



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTUA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

**SÍNTESE E ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BRIQUETES
CONSTITUÍDOS COM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E MATÉRIA GRAXA**

KELLY BORNE

Foz do Iguaçu - PR

2022



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTUA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

SÍNTESE E ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BRIQUETES CONSTITUÍDOS COM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E MATÉRIA GRAXA

KELLY BORNE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo da Silva Arrieche;

Coorientação: Me. Rodrigo Mazolini Imberti.

Foz do Iguaçu - PR

2022

KELLY BORNE

**SÍNTESE E ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BRIQUETES
CONSTITUÍDOS COM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS E MATÉRIA GRAXA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Leonardo da Silva Arrieche
UNILA

Coorientador: Prof. Me. Rodrigo Mazolini Imberti
UNILA

Profa. Dra. Andréia Cristina Furtado
UNILA

Prof. Dra. Marlei Roling Scariot
UNILA

Prof. Dra. Katya Regina de Freitas Zara
UNILA

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): _____

Curso: _____

Tipo de Documento	
(.....) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(.....) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: _____

Nome do orientador(a): _____

Data da Defesa: _____ / _____ / _____

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported**.

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a meu orientador Dr. Leonardo e meu coorientador Me. Rodrigo pela paciência, dedicação e ensinamentos transmitidos.

À professora Dr^a. Andréia por me instigar a cursar Engenharia Química e a todos os professores que contribuíram com minha formação.

A todos meus colegas de curso em especial à Chen I Lien e Haiden.

À minha amiga Liz pelo companheirismo e com suas palavras de encorajamento e força durante o desenvolvimento do meu TCC.

Ao meu namorado Leandro que esteve ao meu lado, nos momentos bons e ruins, me apoiando e incentivando, não permitindo que eu desistisse e à seus pais, Marlene e Gerson, que considero como minha família.

À minha irmã Ivonete, meu cunhado Oswaldo, meu sobrinho Pietro, meu irmão Ivan e minha mãe, Marly, por todo apoio e ajuda durante toda trajetória.

Agradeço também a UNILA que oportunizou além da minha formação acadêmica, o conhecimento e contato acerca de culturas da América Latina.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

BORNE, Kelly. **Síntese e análise do processo de produção de briquetes constituídos com resíduos lignocelulósicos e matéria graxa.** 2022. 108 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

RESUMO

A fabricação de briquetes é ainda pouco difundida no Brasil apesar de seu grande potencial no país, surgindo como uma alternativa sustentável para o aproveitamento energético de resíduos sem muito valor agregado e em sua grande parte oriundos de outros processos produtivos. O presente estudo tem como principal objetivo realizar a síntese, dimensionamento, análise e a avaliação econômica do processamento de resíduos lignocelulósicos e matéria graxa para a produção de briquetes. Foi utilizado o método *Generalized Reduced Gradient* para encontrar a composição do briquete para as matérias-primas escolhidas. A árvore de estados foi elaborada com inúmeras rotas tecnológicas e ao aplicar as regras heurísticas foi obtido o fluxograma próximo ao ótimo. O dimensionamento foi realizado considerando os equipamentos que foram utilizados para a fabricação do briquete conforme suas dimensões características e a análise econômica preliminar foi realizada utilizando o critério *Venture Profit*. Foram definidos como matérias-primas os resíduos de casca de arroz, poda de árvore, bagaço de cana-de-açúcar e óleo lubrificante residual sendo este último oriundo de empreendimentos como postos de gasolina, oficinas mecânicas, transportadoras e instalações industriais. A composição ideal encontrada foi de 75,23%, 4,16%, 14,57% e 6,04% respectivamente. A partir do fluxograma ótimo obtido com a árvore de estado e o dimensionamento dos equipamentos foi atingido um lucro do empreendimento de US\$ 206.341,23 para uma vida útil de 10 anos, mostrando desta maneira que o processo é viável ambientalmente e economicamente.

Palavras-chave: briquete; lenha ecológica; lignocelulósicos; matéria graxa.

BORNE, Kelly. **Síntese e análise do processo de produção de briquetes constituídos com resíduos lignocelulósicos e matéria graxa.** 2022. 108 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

RESUMEN

La fabricación de briquetas aún no está muy difundida en Brasil a pesar de su gran potencial en el país, surgiendo como una alternativa sustentable para el aprovechamiento energético de residuos sin mayor valor agregado y en su mayoría provenientes de otros procesos productivos. El objetivo principal de este estudio es realizar la síntesis, dimensionamiento, análisis y evaluación económica del procesamiento de residuos lignocelulósicos y materia grasa para la producción de briquetas. Se utilizó el método de *Gradiente Reducido Generalizado* para encontrar la composición de las briquetas para las materias primas seleccionadas. El árbol de estados se elaboró con numerosas rutas tecnológicas y, al aplicar las reglas heurísticas, se obtuvo un diagrama de flujo cercano al óptimo. El dimensionamiento se realizó considerando el equipo que se utilizó para fabricar la briqueta de acuerdo a sus dimensiones características y el análisis económico preliminar se realizó utilizando el criterio *Venture Profit*. Se definió como materia prima la cascarilla de arroz, la poda de árboles, el bagazo de caña de azúcar y el aceite lubricante residual, estos últimos provenientes de emprendimientos como gasolineras, talleres mecánicos, transportadores e instalaciones industriales. La composición ideal encontrada fue 75,23%, 4,16%, 14,57% y 6,04% respectivamente. Del diagrama de flujo óptimo obtenido con el árbol de estados y el dimensionamiento de los equipos se obtuvo una utilidad de US\$ 206.341,23 para una vida útil de 10 años, demostrando así que el proceso es ambiental y económicamente viable.

Palabras clave: briquetas; leña ecológica; lignocelulósicos; materia grasa.

BORNE, Kelly. Síntese e análise do processo de produção de briquetes constituídos com resíduos lignocelulósicos e matéria graxa. 2022. 108 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

ABSTRACT

The manufacture of briquettes is still not widespread in Brazil despite its great potential in the country, emerging as a sustainable alternative for the energy use of residuals without much-added value and mostly from other production processes. The main objective of this study is to carry out the synthesis, dimensioning, analysis, and economic evaluation of the processing of lignocellulosic residues and fatty matter for the production of briquettes. The Generalized Reduced Gradient method was used to find the briquette composition for the chosen raw materials. The state tree was elaborated with numerous technological routes, and a flowchart close to the optimum was obtained based on heuristic rules. The sizing was performed considering the equipment that was used to manufacture the briquette according to its characteristic dimensions, and the preliminary economic analysis was carried out using the Venture Profit criterion. Waste rice husks, tree pruning, sugarcane bagasse, and residual lubricating oil