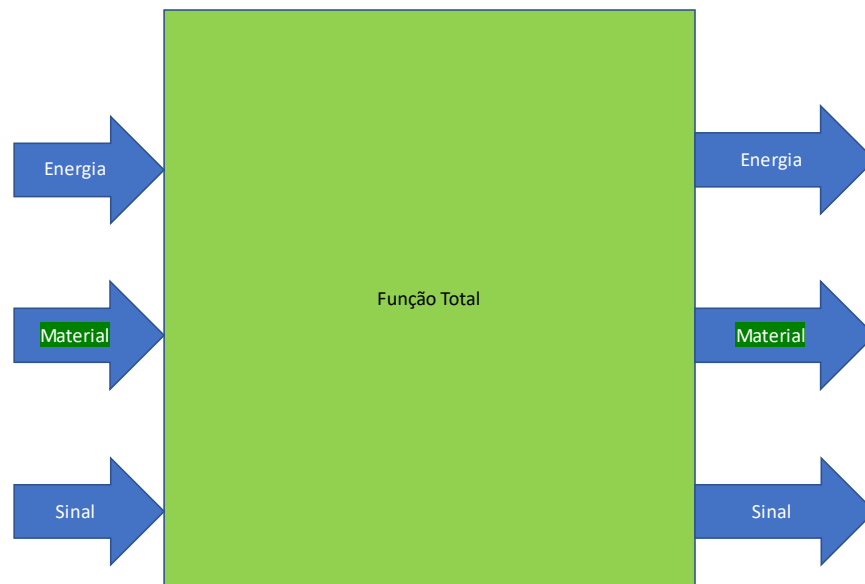
3.3.1 Função global do equipamento

A planta terá como função produzir biocombustível compactado e densificado, com alto poder calorífico e elevada densidade. O produto deve atender as necessidades para qual foi desenvolvido, nesse caso a produção de *pellets* a partir de serragem madeireira e finos de carvão vegetal. Nessa fase, a de modelagem do produto deve-se analisar as especificações do projeto conceitual, identificar as funções do produto, estabelecer estruturas funcionais alternativas e selecionar a estrutura funcional, ou seja, estabelecer a função global do produto. Para isso nessa

etapa será definido a função macro do produto, apresentada por Rozenfeld *et al.* (2006).

No projeto conceitual é fundamental desenvolver as funções do produto, iniciando pela função global, estabelecer as funções do produto, estabelecer as entradas e saídas (sinal, massa e energia), estabelecer os estados das principais entradas e saídas, definir os principais fluxos e elaborar o diagrama de blocos referente as principais entradas e saídas do sistema. A função total do produto consiste em analisar os requisitos funcionais do produto, conforme a representação esquemática contida na figura 12.

Figura 12 - Representação esquemática da função total



Fonte: Rozelfeld *et al.* (2006)

Para definição da função total do produto um roteiro deve ser seguido, conforme apontou Gomes Ferreira (1997) apud Rozenfeld *et al.* (2006):

- 1- Funções do produto. Nesse caso o produto em questão é destinado a produção de pellets de serragem madeireira e finos de carvão vegetal.
- 2- Definir as entradas e saídas (representação esquemática da função total).
- 3- Estabelecer os estados das principais entradas e saídas.
- 4- Definir os principais fluxos (entrada, processo, saída)
- 5- Definir a função total em termos de um verbo+ substantivo.
- 6- Elaborar diagrama de blocos.

3.3.2 Funções parciais

Para o desenvolvimento do projeto conceitual é necessário esboçar uma estrutura de funções pelo desdobramento de um dos processos existentes, e elencar no contexto a conversão do fluxo principal do sistema (entradas e saídas), descrever todas as entradas no equipamento peletizador, descrever todos os processos do equipamento, e apontar todas as saídas do equipamento.

Para melhor definir as funções parciais do produto será utilizada uma outra ferramenta, denominada de Matriz Morfológica, indicada por Rozenfeld *et al.* (2006) que consiste em um levantamento morfológico de inúmeras possibilidades já definidas previamente.

3.3.3 Construir possíveis soluções conceituais

A matriz morfológica, é uma ferramenta que vai possibilitar realizar uma visualização das funcionalidades do produto, e as possíveis alternativas de solução. Além da análise morfológica foram estabelecidas combinações de possibilidades morfológicas para definir as possíveis soluções do projeto, adoção de critérios de escolha levando em consideração que o equipamento tem como função global atender a demanda do mercado de energia e ser um produto sustentável.

3.4 Hierarquizar as soluções conceituais

O desenvolvimento do PDP necessita desenvolvimento de critérios para amparar as escolhas, hierarquizar as soluções ou as melhores escolhas para o projeto. No desenvolvimento do projeto após esboçar as possibilidades na matriz morfológica é necessário buscar ou fazer uso de ferramentas de apoio técnico que auxiliem na decisão de escolha. Para auxiliar a tomada de decisão será utilizado um método de apoio multicritério, que é ferramenta técnica que auxilia nas tomadas de decisões. Ajudam a resolver conflitos na hora de realizar escolhas, mesmo escolhas de maior nível de complexidade, e em altos níveis de incerteza. Para auxiliar nos critérios de escolhas dos componentes do equipamento foi utilizado o método de apoio multicritério a decisão AHP. Trata-se de uma ferramenta simples, muito utilizada em projetos, utiliza-se de alternativas é descrita por uma lista de atributos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Trata-se de um projeto conceitual de uma planta de produção que processe concomitantemente serragem de pinus ou eucalipto, inclusive ambas juntas, com fins de carvão vegetal. Nesse capítulo estão elencados os resultados do trabalho de pesquisa.

4.1 Desenvolvimento do projeto conceitual

O projeto conceitual está relacionado com a criação e a concepção do produto, é uma etapa de baixo investimento pautada em levantamento de informações e descrição do produto com auxílio de diagramas e fluxogramas. No projeto conceitual é levantado as etapas de desenvolvimento a serem seguidas, definido a função global do produto, realizado o levantamento das soluções (produtos similares) já presentes no mercado, seleção de soluções e também de patentes registradas, definição de etapas e partes do produto ou processo, descrição técnica do produto e o uso de ferramentas específica de auxílio as escolhas no desenvolvimento de produto, como a matriz morfológica.

Nessa etapa da pesquisa será utilizado de fluxogramas que representam o modelamento do produto, nesse caso as descrições de cada etapa do processo de produção de *pellets*. Será feito o uso da matriz morfológica, conforme modelo de referência descrito por Rozenfeld *et al.* (2006), e a aplicação do método AHP. No modelamento do projeto conceitual é definido os sistemas, subsistemas e componentes. O sistema desse projeto é a planta de produção, os subsistemas são os equipamentos auxiliares que compõem cada parte da planta, e os componentes que formam esses equipamentos. Cada subsistema elencado na matriz morfológica será avaliado em custo, performance operacional e disponibilidade técnica.

4.1.1 Sistemas, subsistemas e componentes

Seguindo o modelo de referência para PDP e o modelo de projeto conceitual proposto por Rozenfeld *et al.* (2006) devem ser pensados os SSCs (sistemas, subsistemas e componentes) na estruturação funcional do produto. Na planta de produção deve pensar no seu sistema principal, ou seja, na planta produtiva de

produção de *pellets* e briquetes, como o sistema. Os componentes são os equipamentos que compõem, os subsistemas (estocagem de matéria-prima, classificador de matéria-prima, uniformizador de matéria-prima, ajustador de umidade, misturador de matéria-prima, dosagem de matéria-prima, sistema de densificação). E os componentes que são os componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos que compõem cada subsistemas.

4.2 Diferencial da planta de produção

Pensar na junção de dois biocombustíveis residuais em processos de produção torna-se uma excelente alternativa, ainda quando um agrega mais ao outro, dessa forma os finos de carvão vegetal agregam ao potencial energético de briquetes e *pellets* com aumento do poder calórico dos mesmos. No mercado ainda não se encontra algo voltado para esse tipo de processamento, nada que possibilite ainda processar em escala industrial uma composição de serragem com finos de carvão vegetal. Essa planta de produção possibilitará agregar características físicas e químicas de ambos biocombustíveis (serragem e finos de carvão vegetal), otimizando esses no seu aspecto energético.

O carvão vegetal é um produto de origem madeireira e possui elevado poder calorífico, juntamente com a madeira em forma de serragem tem potencial de formar um biocombustível densificado em forma de briquetes ou *pellets* de qualidade. Porém para isso a etapa de mistura dessas biomassas é fundamental na proposta da planta de produção, para deixar uniforme a mistura entre finos de carvão vegetal e serragem madeireira.

Conforme análises de Camargo *et al.* (2020), Martins *et al.* (2016) e Delatorre *et al.* (2020) os finos de carvão vegetal possuem elevado poder calorífico e podem ser aproveitados para fins energéticos. Camargo *et al.* (2020) e Martins *et al.* (2016) avaliaram este recurso (finos de carvão vegetal) na composição de *pellets* e briquetes juntamente com outros biocombustíveis a exemplo a serragem madeireira. Mas a não existência de um equipamento para esse fim dificulta a produção de um biocombustível que agregue a serragem de madeira com finos de carvão vegetal.

Dessa forma a proposta dessa planta de produção é voltada para a junção da serragem madeireira e os finos de carvão vegetal na produção de biocombustíveis densificados, a etapa de mistura das duas biomassas é uma etapa fundamental da

proposta, pois desenvolver um subproduto com dois tipos de biomassas residuais e com diferenças físico/químico aparentes é algo que merece destaque. O diferencial dessa planta de produção será a possibilidade de operar com duas formas distintas de biomassa, ou seja, a serragem madeireira e os finos de carvão vegetal. Outros equipamentos presentes no mercado são desenvolvidos apenas para a operação e compactação de serragem madeireira, essa planta é voltada para a possibilidade de também processar finos de carvão vegetal com a serragem de pinus ou eucalipto. Na figura 13 é apresentado *pellets* compostos por serragem e finos de carvão vegetal, por Camargo *et al.* (2020).

Figura 13 - *Pellets* composto de finos de carvão vegetal e serragem



Fonte: Camargo *et al.* (2020)

4.3 Parâmetros de processo de produção

Na produção de *pellets* ou briquetes não deve apenas pensar, no aspecto produção, mas sim também na adequação da produção conforme normas e a aceitação de mercado. A proposta dessa planta objetiva a configuração de uma linha de produção que atenda às características de produção conforme as normas, a Norma Brasileira Regulamentadora NBR 17.030 (2022) e a Norma Internacional ISO 17225-2, para produção de *pellets*.

Por isso algumas etapas do processo de produção devem estar devidamente configuradas para atender a essa demanda produtiva. Para desenvolvimento do projeto é necessário a adequação da produção de *pellets* conforme as normas já

mencionadas. Nesse sentido alguns parâmetros de processo devem ser devidamente controlados, e a planta de produção devidamente configurada para atender aos requisitos finais do produto.

O processo secagem deve ser devidamente calibrado e ajustado para manter a umidade da massa residual (biocombustível) de serragem madeireira e finos de carvão vegetal. A umidade dos *pellets* conforme as normas reguladoras deve ficar em torno de 8% de massa de água, ou seja, um teor seco de aproximadamente 92%. O sistema de secagem deve ser ajustado e possibilitar retirar a biomassa de seu interior com valores ajustados, com uma tolerância máxima de 1% para mais ou para menos. Assim do processo de Secagem a biomassa deve com percentual de umidade entre 7 e 9%. Para isso no equipamento responsável pela secagem será instalado um módulo sensor de umidade e um transmissor de temperatura, para controle de temperatura e umidade.

Em relação a produção deve-se buscar manter uma granulometria específica dentro de um range variável de 0,2 à 2 mm, tanto de serragem como dos finos de carvão vegetal, para isso os processos de classificação e moagem devem ser ajustados e configurados para atender essa demanda, e ser eficiente para garantir uma granulometria dentro do aceite para o processamento e prensagem dessa massa combustível.

O sistema de densificação (prensagem) deve ser ajustado e configurado para produzir um *pellet* com diâmetro de 6 mm, conforme normas já citadas e comprimento superior aos 16 mm, também deve possuir controle de pressão e carga de compactação (prensagem) para produzir um *pellet* com densidade entre 600 – 700 Kg/m³. O componente de densificação deve possuir orifícios ou malha com 6,3 mm para adequar o diâmetro dos *pellets* ao mais próximo possível de 8 mm.

Outra característica técnica da planta produção será poder dosar serragem de madeira, com finos de carvão vegetal, em diferentes níveis de proporção e dosagem, respeitando o limite mínimo de 70% de serragem madeireira, e um percentual máximo de 30% de finos de carvão vegetal, podendo ser alterado essa proporção de projeto após comissionamento da planta produtiva. A produção estimada é de 3 m³/h.

4.4 Soluções presentes no mercado

A empresa denominada de empresa “A” é especializada na produção de equipamentos para produção de briquetes, briquetes esses produzidos por meio de

serragem e outros resíduos florestais e agrícolas. Essa empresa atende o mercado nacional, com grande parte das vendas destinadas a região sul e sudeste do país, onde se encontram muitas empresas do segmento madeireiro. A empresa possui apenas um modelo do produto (equipamento), seu funcionamento se dá por meio do processo de extrusão por uma rosca sem fim, em um processo de prensagem e extrusão do material.

Uma empresa “B” oferece ao mercado brasileiro peletizadoras para serragem com alto potencial produtivo. Nessa linha de produtos trabalha com produtos voltados a biomassa (serragem) e também produtos para a produção de ração peletizada. São equipamentos com processo de peletização por meio de engrenagem atende a demanda dos produtores de *pellets* com a planta completa para *pellets*, com processos de peneiramento, secagem, prensagem e embalagem.

Uma outra empresa que atua no segmento de produção de equipamentos para biomassa é empresa “C”, essa empresa possui em sua linha de produtos equipamentos para a produção completa de briquetes e *pellets*, desde secadores de biomassa a equipamento para a produção completa de biomassa. Os secadores são de dois tipos específicos, os modelos rotativos a gases quentes (calor de combustão) ou de esteira, sendo o modelo rotativo mais utilizado para biomassa. Na linha de equipamentos para produção de biomassa, a linha é completa, conta com equipamentos para a produção de briquetes e *pellets*, em processo de prensagem por rosca no caso dos briquetes e engrenagens para a produção de *pellets*.

A empresa “D” produz briquetadores de biomassa, voltados para o processamento de bagaço de cana, serragem, casca de arroz, fibra de coco, casca de café, entre outros. Suas briquetadores são por pistão mecânico, equipamento voltado para a produção de briquetes em escala industrial.

No processo de produção de briquetes e *pellets* o processo de secagem é fundamental para a produção, algumas empresas são especializadas na produção desse tipo de equipamento. No processo de produção de briquetes e *pellets* é necessário que a matéria-prima (serragem) esteja seca ou com percentual baixo de umidade, nesse sentido o processo de secagem se faz necessário, uma das alternativas mais utilizadas para secagem de serragem quando se demanda de elevada produção são os fornos rotativos. A empresa “E” é especializada na produção desse tipo de equipamento.

A empresa “F” é especializada em máquinas para indústria madeireira, em sua linha de produtos possui produtos para a produção de biomassa, porém é especializada em equipamentos para processar biomassa em forma de cavacos, mas que produzem um equipamento que pode atender a produção de briquetes e pellets, que são as peneiras classificadoras (peneiras vibradoras), que servem para selecionar a biomassa por tamanho e fornos rotativos para a produção de serragem. O quadro 2 elenca a característica de cada fornecedor no mercado nacional e o tipo de sistema que cada um utiliza para atender a demanda de funções parciais do processo de prensagem.

Quadro 2 - Equipamentos e suas características técnicas para produção de briquetes e pellets

Fornecedor	Característica Técnica
Empresa A	Briquetagem por meio do processo de extrusão por uma rosca sem fim
Empresa B	Peletização por meio de engrenagem
Empresa C	Briquetagem por rosca e peletização por engrenagem
Empresa D	Briquetagem por pistão mecânico
Empresa E	Fornecimento de fornos rotativos por secagem de material
Empresa F	Produção de peneiras classificadoras de serragem

Fonte: Autoria própria (2023)

4.5 Patentes relacionadas registradas

Alguns produtos foram desenvolvidos por empresas e outras no meio acadêmico e estão devidamente protegidos por meio potentes, conforme quadro 3:

Quadro 3 - Comparação entre registros de patentes de equipamentos com aplicação similar

Patente	Ano	Equipamento
CN201420788431U	2014	Processo para a obtenção de pellets de carvão vegetal com alguns aglutinantes como celulose nanocristalina
EP85302827A	1986	Modelo de prensagem por meio de roda de alimentação
US7765922B2	2008	Desenvolveu um compactador portátil de fácil portabilidade para compactação de biomassa
CN2011204720906U	2011	Desenvolveu um sistema de prensagem hidráulica para biomassa e massa orgânica em geral

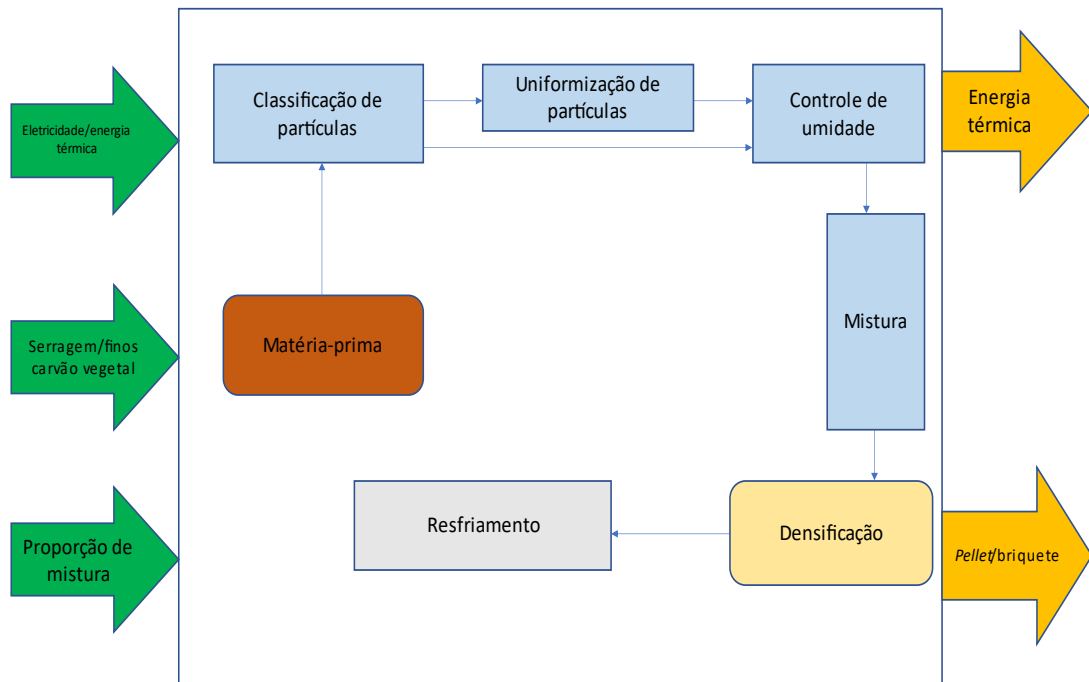
Fonte: INPI (2022)

4.6 Etapas do processo de produção de briquetes e *pellets*

O processo de produção de briquetes e *pellets* inicia-se com o devido tratamento da matéria-prima, ou seja, nesse caso específico a biomassa residual da indústria madeireira em forma de serragem de pinus e eucalipto e da indústria carbonífera os finos de carvão vegetal.

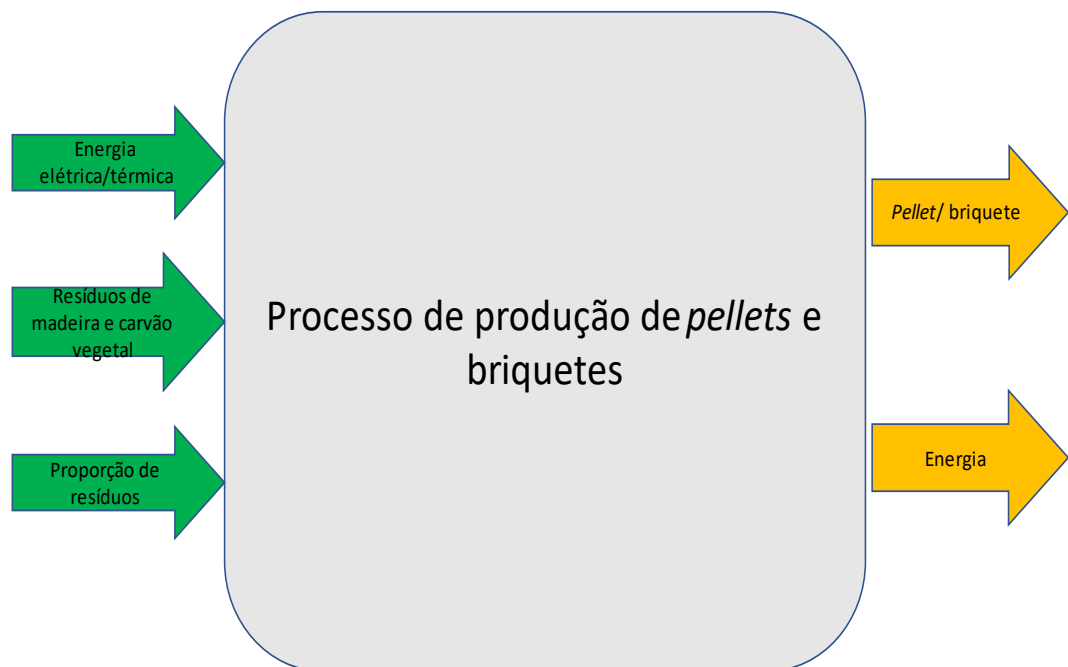
Dentro do processo de desenvolvimento de produtos é importante definir o modelamento funcional, ou seja, definir no equipamento peletizador as entradas e saídas do processo de peletização, conforme figuras 14 e figura 15 a modelagem funcional.

Figura 14 - Modelamento funcional da planta de peletização



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 15 - Modelagem funcional e etapas do processo de peletização.

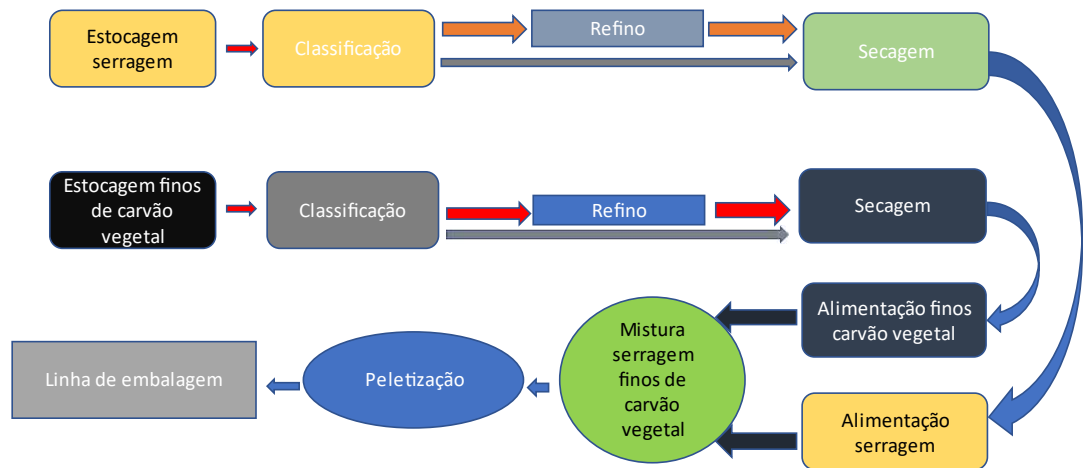


Fonte: Autoria própria (2023)

Na próxima figura (fluxograma das etapas de processo) linhas superiores temos na primeira linha de serragem, iniciando-se com a estocagem de serragem, seguido pela uniformização (classificação de partículas), moagem (refino), secagem. E a linha

abaixo a linha de carvão vegetal (finos), iniciando pela estocagem, seguido pela uniformização (classificação de partículas), moagem (refino), secagem. A terceira linha é constituída pela mistura de serragem e finos de carvão vegetal, compactação (prensagem), e embalagem, conforme figura 16.

Figura 16 - Fluxograma das etapas do processo de produção de *pellets* e briquetes



Fonte: Autoria própria (2023).

Na estrutura desse trabalho foi abordado a produção tanto de briquetes como *pellets*, por serem produtos com processos de produção similares e ambos derivados da madeira. Porém essa proposta de desenvolvimento de novos produtos será voltada para a uma planta de produção de *pellets*, que também pode ser adaptada para produção de briquetes, essa planta deve atender todas as etapas do processo de produção de *pellets*, como, uniformização de biomassa, secagem de biomassa, secagem carvão vegetal, estocagem, câmara de mistura, sistema de compactação, conforme descrição detalha nos subitens.

4.6.1 Estocagem de matérias-primas

O processo de estocagem consiste em armazenar a matéria-prima, seja ela a serragem ou finos de carvão vegetal, desde o recebimento na empresa até o momento do processamento dessa matéria-prima. Algumas formas de estocagem foram selecionadas para a análise das mesmas durante a elaboração da matriz morfológica, conforme a descrição:

- Estocagem a granel em barracão, constitui-se de um sistema simples, onde a matéria-prima (serragem) fica estocada dentro de um barracão fechado, para evitar que a matéria-prima sofra com problemas da umidade do ar e com a precipitação atmosférica.
- Silo suspenso é muito comum nas indústrias madeireiras, esses possuem como característica principal o fato de ficarem suspensos (elevados) em relação ao nível do solo, esse tipo de silo permite que além de proteger a matéria-prima em relação a umidade atmosférica, também protege a matéria-prima da umidade presente no solo, e facilita o carregamento de caminhões que podem entrar em baixo do silo para serem carregados.
- Silo térreo é um tipo de silo que possui característica similares ao silo suspenso, porém este modelo o silo fica a nível do solo, esse modelo de estocagem apresenta o menor custo de projeto e execução em sua construção. Esse tipo de silo permite descarga de caminhão diretamente nele, facilitando o *layout* e logística interna do processo.
- Big Bags é a forma mais simples de estocagem de matéria-prima, pode ser acomodada em espaços pequenos e movidos com facilidade com auxílio de uma empilhadeira, porém apresenta pouca proteção em relação a umidade atmosférica.

4.6.2 Classificação de partículas

O processo de produção de *pellets* ou briquetes inicia-se com o processo de seleção das partículas de serragem por tamanho, ou seja, a granulometria mantida de forma uniforme e padrão para o processo de produção. As partículas que não atenderem ao padrão de granulometria ideal ao processo de produção de *pellets* e briquetes será considerado rejeito ao processo, e será reprocessada em processo de moagem. A serragem deve passar por este processo para garantir a qualidade do *pellet* e briquete a ser produzido nessa etapa de produção. O processo de peneiramento visa remover partículas maiores que a granulometria padrão ao processo de produção. O processo de peneiramento visa manter um padrão de tamanho de partículas para a produção de *pellets* conforme a norma NBR 17030 (2022).

O processo de classificação de matéria-prima tem a função de selecionar as partículas, seja de serragem ou de finos de carvão vegetal, por granulometria,

contaminantes e rejeitos. Alguns tipos de classificadores foram selecionados para análise morfológica, conforme descrição:

- Peneira vibratória, é um equipamento amplamente utilizado em indústrias madeireiras e de celulose e papel (seleção de cavacos), de funcionamento relativamente simples e muito eficiente, pode elevar o custo do projeto em relação a outros tipos de equipamento.
- Peneira rotativa, pode ser uma alternativa em relação a peneira vibratória, possui uma construção simples e atende bem a demanda para seleção de partículas.
- Classificação por ciclone, forças centrífugas de escoamento espiral realizam a separação das partículas.
- Sopradores de ar, o processo de seleção ocorre por meio da densidade das partículas de madeira (serragem de madeira e finos de carvão vegetal).

4.6.3 Uniformização das matérias-primas

O processo de uniformização das matérias-primas (serragem e finos de carvão vegetal) é de fundamental importância, partículas que possuem dimensões superiores ao padrão de processo de compactação devem ser reprocessadas em equipamentos que devem realizar uma espécie de moagem ou refino nas partículas. Esse processo garante redução de perdas no processo de produção e redução no volume final de resíduos do processo, também proporciona que o processo de secagem e compactação tenham melhor eficiência e redução de problemas nesses processos devido a não uniformização das partículas.

Para essa etapa são previamente elencadas alguns tipos de equipamentos que possam compor essa etapa do processo de produção de briquetes e *pellets*. Esses equipamentos são:

- Moinho tipo martelo, equipamento de comum utilização industrial, com fácil aquisição e manutenção.
- Discos refinadores, equipamento utilizado em indústrias de papel e no processo de produção de chapas de MDF.
- Moinho tipo bola, alternativa comum e aplicável por ser uma alternativa com custo de aquisição e manutenção mais acessíveis.
- Moinho por faca rotativa, equipamento utilizado em menor escala em processos industriais.

4.6.4 Controle de umidade

Com a norma NBR 17.030 (2022) definindo os parâmetros de produção de *pellets* fica definido o percentual de umidade em torno de 8% é necessário um processo de secagem para manter isso uniforme, esse processo tanto será aplicado para a serragem madeireira, como também para os finos de carvão vegetal. Muitas são as possibilidades para a obtenção de um sistema e processo de secagem das biomassas, esses serão elencados na matriz morfológica.

O processo de ajuste de umidade é responsável pela retirada do percentual sobressalente de água da serragem e dos finos de carvão vegetal. Alguns sistemas de ajuste de umidade foram selecionados para a matriz morfológica, conforme descrição:

- Forno rotativo por batelada, equipamento extremamente utilizado na indústria, equipamento de funcionamento simples, porém possui capacidade produtiva baixa quando comparada a outros modelos.
- Forno rotativo contínuo, esse tipo de equipamento possui características similares de funcionamento ao forno rotativo por bateladas, porém possui capacidade produtiva elevada devido ao seu processo ser contínuo, onde sempre estará entrando e saindo serragem de forma contínua no processo.
- Forno contínuo por esteira transportadora, esse tipo de equipamento é altamente eficiente, onde a serragem é transportada pelo interior de um forno aquecido por meio de uma esteira transportadora, o aquecimento desse tipo de forno pode ocorrer por vapor da água, resistência elétrica ou calor residual de combustão de algum combustível.
- Forno por resistência elétrica, sistema por batelada onde a fonte geradora de calor é uma resistência elétrica.

4.6.5 Mistura

A proposta do equipamento é produzir um biocombustível particulado e densificado entre matérias-primas residuais de processos de desdobramento madeireiro e de indústrias carboníferas. O processo de mistura das matérias-primas, serragem madeireira e finos de carvão vegetal, esse processo é responsável por garantir uma boa composição de briquetes ou *pellets* a serem produzidos. A mistura

deve atender a uniformização e homogeneizar as partículas de serragem e finos de carvão vegetal.

A câmara de mistura (equipamento misturador) tem a função de garantir a homogeneização da mistura serragem de pinus, serragem eucalipto e finos de carvão vegetal para a produção de *pellets* e serragem de eucalipto, serragem de pinus e finos de carvão vegetal para a produção de briquetes, como elencado já descrito anteriormente. A serragem de pinus como possui uma carga maior de extrativos madeireiros em forma de resina apresenta-se como uma biomassa de maior ligação para a produção de *pellets* que possui dimensões inferiores. A serragem de eucalipto já é amplamente utilizada na produção de briquetes.

A mistura de serragem de madeira com finos é o diferencial desse projeto conceitual, que apresenta uma projeção de equipamento que seja capaz de processar essas duas biomassas, agregando valor ao produto. Além de agregar valor ao produto apresenta-se de forma sustentável por reprocessar resíduos, com elevada capacidade energética e neles agregar valor.

O processo de mistura de matérias-primas no processo serve para homogeneização dos diferentes tipos de produtos, a serragem e os finos de carvão vegetal. Foram selecionados alguns tipos de misturadores para a matriz morfológica, conforme descrição:

- Misturador mecânico por bateladas, sistema de homogeneização e mistura similar a uma betoneira de concreto, com um cilindro composto por barras fixas que atende efetuam a mistura de diferentes matérias-primas, processo por batelada.
- Misturadores por sopradores de ar, sistema que utilizasse de um equipamento fechado, com entradas de ar comprimido, ou sistemas de ventilação de ar que produzem a mistura de diferentes tipos de matérias-primas.
- Misturador rotativo contínuo, processo ao misturador mecânico por bateladas, porém ocorre de forma contínua, possui alta capacidade produtiva, porém alto custo de aquisição e implantação.
- Misturador mecânico tipo agitador por hélices, equipamento com processo de operação por hélices rotativas.

4.6.6 Dosagem matérias-primas

O processo de homogeneização e dosagem de matérias-primas serve para o controle de massa e percentual de cada tipo de matéria-prima no composto (*pellet* ou briquete), em proporção adequada. Foram selecionados alguns modelos de homogeneizadores para a matriz morfológica, conforme descrição:

- Válvula de abertura manual, possui abertura manual e tem a função de liberar devida quantidade de matéria-prima para o processo de compactação.
- Válvula pneumática, processo similar com a abertura de válvula manual, porém nesse caso a abertura é controlada por válvula de instrumento e ar comprimido.
- Dosagem e homogeneização por batelada, processo simples com o processo operacional ocorrendo por batelada, ou seja, com volumes pré definidos nos silos de armazenamento.

4.6.7 Densificação

O sistema ou processo de prensagem é um dos mais importantes no processo de produção de biocombustíveis pastilhados. Sejam estes *pellets* ou briquetes. Esse processo garante a compactação, densificação e modelagem das pastilhas de biomassa (*pellet* e briquete), foram selecionados alguns compactadores para a matriz morfológica, conforme descrição:

- Prensagem por rosca sem fim, sistema de prensagem amplamente utilizado em briquetadores, porém não é um sistema de prensagem muito usual para a produção de *pellets*.
- Prensagem por pistão hidráulico, trata-se de um sistema de prensagem extremamente eficiente, porém como depende de uma unidade hidráulica (bomba ou bombas hidráulicas) o custo de aquisição para projeto elevado.
- Prensagem por sistemas de engrenagens, utiliza-se de um conjunto de engrenagens combinadas para o processo de prensagem, muito aplicado na produção de *pellets*.
- Prensagem por sistema rotativo por rodas, é constituído de duas rodas em giro em sentido contrário compactando a serragem contra uma estrutura de peneira em forma circular, uso exclusivo para a prensagem de *pellets*.

4.7 Matriz morfológica – Critérios de escolha

A matriz morfológica trata-se de uma etapa fundamental de desenvolvimento de um PDP. Na matriz morfológica é utilizado de colunas e linhas para auxiliar na resolução de um problema específico. Colunas são preenchidas com características e as linhas com possibilidades. Rozenfeld *et al.* (2006) apontam a matriz morfológica como uma ferramenta de análise morfológica disponível para auxiliar os critérios de escolha em um PDP, conforme o quadro (matriz morfológica) 4.

Quadro 4 - Portadores de Efeito

	Efeito 1	Efeito 2	Efeito 3	Efeito 4
Estocagem de matéria-prima	Estocagem a granel (barracão)	Silo suspenso	Silo térreo	Estocagem em Big Bags
Classificador de matéria-prima	Peneira vibratória	Peneira rotativa	Ciclone	Sopradores de ar
Uniformizador de matéria-prima	Moinho tipo martelo	Discos refinadores	Moinho tipo bola	Moinho por faca rotativa
Ajustador/controlador de umidade	Forno rotativo por batelada	Forno rotativo contínuo	Forno contínuo por esteira transportadora	Forno aquecido por resistência elétrica
Misturador de diferentes matérias-primas	Misturador mecânico por batelada	Sopradores de ar	Misturador rotativo contínuo	Misturador mecânico tipo agitador por hélices
Dosagem de matérias-primas	Válvula de abertura manual	Válvula pneumática	Sistema de dosagem e homogeneização por batelada	
Sistema de densificação das matérias-primas	Prensagem por rosca sem fim	Prensagem por pistão hidráulico	Prensagem por sistemas de engrenagem	Sistema rotativo por rodas

Fonte: Autoria própria (2022)

4.8 Critérios para escolhas de alternativas

Para a seleção dos equipamentos e componentes para a composição da planta de produção são avaliados alguns fatores importantes, como, custo de aquisição, disponibilidade do equipamento no mercado nacional, manutenção do equipamento e aplicabilidade do equipamento na planta de produção. Para esse projeto conceitual especificamente será avaliado o custo de aquisição de cada equipamento, conforme

consulta a *sites* de fornecedores e revendedores, inclusive importadores. Será considerado a aplicação operacional de cada equipamento conforme sua performance operacional (performance produtiva) após análise da característica técnica de cada equipamento, buscando a melhor produtividade possível na linha de produção, e a disponibilidade técnica do equipamento, que abrange a disponibilidade comercial dos equipamentos no mercado interno (Brasil), e a facilidade de manutenção desses equipamentos.

O fator custo é um dos principais para a escolha do modelo da planta de produção, a proposta da planta deve remeter a algo usual e de construção acessível, por isso cada equipamento a ser adquirido deve ser pensado o custo de aquisição de cada um, para não tornar a planta muito onerosa do ponto de vista financeiro, e haver um equilíbrio entre os custos de aquisição de cada componente.

O aspecto financeiro muitas vezes pode ser um fator limitador na execução de muitos projetos, para evitar qualquer problema a isso relacionado o fator custos será um fator de impacto e relevância na escolha de modelos de equipamentos na composição da planta peletizadora para a produção de biocombustíveis em forma de *pellets* e briquetes.

Embora o fator custos seja um fator relevante na escolha de modelos de equipamentos para compor a planta produtiva, porém este não será o único fator determinante, outros fatores também são fundamentais para o processo de escolha dos equipamentos. Todos os aspectos de escolha de equipamentos devem ser analisados em forma conjunta. O fator operacionalização dos equipamentos e o suporte técnico, relacionado a disponibilidade comercial dos equipamentos, peças, assistência técnica e manutenção, são outros fatores de extrema relevância na montagem da linha de produção de *pellets* ou briquetes, levando em consideração a fácil manutenção de equipamentos e assistência técnica de cada componente da planta produtiva. Por se tratar de um projeto conceitual cada componente deve ser pensado de forma funcional.

Para definir os critérios de escolha, como já mencionado, foi realizada uma busca detalhada em *sites* de fornecedores de equipamentos, os quais para fins éticos serão resguardados nesse trabalho acadêmico. Alguns órgãos que representam produtores de *pellets* e briquetes como ABIPEL (Associação Brasileira das Indústrias de *Pellets*) e ABIB (Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa, *Pellets* e Briquetes) nessa etapa foram levantados os custos de aquisição de cada

equipamento. Também foi avaliado a funcionalidade de cada equipamento, para avaliar a real necessidade e aplicabilidade de cada equipamento na planta de produção, e a partir disso estruturar as possibilidades de aplicação do equipamento na planta, como já mencionado acima. Porém por questão ética não será mencionado os fabricantes e os fornecedores de cada equipamento.

Nessa etapa foram consultadas a ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada), a ABIMAQ (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos para Madeira) e a SINDIMAQ (Sindicato Nacional da Indústria de Máquinas). Foi considerado também a disponibilidade desses equipamentos no comércio, a disponibilidade de peças e componentes, a assistência técnica e a manutenção de equipamentos para a indústria de biomassa madeireira, que aqui nesse trabalho tratamos como disponibilidade técnica.

4.8.1 Critérios de escolha processo de estocagem de matéria-prima

A estocagem a granel é a que possui a melhor relação custo, a estocagem a granel depende apenas de um espaço físico, porém compromete a qualidade das matérias-primas por estar sujeito a contaminantes atmosféricos e pode também aumentar o fator umidade na massa residual, além de demandar de empilhadeira ou pá carregadeira para alimentação das próximas etapas do processo de produção.

Silo suspenso possui um custo de aquisição elevado, depende de projeto estrutural e geralmente depende artefatos de construção civil, ou de aço, também podendo utilizar-se de ambos na construção do silo suspenso. Porém operacionalmente apresenta a melhor alternativa de performance entre as demais.

Silo térreo possui menor custo de implantação e maior versatilidade na construção em relação ao silo suspenso, porém não possui a mesma versatilidade operacional, por ser um silo térreo protege melhor a matéria-prima de ações naturais e contaminantes, permite ainda a descarga direta no mesmo de serragem e finos de carvão vegetal.

A estocagem em Big Bags é uma alternativa sem custos, ou com custos extremamente baixos, porém não é uma alternativa viável operacionalmente, vai depender do auxílio de empilhadeira e demanda maior por mão de obra.

4.8.2 Critérios de escolha para classificadores de matéria-prima

Peneira vibratória é uma alternativa viável em relação a custos, apresenta uma alternativa viável em custos, porém tem custo de aquisição superior a peneira rotativa, possui boa aplicabilidade no *layout* da linha produtiva (planta de produção). Disponível no mercado e fácil manutenção.

Peneira rotativa é a melhor opção e viabilidade por possuir mais um custo acessível, também possui boa aplicabilidade operacional na planta de produção. É uma alternativa que também apresenta viabilidade operacional. Disponível no mercado e de fácil manutenção.

Ciclone apresenta um custo de aquisição elevado em relação a peneira rotativa e peneira vibratória, e também apresenta um custo de manutenção superior as peneiras já citadas, não se enquadrando como assim como a melhor opção de escolha, embora seja uma alternativa viável.

Sopradores de ar, depende de equipamento auxiliar (compressor de ar), isso aumenta o custo de aquisição e manutenção desse tipo de equipamento, dessa forma não é a alternativa viável para compor a planta de produção de *pellets*.

4.8.3 Critérios de escolhas para uniformizadores de matéria-prima

Moinho tipo martelo é uma alternativa viável em relação a custos, possui boa aplicabilidade operacional e baixo custo de manutenção, possui amplo fornecimento no mercado nacional.

Discos refinadores, apresentam custo de aquisição elevado em relação a moinho tipo martelo e tipo bola, são equipamentos mais complexos utilizados em indústrias de papel e chapas MDF, possuem boa aplicabilidade operacional, porém possui o custo de manutenção também mais elevado.

Moinho tipo bola, apresenta boa alternativa possui um custo de aquisição acessível e similar ao moinho tipo martelo, fácil manutenção e boa aplicação operacional, é uma alternativa viável para a planta de produção.

Moinho por faca rotativa, apresenta um custo de aquisição elevado, manutenção complexa, apresenta boa aplicação operacional, mas devido ao custo de aquisição e manutenção não é a melhor alternativa para compor a planta de produção de briquetes e *pellets*.

4.8.4 Critérios de escolha para ajustador de humidade

Forno rotativo por batelada, apresenta a melhor opção em relação a custos, não é a melhor opção operacional, pois tem que ser carregado e descarregado por bateladas, mas apresenta fácil manutenção.

Forno rotativo contínuo, apresenta custo significativamente mais elevado que em relação ao forno rotativo por batelada, porém é o melhor pelo ponto de vista operacional, é alimentado continuamente e alimenta o sistema de mistura continuamente, possui manutenção mais complexa em relação ao forno rotativo por batelada.

Forno rotativo por esteira transportadora, possui um custo de aquisição muito elevado para a proposta da planta de produção, manutenção demanda de maiores investimentos também, porém possui boa aplicabilidade operacional.

Forno aquecido por resistência elétrica, possui custo elevado de aquisição, e alto custo de operacionalização devido ao elevado consumo de energia elétrica, não enquadrando como uma alternativa viável para a planta de produção de briquetes e *pellets*.

4.8.5 Critérios de escolha para misturadores de matérias-primas

Misturador mecânico por batelada, apresenta o melhor custo de aquisição e implantação (menor preço), fácil manutenção e embora opere por batelada apresenta uma boa performance operacional na planta de produção.

Sopradores de ar, necessita de equipamentos auxiliares (compressor de ar), isso torna o custo de aquisição, manutenção elevados, também apresenta-se inferior aos agitadores mecânicos quando aplicado a planta de produção de briquetes e *pellets*.

Misturador rotativo contínuo, apresenta baixo custo de manutenção, boa aplicação operacional, porém apresenta custo de aquisição elevado em relação ao misturador mecânico por batelada.

Misturador mecânico tipo agitador por hélices, apresenta elevado custo de aquisição, elevado custo de manutenção e baixa performance operacional para a proposta da planta de produção de briquetes e *pellets*.

4.8.6 Critérios de escolha para equipamento de dosagem/quantificação de matérias-primas

Válvula de abertura manual, apresenta baixo custo de implantação na planta, baixo custo de manutenção, porém não é indicado se a planta optar por um processo contínuo de produção.

Válvula por abertura pneumática, tem custo de aquisição e manutenção elevado, e na planta possui aplicação similar de válvula com controle manual, além de depender de uma linha de ar de instrumento o que torna o projeto ainda mais oneroso em relação a custos.

Sistema de dosagem e homogeneização por batelada, apresenta baixo custo de implantação e manutenção, sendo a melhor alternativa no requisito custos, mas depende de intervenção humana e não é possível utilizar se a opção for por uma planta contínua de produção.

4.8.7 Critérios de escolhas para sistemas de densificação (prensagem)

Prensagem por rosca sem fim, possui custo de aquisição reduzido em relação a outros sistemas de prensagem tanto na aquisição, como, na manutenção, porém sua aplicação operacional é mais indicada para produção de briquetes.

Prensagem por pistão hidráulico, possui custo elevado de aquisição, pois depende de uma unidade hidráulica (bomba hidráulica e outros componentes), manutenção mais cara e performance operacional inferior a outros sistemas de prensagem.

Prensagem por sistemas de engrenagem, sistemas de custo acessível de aquisição e manutenção, em sistemas produtivos de biocombustíveis densificados é indicado para a produção de briquetes e *pellets*.

Sistema rotativo por rodas, não é a melhor opção em relação a custos, porém possui boa manutenção e é a melhor opção para a produção de *pellets* quando se refere a performance operacional, com fácil manutenção.

4. 9 Alternativas de solução

Foram construídas quatro configurações de planta ressaltando a configuração operacional de cada linha, essas quatro alternativas foram criadas pensando na menor intervenção manual possível, e dentre elas e com base nos critérios de escolha definidos será aplicado o método AHP e definido qual a melhor alternativa. Uma alternativa prioriza a operação por bateladas. Uma outra alternativa prioriza o processo de produção contínuo, e outras duas alternativas mesclam processos por bateladas e contínuo.

Planta A:

Silo suspenso (efeito 2) serragem, estocagem em big bag (efeito 4) finos de carvão vegetal, peneira rotativa (efeito 2), moinho tipo martelo (efeito 3), forno rotativo por batelada (efeito 1), misturador mecânico por batelada (efeito 1), Sistema de dosagem e homogeneização por batelada (efeito 3), sistema rotativo por rodas (efeito 4).

Planta B:

Silo suspenso (efeito 2) serragem e finos de carvão vegetal, peneira vibratória (efeito 1), Moinho tipo bola (efeito 3), forno rotativo contínuo (efeito 2), misturador rotativo contínuo (efeito 3), válvula de controle pneumática (efeito 3), sistema rotativo por rodas (efeito 4).

Planta C:

Estocagem em silo térreo (efeito 4) serragem, silo térreo (efeito 3) finos de carvão vegetal, peneira rotativa (efeito 2), moinho tipo bola (efeito 3), forno rotativo por batelada (efeito 1), misturador rotativo contínuo (efeito 3), Sistema de dosagem e homogeneização por batelada (efeito 3), Prensagem por sistema rotativo por rodas (efeito 4).

Planta D:

Silo térreo (efeito 3) serragem e finos de carvão vegetal, ciclone (efeito 3), discos refinadores (efeito 2), forno contínuo por esteira transportadora (efeito 3), misturador mecânico tipo agitador por hélices (efeito 4), sistema de dosagem e homogeneização por batelada (efeito 3), prensagem por pistão hidráulico (efeito 2).

4.9.1 Definição de pesos e critérios

Conforme levantamento realizado em sites de busca por equipamentos, foram levantados informações pertinentes referentes a cada tipo de equipamento. Foram elencadas informações relacionadas a custo de aquisição de cada equipamento, a operacionalização de cada equipamento na configuração da planta voltado para performance operacional e a disponibilidade técnica de cada equipamento (disponibilidade comercial e manutenção). Fica resguardado fabricantes, fornecedores e valores de equipamentos, respeitando os princípios morais, legais e éticos. Foram elencadas as opções conforme a ordem de opções, elencando do 1º ao 4º sequencialmente.

4.9.2 Critérios de escolha

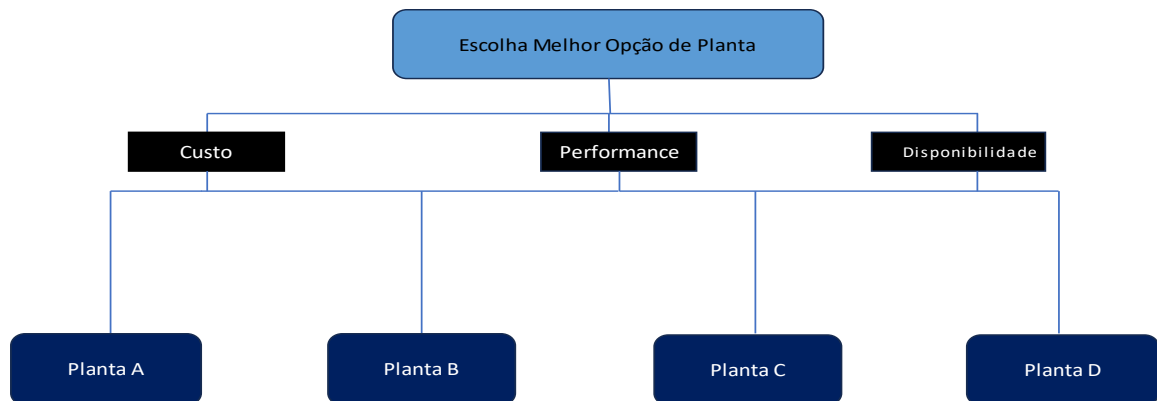
Para a escolha da melhor configuração de planta de produção será utilizado do método multicritério AHP (*Analytic Hierarchy Process*), como elemento de apoio a decisão, com critério definido com base em custos, performance operacional e disponibilidade técnica dos equipamentos dos equipamentos.

4.9.3 Aplicação método multicritério

Para seleção dos equipamentos para composição da planta de produção de *pellets* foi utilizado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) desenvolvido por Saaty (1991), definido por Saaty (1991) como “metodologia para modelagem de problemas desestruturados nas atividades econômicas, sociais e gerenciais”.

Para aplicação do método serão avaliados os equipamentos listados na matriz morfológica, já realizada uma seleção dos quais serão previamente analisados excluindo aqueles que não possuam aplicação operacional, ou não, apresentem viabilidade operacional. Deve observar que existe uma distinção entre viabilidade operacional e performance operacional, a performance operacional é um dos critérios a ser avaliado. Após essa previa seleção será aplicado o método AHP com base em três critérios, custos, performance operacional e disponibilidade técnica, conforme Figura 17:

Figura 17 - Hierarquização método AHP



Fonte: Autoria própria (2023)

Na definição de prioridades foi elencado que para custos conforme levantamento de valores de equipamentos via pesquisa e levantamento a primeira ou melhor opção foi a Planta C, seguida pela Planta D, Planta B e Planta A. No quesito Performance Operacional conforme levantamento de produtividade de cada equipamento a primeira opção, ou melhor opção foi a planta B, seguidas da Planta D, Planta A e Planta C de forma sequencial. E no quesito Disponibilidade Técnica dos Equipamentos, onde foi levantado a comercialização de cada componente (disponibilidade comercial) e também o fator manutenção a Planta C apresentou a melhor alternativa, seguida da Planta B, Planta A e Planta D de forma sequencial. Conforme já mencionado não será apresentado valores ou marcas de fabricantes ou fornecedores de equipamentos por questão ética.

Tendo como base a adoção dos critérios, custos, performance operacional e disponibilidade técnica será avaliado as quatro opções de planta, bem como a escolha através do método AHP. Como característica o AHP não precisa fornecer um julgamento numérico, mas uma apreciação verbal relativa. Nessa etapa ocorre o desenvolvimento dos objetivos, ou seja, os objetivos que definem os critérios a serem analisados (1º etapa). Foi desenvolvida a tabela de prioridades. Dentre as prioridades os três critérios adotados para aplicação do método AHP (custos, performance operacional e disponibilidade técnica), as prioridades serão definidas tendo o fator custo como principal, seguido pela performance operacional e na sequência pelo suporte técnico. conforme tabela 2:

Tabela 2 - Tabela de pesos de cada opção de planta conforme critérios

Prioridade	Custo	Performance	Disponibilidade
1º Opção	C	B	C
2º Opção	A	D	B
3º Opção	B	A	A
4º Opção	D	C	D

Fonte: Autoria própria (2023)

A segunda etapa da aplicação do método AHP é a definição de critérios e a definição de pesos para os critérios, ou seja, ocorre a derivação relativa dos pesos para cada critério, com a definição de um índice de prioridade para cada critério, nesse caso, custos, performance operacional e disponibilidade técnica de cada planta. Nessa etapa também é calculado o índice de consistência (C.R), através de comparações par a par são representadas por uma matriz quadrada, denominada matriz de decisão. A análise do índice de consistência também é aplicável na análise de cada critério, definido com “C.R”, para que a aplicação do método AHP seja consistente o C.R não pode exceder 0.1, que representa o índice de inconsistência máximo de 10%, caso o C.R seja superior a 0.1 a tabela deve ser ajustada, caso não seja possível o cálculo de C.R será considerado inconsistente. Com o valor “1” utilizado na diagonal principal, seguindo o método AHP os critérios mais relevantes que o critério representado pelo valor “1” representados por frações 1/9, 1/7, 1/5, 1/3 e os critérios de menor relevância que os representados por “1”, sendo representados por 3, 5, 7 e 9 respectivamente, sendo atribuído essa regra nas comparações entre os atributos da tabela, se a matriz for 3x3 utiliza-se 0,58 como inconsistência máxima permitida, se for uma matriz 4x4 utiliza-se 0,90 como índice de inconsistência conforme definido por Satty (1991). Isso será aplicado nas tabelas 2, 3, 4 e 5.

O fator custo tem peso maior por isso na tabela será representado por “1”, seguido em importância por performance operacional, representado na tabela por “2”, e por fim a disponibilidade técnica, representado na tabela por “3”. A definição dos pesos dos critérios estão elencados a seguir, conforme a tabela 3:

Tabela 3 - Definição de peso dos critério

Escolha alternativa	Disponibilidade	Performance	Custo	Prioridade
Disponibilidade	1	1/2	1/3	0,170
Performance	2	1	1	0,387
Custo	3	1	1	0,443
	6,000	2,500	2,333	1,000
	C.R			0,018

Fonte: Autoria própria (2023).

O fator custo apresentou uma prioridade de 0.443, ficando desta forma como o critério mais relevante no processo de escolha. Na sequência são elencadas prioridades para cada critério definido, prioridades locais, seguindo pelo custo, performance operacional e disponibilidade técnica.

Também calculado o índice de consistência (C.R), tendo de cada critério, conforme tabelas , 4, 5 e 6.

Tabela 4 - Tabela critério custos

Custo	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D	Prioridade
Planta A	1	3	1/3	3	0,256
Planta B	1/3	1	1/7	1	0,090
Planta C	3	7	1	3	0,538
Planta D	1/3	1	1/3	1	0,116
	4,67	12,00	1,81	8,00	0,064

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 5 - Tabela critério performance operacional

Performance Operacional	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D	Prioridade
Planta A	1	1/3	1/5	3	0,122
Planta B	3	1	2	7	0,445
Planta C	5	1/2	1	9	0,385
Planta D	1/3	1/7	1/9	1	0,048
	9,33	1,98	3,31	20,00	0,092

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 6 - Tabela critério disponibilidade técnica os equipamentos

Disponibilidade Comercial	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D	Prioridade
Planta A	1	1/9	1/3	3	0,101
Planta B	9	1	3	9	0,631
Planta C	3	1/3	1	3	0,210
Planta D	1/3	1/9	1/3	1	0,058
	13,33	1,56	4,67	16,00	0,087

Fonte: Autoria Própria (2023)

4.9.4 Alternativa aceita

Após finalizada a etapa de definição de critérios, peso dos critérios e sub critérios, agora é montada a tabela que compara o peso de cada critério (prioridades), com a média das prioridades dos critérios para cada planta de produção. Conforme tabela 7.

Tabela 7 - Tabela de prioridade final

Escolha Planta	Custo	Performance Operacional	Disponibilidade	Prioridades
Peso dos Critérios	0,170	0,387	0,443	
Planta A	0,256	0,122	0,101	0,13541527
Planta B	0,090	0,445	0,631	0,467079238
Planta C	0,538	0,385	0,210	0,333753329
Planta D	0,116	0,048	0,058	0,063752164

Fonte: Autoria própria (2023)

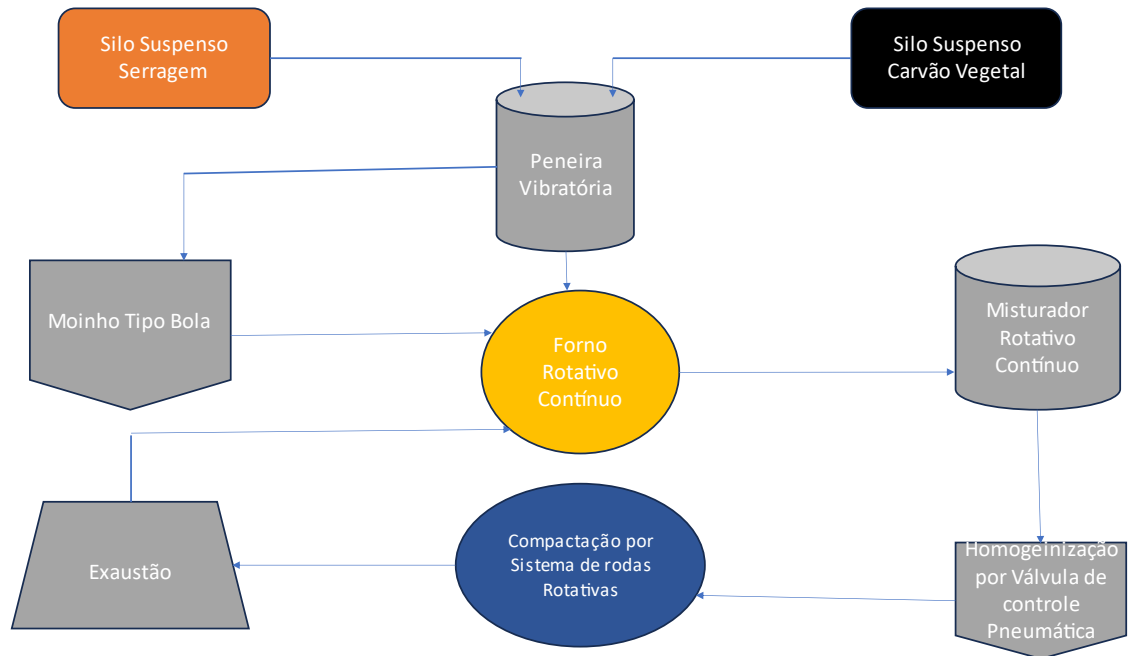
Conforme a tabela 7 a planta de produção B, foi a que possui melhor índice de prioridade **0,467079238**, representando 46,7% no total conforme o método AHP, em destaque na tabela 7. Portanto está é a melhor opção conforme a hierarquização realizada pelo método AHP, ou seja, é a melhor alternativa para aplicação a proposta do projeto conceitual.

Assim com todo o trabalho de desenvolvimento desse projeto conceitual, fica definido a Planta B como a alternativa a ser adota nesse projeto conceitual, como a melhor alternativa em aplicabilidade de processo de produção para *pellets*, essa planta também pode ser adaptada para a produção de briquetes dependendo apenas da alteração do sistema de prensagem (densificação), com um equipamento mais voltado a prensagem de briquetes, como prensagem por pistão hidráulico ou prensagem por rosca sem fim, que são habitualmente mais aplicados na produção de briquetes.

Após o processo de prensagem (compactação) será inserido um sistema de exaustão de gases, visto que no processo de produção existe uma energia térmica residual (calor), a exaustão dessa temperatura residual é necessária para evitar qualquer dano físico ou químico no *pellet* ainda quente. Os gases quentes exauridos da massa de *pellets* será direcionada para o forno rotativo por bateladas, para auxiliar na eficiência energética do equipamento, e economizar na combustão de fornalha. A planta visa um sistema fechado com menor perda de massa e energia possível. Com

a definição da planta e seus componentes segue conforme figura 18, o fluxograma completo do processo, com a escolha por meio do método AHP da Planta de Produção B.

Figura 18 - Fluxograma da planta de produção de *pellets*



Fonte: Autoria própria (2023)

5 CONSIDERAÇÕES E CONTRIBUIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com as constantes preocupações com as alterações climáticas, a necessidade pela mudança da matriz energética global. É necessário encontrar alternativas energéticas, bem como meios a produzir essas novas alternativas.

Para a produção de *pellets* fica a Planta de Produção B definida como a ser a melhor alternativa, para os critérios previamente adotados. Seguindo a prioridade de produzir um biocombustível prensado com serragem residual de madeira e finos de carvão vegetal. Planta B: Silo suspenso (efeito 2) serragem e finos de carvão vegetal, peneira vibratória (efeito 1), Moinho tipo bola (efeito 3), forno rotativo contínuo (efeito 2), misturador rotativo contínuo (efeito 3), válvula de controle pneumática (efeito 3), sistema rotativo por rodas (efeito 4).

Com a definição da Planta de Produção B, após a aplicação do método multicritério AHP, planta essa que tem como característica ser viável em relação a custos, apresentar uma performance operacional que atenda a demanda produtiva e ser tecnicamente viável. Essa planta atende a proposta da pesquisa acadêmica que busca a junção de serragem de madeira com finos de carvão vegetal, para formar um biocombustível, de alta densidade e elevado poder calorífico.

Esse projeto conceitual apresenta-se como viável alternativa para atender a demanda por equipamentos ou sistemas de produção voltados a processos de manufatura de biocombustíveis com viés sustentáveis. Nos processos de produção industrial gera-se resíduos, no caso da indústria madeireira, gera-se serragem de madeira, e no processo de produção da indústria carbonífera gera-se finos de carvão vegetal, esses resíduos quando não devidamente reprocessados tornam-se passivos ambientais. Mas quando reprocessados tornam uma fonte de energia sustentável e renovável. Essa planta de produção possui caráter sustentável, na continuidade ao ciclo de produção de madeira desdobrada e carvão vegetal no que refere-se ao aproveitamento de residuais de processo, tem a funcionalidade de produzir um biocombustível de alta densidade e elevado poder calorífico.

O conceito de sustentabilidade aplicado as empresas requerem que os processos sejam otimizados, que os recursos sejam utilizados em sua totalidade e os desperdícios sejam amenizados com o reaproveitamento total dos recursos inseridos no processo de produção. Controle de entradas e saídas do processo produtivo, otimizar o máximo possível os recursos inseridos no processo de transformação

manufatureira. Para consolidar o princípio da sustentabilidade desse projeto conceitual, apontamos outros autores que apresentam o princípio da sustentabilidade.

Essa planta é pensada dentro de uma perspectiva sustentável. Porém apenas a proposta da planta não garante que o processo de produção de *pellets* seja sustentável, mas sim se for pensado na otimização de aproveitar duas matérias-primas residuais com o propósito de produzir um biocombustível de alto poder calorífico e alta densidade. Atendendo também a perspectiva da economia circular, com integração entre empresas e parcerias no aproveitamento de resíduos industriais. O conceito de sustentabilidade organizacional é estudado e estruturado atualmente. Nessa linha de estudo autores como Silva *et al.* (2019), e Saad *et al.* (2019), abordam a sustentabilidade organizacional. Esse projeto de planta de produção pode tanto ser aplicado ao contexto organizacional como na proposta da economia circular.

Esse projeto conceitual possui como característica a possibilidade de continuidade em novas etapas de desenvolvimento de produtos, podendo ser construído para uso industrial, e ser uma planta de caráter sustentável dentro das organizações madeireiras e carboníferas. Mas também pode ser aplicado na esfera acadêmica em pesquisas futuras, pesquisas essas voltadas na produção de biocombustível em aplicação de pesquisas acadêmicas, pesquisando novas composições de *pellets* e briquetes. Isso deve ganhar espaço nos próximos anos na busca por alternativas aos combustíveis fósseis. Apresenta-se como uma alternativa tecnológica quando supri uma demanda de equipamento ou planta produtiva existente, bem como é uma importância científica, uma vez que permite a produção de um novo tipo de biocombustível e também pesquisas acadêmicas com novos tipos de biocombustíveis.

Foi possível com essa pesquisa, em levantamentos realizados e apresentados na revisão bibliográfica a necessidade de buscar alternativas para substituição de energias em escassez, ou que possua elevado potencial poluidor como os combustíveis fósseis. Fica evidente também que a demanda por energia renovável e com menor potencial de poluição ambiental. É importante observar que essa planta de produção pode agregar na produção de uma energia renovável e mais limpa que combustíveis fósseis.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Carvão vegetal - Análise Imediata. **NBR 8112**. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. **NBR 8633**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Classificação de resíduos sólidos: **NBR 10.004**. Rio de Janeiro, 2ª Ed. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *Pellets* — Terminologia e método de ensaios: **NBR 17.030**. Rio de Janeiro. 1º Ed. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BIOMASSA, *PELLETS E BRIQUETES* - ABIB. Curitiba, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA - ABIMCI. Curitiba, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA MADEIRA - ABIMAQ. CURITIBA, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE *PELLETS* - ABIPEL. Itapeva, 2023.
- AFOLAYAN, A. H; OJOKOH, B. A; ADETUNMBI, A. O. Performance analysis of fuzzy analytic hierarchy process multi-criteria decision support models for contractor selection. **Scientific African**, v. 9, p. e00471, 2020.
- AGAMUTHU, P.; KHIDZIR, K.M.; FAUSIAH, S.H. Drivers of sustainable waste management in Asia. **Waste Management and Research**, 2019.
- AHMADI, M. H.; DEVADOSS, M.; SANTHA, C.; FAUZIAH. S. H P. M. Solar power technology for electricity generation: A critical review. **Energy Science & Engineering**, v. 6, n. 5, p. 340-361, 2018.
- AJIMOTOKAN, H. A; EHINDERO, A. O; AJAO, K. S; ADELEKE, A. A; IKUBANNI, P. P., SHUAIB-BABATA, Y. L. Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. **Scientific African**, v. 6, p. e00202, 2019.
- AKRAM, M; ILYAS, F; GARG, H. Multi-criteria group decision making based on ELECTRE I method in Pythagorean fuzzy information. **Soft Computing**, v. 24, p. 3425-3453, 2020.

ALBUQUERQUE, R. V; DE SENNA, V; FIGUEIREDO, P. S. Métodos de apoio a decisão em gestão de portfólio de projetos de inovação: uma revisão sistemática. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 103591-103618, 2020.

AMOROCHO-DAZA, H; CABRALES, S; SANTOS, R; SALDARRIAGA, J. A new multi-Criteria decision analysis methodology for the selection of new water supply infrastructure. **Water**, 11(4), 805, 2019.

AMARAL, D. C. **Gestão de desenvolvimento de produtos**. Saraiva Educação SA, 2017.

AMARAL, J. J. F. Como fazer uma pesquisa bibliográfica. **Revista Ciência Saúde**. Fortaleza, janeiro de 2007.

ANDRADE, A. L; DOS SANTOS, M. A. Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1413-1423, 2015.

AZEVEDO, J. P. M; DO NASCIMENTO, R. S; SCHRAM, I. B. Energia eólica e os impactos ambientais: um estudo de revisão. **Revista Uningá**, v. 51, n. 1, 2017.

BACK, N. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri, SP: Manole, 2008.

BAKO, T; ENYI, O. S; IMOLEMHE, U. V. Mathematical modeling of mechanical horizontal screw oil extractor. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 22, n. 2, p. 244-254, 2020.

BATTACHARYA, S. C; SALAM, P. A. A review of selected biomass energy technologies: gasification, combustion, carbonization and densification. Pathum Thani: **Asian Institute of Technology**, 2006. p. 155 -191.

BARBALHO, S. C. M. Modelo de referência para o desenvolvimento de produtos mecânicos: proposta e aplicações. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.

BAXTER, M. Projeto de produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. 2. ed. São Paulo: **E. Blücher**, 2001.

BAXTER, M. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. 2 ed. **Edgard Blücher**; São Paulo, 2000.

BELAUD, JP, ADOUE, C., VIALLE, C., CHORRO, A., SABLAYROLLES, C. A circular economy and industrial ecology toolbox for the development of an eco-industrial park: French policy perspectives. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, p. 967-985, 2019.

BING, X. BLOEMHOF, J. M.; RAMOS, T. R. P; BARBOSA-POVOA, A. P; WONG, C. Y. VAN DER VORST, J. G. Research challenges in municipal solid waste logistics management. **Waste management**, 2016.

BOUZID, A. M.; GUERRERO, J. M.; CHERITI, A.; BOUHAMIDA, M.; SICARD, P.; BENGHANEM, M. A survey on control of electric power distributed generation systems for microgrid applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 751-766, 2015.

BURIN, H. P; BUTZGE, C; DA SILVA, M. F; MORAES, J. A. R; HOPPE, D. A. Levantamento bibliométrico sobre o desenvolvimento de produtos inovadores e sustentáveis. **Exacta**, v. 18, n. 2, p. 387-400, 2020.

CAMARGO, B. *et al.* Misturas de finos de carvão e madeira melhoram a combustibilidade e a qualidade dos biocombustíveis sólidos. **BioEnergy Research**, 2020.

CAMPOS, S. U.; RIBEIRO, J. L. D. A reference model for the products development process for companies in the sector of milling wheat. **Production**, v. 21, p. 379-391, 2011.

CINELLI, M; KADZIŃSKI, M; MIEBS, G; GONZALEZ, M; SŁOWIŃSKI, R. Recommending multiple criteria decision analysis methods with a new taxonomy-based decision support system. **European Journal of Operational Research**, v. 302, n. 2, p. 633-651, 2022.

CHANG, K.H.; LOU, KUO-REN; KO, CHUN-HAN. Potential of bioenergy production from biomass wastes of rice paddies and forest sectors in Taiwan. Taiwan: **Journal of Cleaner Production**, 2019.

CHU, S; CUI, YI; LIU, N. The path towards sustainable energy. **Nature materials**, v. 16, n. 1, p. 16-22, 2017.

CHENG, L. C; E FILHO, L. D. R. M. QFD – Desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

CLARK, K. B; FUJIMOTO, T. Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry. Boston: **Harvard Business School Press**, 1991.

COOPER, R. G. The drivers of success in new-product development. **Industrial Marketing Management**, v. 76, p. 36-47, 2019.

COOPER, R. G; SOMMER, A. F. The agile–stage-gate hybrid model: a promising new approach and a new research opportunity. **Journal of Product Innovation Management**, v. 33, n. 5, p. 513-526, 2016.

COOPER, R.G. Winning at new products. Accelerating the process from Idea to Launch. 2. ed. Massachusetts: Perseus Books, 1993.

- DA SILVA WEGNER, R; ARCHER, A. B; TONTINI, J; MALHEIROS, M. B; ROSSATO, V. P. Aplicação do método analytic hierarchy process (ahp) na priorização das ações de inovações em serviços em um estudo de multicaso. **Navus: Revista de Gestão e Tecnologia**, n. 10, p. 14, 2020.
- DALE, V. H; PARISH, E; KLINE, K. L; TOBIN, E. How is wood-based pellet production affecting forest conditions in the southeastern United States?. **Forest Ecology and Management**, v. 396, p. 143-149, 2017.
- DELATORRE, F. M; CUPERTINO, G. F. M; DOS SANTOS JUNIOR, A. J; DA SILVA, Á. M; JÚNIOR, A. F. D; SILVEIRA, M. P. R. Insights acerca do uso de finos de carvão vegetal para geração de bioenergia. 2020.
- DEAN, R. A.; MAGLIONE, L. S.; CAPPELLARI, Fernando O. Análisis de función y matriz morfológica aplicado al diseño de un implemento agrícola. **Aporte Santiaguino**, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2018.
- DEWES, F; NEVES, F. M; JUNG, C. F; TEN CATEN, C. S. Ambientes e estímulos favoráveis à criatividade aplicada a processos de inovação de produtos. **Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto Porto Alegre**, 2011.
- DEZERT, J; TCHAMOVA, A; HAN, D; TACNET, J. M. The SPOTIS rank reversal free method for multi-criteria decision-making support. In: **2020 IEEE 23rd International Conference on Information Fusion (FUSION)**. p. 1-8. IEEE, 2020.
- DIAS JÚNIOR, A. F; SUUCHI, M. A; SANT'ANNA NETO, A; SILVA, J. G. M; SILVA, Á. M; DE SOUZA, N. D; BRITO, J. O. Blends of charcoal fines and wood improve the combustibility and quality of the solid biofuels. **Bioenergy Research**, v. 14, n. 1, p. 344-354, 2021.
- DING, L; YOSHIKAWA, K; FUKUHARA, M; KOWATA, Y; NAKAMURA, S; XIN, D. MUHAN, L. Development of an ultra-small biomass gasification and energy generation system: Part 1. A new carbonization process and optimization of carbonized charcoal pelletization. **Fuel**, 2017.
- DOTOLI, M; EPICOCO, N; FALAGARIO, M. Multi-Criteria Decision Making techniques for the management of public procurement tenders: A case study. **Applied Soft Computing**, v. 88, p. 106064, 2020.
- DONATO, C. J; TAKENAKA, E. M. M. The use of wood waste for sustainable development. **Journal of Florestry**, 2016.
- ECONOMIDES, M. J; WOOD, D. A. The state of natural gas. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, v. 1, n. 1-2, p. 1-13, 2009.
- EDGETT, S. J. Idea-to-Launch (Stage-Gate) Model: An Overview. **Stage-Gate International**, p. 1-5, 2015.
- FEITOSA, F. E. B; COSTA, A. L. Application of a multicriteria methodology for evaluation of energy alternatives for hydrogen production for the automotive sector–

Case study. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 46, n. 40, p. 20799-20814, 2021.

FERNÁNDEZ-NAVA, Y; DEL RIO, J; RODRÍGUEZ-IGLESIAS, J; CASTRILLÓN, L; MARAÑÓN, E. Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain). **Journal of Cleaner Production**, v. 81, p. 178-189, 2014.

FINNISH STANDARDS ASSOCIATION. **CEN/TS 15210-1**: 2005 "Solid biofuels. Methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes. Part, v. 1, 2006.

FRANCISCO, M. G; JUNIOR, O. C; SANT'ANNA, Â. M. O. Modelo de Referência Conceitual para o Processo de Desenvolvimento de Produto Orientado por Design for Six Sigma. In: **IFIP International Conference on Product Lifecycle Management**. Springer, Cham, 2020.

FREITAS, F. F; DE SOUZA, S. S; FERREIRA, L. R. A; OTTO, R. B; ALESSIO, F. J; DE SOUZA, S. N. M; JUNIOR, O. A. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 101, 146-157, 2019.

FREITAS, L. C; BARBOSA, J. R; DA COSTA, A. L. C; BEZERRA, F. W. F; PINTO, R. H. H; CARVALHO JUNIOR, R. N. From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 169, p. 105466, 2021.

FERRARI, M. A; CABRAL, R; SALHANI, J. Estudo analítico do mapeamento de empresas brasileiras comprometidas com a Agenda 2030 da ONU. **Revista Gestão Organizacional**, v. 15, n. 2, p. 105-120, 2022.

FRODESON, S; HENRIKSSON, G; BERGHEL, J. Pelletizing substances from pure biomass to investigate mechanical properties and binding mechanisms. **BioResources**, v. 13, n. 1, pág. 1202-1222, 2018.

FROEHLICH, P. L; MOURA, A. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 1, p. 13-32, 2017.

GARCÍA-OLIVARES, A; SOLÉ, J; OSYCHENKO, O. Transportation in a 100% renewable energy system. **Energy Conversion and Management**, v. 158, p. 266-285, 2018.

GARCIA, D. P; CARASCHI, J. C; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**, v. 24, n. 135, p. 14-16, 2013.

GARCIA, D. P; CARASCHI, J. C; VENTORIM, G. O setor de pellets de madeira no Brasil. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 8, n. 1, 2017.

GARCIA-GARCIA, G. Using Multi-Criteria Decision Making to optimise solid waste management. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, p. 100650, 2022.

GERALDO, G; SOUZA PINTO, M. D. Percursos da Ciência da Informação e os objetivos do desenvolvimento sustentável da agenda 2030/ONU. **Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina**, v. 24, n. 2, p. 373-389, 2019.

GIELEN, D; BOSHELL, F; SAYGIN, D; BAZILIAN, M. D; WAGNER, N; GORINI, R. The role of renewable energy in the global energy transformation. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 38-50, 2019.

GREINERT, A; MRÓWCZYNSKA, M; SZEFLNER, W. The use of biomass residues from the timber industry and municipal sources for energy production. **Sustainability**, 2019.

GRIFFIN, A; PRICE, R. L.; MALONEY, M. M.; VOJAK, B. A.; SIM, E. W. Voices from the field: how exceptional electronic industrial innovators innovate. **Product Innovation Management**, v. 26, p. 222-240, 2009.

GRIFFIN, A. PDMA research on New Product Development practices: updating trends and benchmarking best practices. **Journal of Product Innovation Management**, v. 14, n. 6, p. 429-458, 1997.

HAJJARI, M; TABATABAEI, M; AGHBASHLO, M; GHANAVATI, H. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 445-464, 2017.

HARJANNE, A; KORHONEN, J. M. Abandoning the concept of renewable energy. **Energy policy**, v. 127, p. 330-340, 2019.

HEIN, K. R. G; BEMTGEN, J. M. EU clean coal technology—co-combustion of coal and biomass. **Fuel processing technology**, v. 54, n. 1-3, p. 159-169, 1998.

HARUNA, A; SHAFIQ, N; MONTASIR, O. A. Building information modelling application for developing sustainable building (Multi criteria decision making approach). **Ain Shams Engineering Journal**, v. 12, n. 1, p. 293-302, 2021.

IRFAN, M; ELAVARASAN, R. M; AHMAD, M; MOHSIN, M; DAGAR, V; HAO, Y. Prioritizing and overcoming biomass energy barriers: Application of AHP and G-TOPSIS approaches. **Technological Forecasting and Social Change**, 177, 121524, 2020.

JEGUIRIM, M; LIMOUSY, L. Strategies for the production of bioenergy from agricultural residues and agri-food processing. 2018.

JONSSON, R; RINALDI, F. The impact on global wood product markets of increased consumption of wood pellets in the European Union. **Energy**, v. 133, p. 864-878, 2017.

JUUTINEN, A; KURTTILA, M; POHJANMIES, T; TOLVANEN, A; KUHLMEY, K; SKUDNIK, M; MÄKIPÄÄ, R. Forest owners' preferences for contract-based management to enhance environmental values versus timber production. **Forest Policy and Economics**, 132, 102587, 2021.

KABEYI, M. J. B; OLANREWAJU, OLUDOLAPO, A. Sustainable energy transition for renewable and low carbon grid electricity generation and supply. **Frontiers in Energy Research**, v. 9, p. 1032, 2022.

KABIR, E; KUMAR, .; KUMAR, S; ADELODUN, A. A; KIM, K. H. Solar energy: Potential and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 894-900, 2018.

KAHN, K. B. Understanding innovation. **Business Horizons**, v. 61, n. 3, pág. 453-460, 2018.

KANDA, G. B; DE OLIVEIRA SOUZA, R; DE HELD, M. S. B. Matriz morfológica e biomimética: geração de alternativas em design. **Projética**, v. 9, n. 1, p. 53-68, 2018.

KHAN, AMIN ULLAH; ALI, YOUSAF. Analytical hierarchy process (AHP) and analytic network process methods and their applications: a twenty year review from 2000-2019: AHP & ANP techniques and their applications: Twenty years review from 2000 to 2019. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, v. 12, n. 3, 2020.

KELLNER, F; LIENLAND, B; UTZ, S. An a posteriori decision support methodology for solving the multi-criteria supplier selection problem. **European Journal of Operational Research**, v. 272, n. 2, p. 505-522, 2019.

KITTNER, N.; LILL, F.; KAMMEN, D. M. Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition. **Nature Energy**, v. 2, n. 9, p. 1-6, 2017.

KUMAR, A; KUMAR, N; BARENDAR, P; SHUKLA, A. A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 45, p. 530-539, 2015.

LAURI, P; FORSELL, N; KOROSUO, A; HAVLÍK, P; OBERSTEINER, M; NORDIN, A. Impact of the 2 C target on global woody biomass use. **Forest Policy and Economics**, v. 83, p. 121-130, 2017.

LAZAROIU, G; MIHAESCU, L; NEGREANU, G; PANA, C; PISA, I; CERNAT, A; CIUPAGEANU, D. A. Experimental investigations of innovative biomass energy harnessing solutions. **Energies**, v. 11, n. 12, p. 3469, 2018.

LEVENDA, A. M; BEHRISIN, I; DISANO, F. Renewable energy for whom? A global systematic review of the environmental justice implications of renewable energy technologies. **Energy Research & Social Science**, v. 71, p. 101837, 2021.

LI, S; JIANG, C; LIU, J; TAO, H; MENG, X; CONNOR, P; IRVINE, J. T. Mechanism of enhanced performance on a hybrid direct carbon fuel cell using sawdust biofuels. **Journal of Power Sources**, v. 383, p. 10-16, 2018.

LIN, B; ANKRAH, I; MANU, S. A. **Brazilian energy efficiency and energy substitution: a road to cleaner national energy system.** Fujian (China): **Journal of cleaner production**, 2017.

LIU, Y; CHEN, W; XIA, Q; GUO, B; WANG, Q; LIU, S; YU, H. Efficient cleavage of lignin-carbohydrate complexes and ultra-rapid extraction of lignin oligomers from wood biomass by microwave-assisted treatment with deep eutectic solvent. **ChemSusChem**, v. 10, n. 8, pág. 1692-1700, 2017.

LÖF, M; BRUNET, J; FITYUSHKINA, A; LINDBLADH, M; SKOVSGAARD, J. P; FELTON, A. Management of oak forests: striking a balance between timber production, biodiversity and cultural services. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 12, n. 1-2, p. 59-73, 2016.

MACHADO, M. C; TOLEDO, N. N. Criação de valor no processo de desenvolvimento de produtos: uma avaliação da aplicabilidade dos princípios e práticas enxutas. **Revista Gestão Industrial**, v. 2, n. 3, 2006.

MADONNA, V; GIANGRANDE, P; GALEA, M. Electrical power generation in aircraft: Review, challenges, and opportunities. **IEEE Transactions on Transportation Electrification**, v. 4, n. 3, p. 646-659, 2018.

MAGALHÃES, A. S; SILVA, T. M. M; CASTRO, V. G. **Produção e caracterização de briquetes a partir de resíduos sólidos e prensagem semi-manual.** *Advances in Forestry Science*, v. 6, n. 3, p. 705-710, 2019.

MARREIRO, H. M; PERUCHI, R. S; LOPES, R. M; ANDERSEN, S. L; ELIZIÁRIO. Empirical studies on biomass briquette production: A literature review. **Energies**, v. 14, n. 24, p. 8320, 2021.

MARTINS, M. P; BENÍCIO, E. L; DIAS JÚNIOR, A. F; ALMEIDA, R. B. D; CARVALHO, A. M. D; YAMAJI, F. M. Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulose. **Revista Árvore**, v. 40, p. 173-180, 2016.

MARTINS, F; FELGUEIRAS, C; SMITKOVA, M; CAETANO, N. Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in European countries. **Energies**, v. 12, n. 6, pág. 964, 2019.

MASCARENHAS, A. P. F. M.; FERNANDES, S. M.; FREITAS, F. D.; CALHEIROS, G. B.; LEFRANÇOIS, G. L. G.; BAHIA, M. B.; RATON, V. F. B. Desenvolvimento de produtos IOT. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4711-4724, 2021.

MAGALHÃES, W. L. E; DE LIMA, E. A; MATOS, M; DE SÁ, F. P; ARANTES, M. S. T. Método de produção e estudo de caso de briquetes obtidos pela compactação de

resíduo de pupunha. **Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2021.

MARINS, C. S; SOUZA, D. D. O; BARROS, M. DA S. O Uso Do Método De Análise Hierárquica (AHP) Na Tomada De Decisões Gerenciais - Um Estudo. **Xli Sbpo**, 11, 2009.

MAROVIĆ, I; PERIĆ, M; HANAK, T. A multi-criteria decision support concept for selecting the optimal contractor. **Applied Sciences**, v. 11, n. 4, p. 1660, 2021.

MARTINS, M. P; BENÍCIO, E. L; DIAS JÚNIOR, A. F; ALMEIDA, R. B. D.; CARVALHO, A. M. D; YAMAJI, F. M. Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulose1. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 173-180, 2016.

MICHELS, E; FERREIRA, M. G. Gerenciamento ágil no processo de desenvolvimento de produtos inovadores: uma análise bibliográfica sistemática. **Gestão e Projetos: GeP**, v. 4, n. 1, p. 52-76, 2013.

MELLO, C. H. P; GUEDES, F. N; SILVA, C. E. S. D; GORGULHO JÚNIOR, J. H. C; XAVIER, A. F. Projeto conceitual de componentes de um forno industrial por meio da integração entre a engenharia reversa e o DFMA. **Gestão & Produção**, v. 17, p. 497-511, 2010.

MISHRA, R. K; MOHANTY, K. Thermal and catalytic pyrolysis of pine sawdust (*Pinus ponderosa*) and Gulmohar seed (*Delonix regia*) towards production of fuel and chemicals. **Materials Science for Energy Technologies**, v. 2, n. 2, p. 139-149, 2019.

MOHAMAD, R; KHANSARI, N; HOSEINPOR, D. Identification of Critical Success Factors (CSF) in New Product Development (NPD) in the Sportswear Industry. **Estudos de Gestão do Esporte**, v. 7, n. 34, pág. 17-36, 2016.

MOKHIREV, A; ZYRYANOV, M; RYABOVA, T; VITITNEV, A. Evaluation of possibility of obtaining woodchips from wood residues. **Journal of Applied Engineering Science**, v. 17, n. 2, 2019.

MOLA-YUDEGO, B; AREVALO, J; DÍAZ-YÁÑEZ, O; DIMITRIOU, I; HAAPALA, A; FERRAZ FILHO, A. C.; VALBUENA, R. Wood biomass potentials for energy in Northern Europe: forest or plantations? **Biomass and Bioenergy**, v. 106, p. 95-103, 2017.

MOOMAW, W. R; LAW, B. E; GOETZ, S. J. Focus on the role of forests and soils in meeting climate change mitigation goals: summary. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 4, p. 045009, 2020.

MORAES, S. L.; MASSOLA, C. P.; SACCOCCIO, E. M.; DA SILVA, D. P.; GUIMARÃES, Y. B. T. Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 4, 2017.

- MOREIRA, J. M; CESARETTI, M. A; CARAJILESCOV, P; MAIORINO, J. R. Sustainability deterioration of electricity generation in Brazil. **Energy Policy**, v. 87, p. 334-346, 2015.
- NAMBIAR, E. S. Tamm Review: Re-imagining forestry and wood business: pathways to rural development, poverty alleviation and climate change mitigation in the tropics. **Forest Ecology and Management**, v. 448, p. 160-173, 2019.
- NÉMETH, B; MOLNÁR, A; BOZÓKI, S; WIJAYA, K; INOTAI, A; CAMPBELL, J. D; KALÓ, Z. Comparison of weighting methods used in multicriteria decision analysis frameworks in healthcare with focus on low-and middle-income countries. **Journal of comparative effectiveness research**, v. 8, n. 4, p. 195-204, 2019.
- NONES, D. L. Cadeia produtiva de pellets e briquetes de biomassa residual para geração de energia em Santa Catarina. 2014.
- NONES, D. L. Biomassa residual agrícola e florestal na produção de compactados para geração de energia. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 2, p. 155-164, 2017.
- NORMUNGSINSTITUT, Österreichisches. **ÖNORM M 7135**: compressed wood or compressed bark in natural state: pellets and briquettes: requirements and test specifications. Vienna, Austria, 2000.
- NOSEK, R; HOLUBCIK, M; JANDACKA, J. The impact of wood biomass bark content on biofuel properties. **BioResources**, v. 11, n. 1, pág. 44-53, 2016.
- NUNES, L. J. R; MATIAS, J. C; CATALAO, J. Pellets de madeira como alternativa energética sustentável em Portugal. **Energia renovável**, v. 85, p. 1011-1016, 2016.
- OLIVEIRA, R. A. Briquetagem em resíduos de flora urbana, 2020.
- OLIVEIRA, W. S; FERNANDES, A. J; PEREIRA, E. T. Tendências do preço da eletricidade na indústria eólica global para 2050. **Revista Brasileira de Energia**, v. 20, n. 1, p. 79-104, 2014.
- OLIVEIRA, L. H; BARBOSA, P. V. G.; LIMA, P. A. F; YAMAJI, F. M; JÚNIOR, C. R. S. Aproveitamento de resíduos madeireiros de Pinus sp. com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 683-691, 2017.
- OLIVEIRA, L. H; BARBOSA, P. V. G; LIMA, P. A. F; YAMAJI, F. M; JÚNIOR, C. R. S. Poplar wood chip storage: Effect of particle size and breathable covering on drying dynamics and biofuel quality. **Biomass and Bioenergy**, v. 81, p. 282-287, 2015.
- ORISALEYE, J. I; OJOLO, S. J; AJIBOYE, J. S. Pressure build-up and wear analysis of tapered screw extruder biomass briquetting machines. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 21, n. 1, p. 122-133, 2019.

PAGAN, R. P; DA SILVA, SANCHES. C. A; MELLO, PEREIRA. P. H. Projeto conceitual no processo de desenvolvimento de produtos eletroeletrônicos: estudos de caso em empresas incubadas. **Revista Produção Online**, v. 13, n. 3, p. 1089-1117, 2013.

PAULA, J. O; MELLO, C. H. P. Seleção de um modelo de referência de PDP para uma empresa de autopeças através de um método de auxílio à decisão por múltiplos critérios. **Production**, v. 23, p. 144-156, 2013.

PAHL, G; BEITZ, W; FELDHUSEN, J; GROTE, K. H. Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: E. Blücher, 2005.

PANG, S. Advances in thermochemical conversion of woody biomass to energy, fuels and chemicals. **Biotechnology advances**, v. 37, n. 4, p. 589-597, 2019.

PAULA, I. C. Proposta de um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos farmacêuticos. 2004. 316 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)-Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PAUWELS, K; SILVA-RISSO, J; SRINIVASAN, S; HANSENS, D. M. New products, sales promotions, and firm value: The case of the automobile industry. In: **Long-Term Impact Of Marketing: A Compendium**. 2018. p. 287-324.

PICCHIO, R; LATTERINI, F; VENANZI, R; STEFANONI, W; SUARDI, A; TOCCI, D; PARI, L. Pellet production from woody and non-woody feedstocks: A review on biomass quality evaluation. **Energies**, v. 13, n. 11, p. 2937, 2020.

PIERRI, L. D; PAULETTI, V; SILVA, D. A. D; SCHERAIBER, C. F; SOUZA, J. L. M. D.; MUNARO, F. C. Sazonalidade e potencial energético da biomassa residual agrícola na região dos Campos Gerais do Paraná. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 129-137, 2016.

PENSO, C. C. Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produtos na indústria de alimentos. 2003. 182 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica)-Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PERERA, F. P. Multiple threats to child health from fossil fuel combustion: impacts of air pollution and climate change. **Environmental health perspectives**, v. 125, n. 2, p. 141-148, 2017.

PÉREZ-GOSENDE, P; MULA, J; DÍAZ-MADROÑERO, M. Facility layout planning. An extended literature review. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 12, p. 3777-3816, 2021.

PROTÁSIO, T. P. Caracterização energética de *pellets* in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 435-442, 2015.

PROTO, A. R; PALMA, A.; PARIS, E; PAPANDREA, S. F; VINCENTI, B; CARNEVALE, M; GALLUCCI, F. Assessment of wood chip combustion and emission behavior of different agricultural biomasses. **Fuel**, v. 289, p. 119758, 2021.

QIN, X; KEEFE, R. F; DAUGAARD, D. E. Evaluation of three forest-based bioenergy development strategies in the northwestern interior of the United States. **Journal of Forestry**, 2018.

QUINTEIRO, P; GRECO, CRUZ T. F, L. A., RIGHI, S; ARROJA, L; DIAS, A. C. A comparative life cycle assessment of centralised and decentralised wood pellets production for residential heating. **Science of The Total Environment**, v. 730, p. 139162, 2020.

QUIRINO, W. F; BRITO, J. O. Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos. **Brasília, DF: LPF/IBAMA**, 1991.

REN, P; ZIACO, E; ROSSI, S; BIONDI, F; PRISLAN, P; LIANG, E. REN, P. Growth rate rather than growing season length determines wood biomass in dry environments. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 271, p. 46-53, 2019.

REZAEI, H; LIM, C. J; LAU, A; SOKHANSANJ, S. Size, shape and flow characterization of ground wood chip and ground wood pellet particles. **Powder technology**, v. 301, p. 737-746, 2016.

RIBEIRO, G. F; JUNIOR, A. B. The global energy matrix and use of agricultural residues for bioenergy production: A review with inspiring insights that aim to contribute to deliver solutions for society and industrial sectors through suggestions for future research. **Waste Management & Research**, p. 0734242X231154149, 2023.

RITCHEY, T. Problem structuring using computer-aided morphological analysis. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n. 7, p. 792-801, 2006.

ROCHA, J. D. Produção e caracterização de briquetes de casca de pinhão-manso. **Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas. Brasília: Embrapa**, 2019.

ROCHA, J. T; MALICO, I; GONÇALVES, A. C; SOUSA, A. M. Análise do potencial de biomassa residual no Algarve, Portugal, baseada em SIG. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 11, n. 1, 2020.

ROSTOVA, E; GERAS' KIN, M. Optimization of Costs Function for Prevention of Firms' Industrial Risks With Penalties. In: **Third Workshop on Computer Modelling in Decision Making (CMDM 2018)**. Atlantis Press, p. 26-30, 2019.

ROZENFELD, H; FORCELLINI, F.A; AMARAL, D.C; TOLEDO, J.C; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H; SCALICE, R.K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SAAD, Mohammed H.; NAZZAL, Mohammad A.; DARRAS, Basil M. A general framework for sustainability assessment of manufacturing processes. *Ecological Indicators*, 2019.

SAATY, T.L. The Analytic Hierarchy Process. Tradução e revisão por Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP, Brasil, pp. 278, 1991.

SAATY, T. The Analytic Hierarch Process. **RWS Publications**, 2006.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 80-100, 2008.

SALGADO, E. G.; SALOMON, V. A. P.; MELLO, C. H. P.; FASS, F. D. M.; XAVIER, A. F. Modelos de referência para desenvolvimento de produtos: classificação, análise e sugestões para pesquisas futuras. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 4, p. 886-911, 2010.

SANTANA, D. A. R; SCATOLINO, M. V; LIMA, M. D. R; DE OLIVEIRA BARROS JUNIOR, U.; GARCIA, D. P.; ANDRADE, C. R.; PAULA, T. P. Pelletizing of lignocellulosic wastes as an environmentally friendly solution for the energy supply: insights on the properties of pellets from Brazilian biomasses. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 11598-11617, 2021.

SANTOS, R. F. D; VIAGI, A. F. Uso do método AHP (analytic hierarchy process) para otimizar a cadeia de suprimentos durante o desenvolvimento integrado de produtos. **Simpoi**, 1–12, 2009.

SHAH, S. A. R; NAQVI, S. A. A; RIAZ, S; ANWAR, S; ABBAS, N. Nexus of biomass energy, key determinants of economic development and environment: A fresh evidence from Asia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 133, 110244 2020.

SERRANO-JIMÉNEZ, A; FEMENÍAS, P; THUVANDER, L; BARRIOS-PADURA, Á. A multi-criteria decision support method towards selecting feasible and sustainable housing renovation strategies. **Journal of cleaner production**, v. 278, p. 123588, 2021.

SHARMA, H. B; SARMAH, A. K; DUBEY, B. Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 123, p. 109761, 2020.

SILVA, Benedito Albuquerque et al. New indicator for measuring the environmental sustainability of publicly traded companies: An innovation for the IPAT approach. Cuiabá, *Journal of Cleaner Production*, 2019.

SILVA, F. C; SHIBAO, F. Y; LIBRANTZ, A. F. H; SANTOS, M. R; NETO, G. C. O. Perspectiva de aplicação do método Analytic Hierarchy Process no cenário brasileiro de pesquisa. **Revista Organizações em Contexto**, v. 16, n. 32, p. 95-124, 2020.

SILVA, J. S. G; BEUREN, F. H; PIGOSSO, D. C. A; FERREIRA, M. G. G; ROZENFELD, H. Análise Comparativa entre o MEPSS e o modelo de Referência Unificado para o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). In: **Simpósio de Engenharia de Produção**. 2009.

SILVA, A. P; ANDRADE, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F. Investigando o uso de resíduos do processamento da madeira de eucalipto para a produção de combustíveis sólidos compactados. **Matéria**, v. 25, n. 3, 2020.

SILVA, D. A; MULLER, B. V; KUIASKI, E. C; ELOY, E., BEHLING, A; COLAÇO, C. M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 481-485, 2015.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS. **SINDIMAQ**. São Paulo, 2023.

SCHLESINGER, W. H. Are wood pellets a green fuel?. **Science** , v. 359, n. 6382, pág. 1328-1329, 2018.

SHAHBAZ, M; BALSALOBRE-LORENTE, D; SINHA, A. Foreign direct Investment–CO2 emissions nexus in Middle East and North African countries: Importance of biomass energy consumption. **Journal of cleaner production**, v. 217, p. 603-614, 2019.

SHEN, X. X; TAN, K. C; XIE, M. An integrated approach to innovative product development using Kano's model and QFD. **European journal of innovation management**, 2000.

SCHNEIDER, M; FROGGATT, A. The world nuclear industry status report 2019. In: **World Scientific Encyclopedia of Climate Change: Case Studies of Climate Risk, Action, and Opportunity** Volume 2. p. 203-209, 2021.

SOLAUN, K.; CERDÁ, E. The impact of climate change on the generation of hydroelectric power. A case study in southern Spain. **Energies**, v. 10, n. 9, p. 1343, 2017.

SOUZA, M; LIRA-GUEDES, A. C; da SILVA, K. P; GUEDES, M; DAMASCENO, L. Extração do óleo de andiroba pelo método de prensagem. **Embrapa**, 2015.

SU, C.T; CHEN, Y.H; SHA, D.Y. Linking innovative product development to customer knowledge: a data mining approach. **Technovation**, v. 26, no. 7, pg. 784-795, 2006.

SULAIMAN, C; ABDUL-RAHIM, A. S; OFOZOR, C. A. Does wood biomass energy use reduce CO2 emissions in European Union member countries? Evidence from 27 members. **Journal of Cleaner Production**, v. 253, p. 119996, 2020.

SUHARDI, B; JUWITA, E; ASTUTI, R. D. Improved facility layout in the sewing department with systematic layout planning and ergonomic approach. **Cogent Engineering**, v. 6, no. 1, pg. 1597412, 2019.

SWEDISH STANDARDS. **SS 187180**: Biofuels and Peat - Determination of mechanical durability of pellets and briquettes, pellets. Classification Swedish Standards. Stockholm, 1999.

THRÄN, D; BAUSCHMANN, M; DAHMEN, N; ERLACH, B; HEINBACH, K; HIRSCHL, B; HENNIG, C. Bioenergy in addition to the German "Energiewende" - Evaluation framework for integrated bioenergy strategies. **Biomass and Bioenergy**, 2020.

THRÄN, D; SCHALDACH, R; MILLINGER, M; WOLF, V; ARENDT, O; PONITKA, J; SCHÜNGEL, J. The MILESTONES modeling framework: An integrated analysis of national bioenergy strategies and their global environmental impacts. **Environmental Modeling and Software**, 2016.

TIAN, A. Q. A compact pigeon-inspired optimization for maximum short-term generation mode in cascade hydroelectric power station. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 767, 2020.

TOLEDO, J. C. D; SILVA, S. L. D; MENDES, G. H. S; JUGEND, D. Fatores críticos de sucesso no erenciamento de projetos de desenvolvimento de produto em empresas de base tecnológica de pequeno e médio porte. **Gestão & Produção**, v. 15, p. 117-134, 2008.

TONA, R. N; ONIAS, T; VILELA, A; HERNANDEZ, C. T. Aplicação do método AHP para auxílio à tomada de decisão para gestores na escolha do tipo de embalagem no desenvolvimento de novas peças no setor automobilístico. **XIV Seget. Ética e Gestão**. 2018.

TURAEV, A. Neoconservative Paradigm of Hegemony and Energy Security. **АрхивНаучныхПубликаций JSPI**, 2020.

ULBIG, A; ANDERSSON, G. Analyzing operational flexibility of electric power systems. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 72, p. 155-164, 2015.

VEGA, L. Y; LÓPEZ, L; VALDÉS, C. F; CHEJNE, F. Assessment of energy potential of wood industry wastes through thermochemical conversions. **Waste Management**, v. 87, p. 108-118, 2019.

VISSER, L; HOEFNAGELS, R; JUNGINGER, M. Wood pellet supply chain costs—A review and cost optimization analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 118, p. 109506, 2020.

WANG, C; CHANG, Y; ZHANG, L; PANG, M; HAO, Y. A life-cycle comparison of the energy, environmental and economic impacts of coal versus wood pellets for generating heat in China. **Energy**, v. 120, p. 374-384, 2017.

WELSBY, D; PRICE, J; PYE, S; EKINS, P. Unextractable fossil fuels in a 1.5° C world. **Nature**, 597(7875), 230-234, 2021.

YANG, Y; BREMNER, S; MENICTAS, C; KAY, M. Battery energy storage system size determination in renewable energy systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 91, p. 109-125, 2018.

ZACARIAS, R. O; DE SOUZA, K. T; PESSANHA, T. A; SILVA, S. V; DE VASCONCELOS, A. P; MORAIS, A. S. C. Priorização de Requisitos de Software Derivados de Modelos de Processos de Negócio: abordagem utilizando o Modelo de Kano. **Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, n. E38, p. 431-447, 2020.

ZAFAR, M. W; SINHA, A; AHMED, Z; QIN, Q; ZAIDI, S. A. H. Effects of biomass energy consumption on environmental quality: the role of education and technology in Asia-Pacific Economic Cooperation countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 142, 110868, 2021.

ZAHRAEE, S. M; SHIWAKOTI, N; STASINOPOULOS, P. Application of geographical information system and agent-based modeling to estimate particle-gaseous pollutant emissions and transportation cost of woody biomass supply chain. **Applied Energy**, v. 309, p. 118482, 2022.

ZHANG, Y; KOU, X; SONG, Z; FAN, Y; USMAN, M; JAGOTA, V. Research on logistics management layout optimization and real-time application based on non-linear programming. **Nonlinear Engineering**, v. 10, no. 1, pg. 526-534, 2022.

APÊNDICE A – Revisão de literatura (RBS) e patentes

REVISÃO DE LITERATURA (RBS) E PATENTES

O trabalho de pesquisa acadêmica é constituído de uma parte introdutória, com aspectos introdutórios e de contextualização. Também de uma revisão de literatura, com adoção do método “RBS”, tendo objetivo de elencar e mapear trabalhos relacionados que auxiliem o pesquisador a desenvolver uma síntese desses.

A revisão teve importância analisando, energia, biomassa e biocombustíveis, biomassa madeireira, biocombustíveis na substituição dos combustíveis fósseis, projetos de equipamentos peletizadores e briquetadores existentes, e desenvolvimento de novos produtos, com levantamento de todas as etapas do projeto. Segundo Amaral (2007, p.1), a pesquisa bibliográfica é uma etapa fundamental em todo trabalho científico, através de revisão de literatura existente sobre o tema abordado, Amaral (2007, p.2) ainda esclarece que “revisão da literatura deve ser crítica, baseada em critérios metodológicos, a fim de separar os artigos que têm validade daqueles que não têm”. Para essa revisão literal foi priorizado artigos de periódicos das bases do Scielo, *Science Direct* e *Google Scholar*, priorizando os periódicos com JCR, exceto algumas exceções que tratam de documentos de órgãos reguladores e periódicos de bases nacionais com algumas informações específicas do contexto nacional.

A utilização de artigos de publicação em periódicos nacionais na revisão bibliográfica ocorreu devido a particularidade da pesquisa acadêmica. Sendo necessário a aplicação de exemplos pertinentes a realidade da indústria de biomassa nacional.

APÊNDICE B – Busca em Periódicos nacionais e órgãos técnicos

BUSCA EM PERIÓDICOS NACIONAIS E ÓRGÃOS TÉCNICOS

Para o desenvolvimento desse projeto conceitual utilizou-se prioritariamente de periódicos com publicação internacional, com Qualis e JCR. Mas ocorreu algumas exceções, como a pesquisa buscou subsidiar a ideia de produção de *pellets* e briquetes através de uma planta de produção que processa de maneira concomitante resíduos da indústria madeireira em forma de serragem e resíduos da indústria carbonífera em forma de finos de carvão vegetal, exceções dos critérios busca ocorreram.

Dessa forma por apresentar particularidades na pesquisa referente a produção de *pellets* e briquetes foram realizados busca em periódicos nacionais, e instrumentos de órgãos técnicos, bem como o livro de Rozenfeld *et al.* (2006) que apresenta o modelo de referência utilizado na pesquisa acadêmica. Dessa forma a busca em periódicos sem JCR, documentos ou normativas de órgãos técnicos e livros visaram resolver lacunas de pesquisa, tanto na revisão bibliográfica, quando em outros capítulos dessa dissertação.

Embora buscou-se fundamentar a dissertação apenas com publicações internacionais com Qualis e JCR, a inclusão na mesma de artigos nacionais, documentos de órgão técnicos (normas e outras) e livros não retiram a qualidade da mesma, mas apresentam referência de elementos que possuem relativa particularidade, como processamento de biomassa e matriz energética no Brasil.

APÊNDICE C – Critérios de escolha dos componentes

CRITÉRIOS DE ESCOLHA DOS COMPONENTES

Para definição dos critérios de escolha foi desenvolvido três critérios. O primeiro foi realizado o levantamento de custos, nessa etapa foi consultado sites de fabricantes, fornecedores, importadores e sites de associações e especializado em vendas. Por questão ética e legal fica resguardado nessa pesquisa a divulgação de valor ou custo de aquisição de equipamento e também está resguardado nomes de qualquer empresa, seja fabricante ou fornecedor. O fator custos tem o peso maior na definição dos critérios.

No segundo lugar entre os critérios está a performance operacional de cada componente, ou seja, foi avaliado a produtividade de cada componente, nessa etapa foi pensado o *layout* da planta e as configurações que cada equipamento pode exercer na mesma, alguns sites de apoio também foram consultados.

Por fim o terceiro critério foi avaliado a disponibilidade técnica de cada possível componente, avaliando a disponibilidade desses componentes no mercado, e a manutenção desses equipamentos, alguns sites de apoio foram consultados.

Dentre os sites consultados estão o Portal mfrural.com (vendas), e órgãos que representam produtores de *pellets* e briquetes como ABIPEL (Associação Brasileira das Indústrias de *Pellets*), ABIB (Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa, *Pellets* e Briquetes), ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada), ABIMAQ (Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos para Madeira) e a SINDIMAQ (Sindicato Nacional da Indústria de Máquinas).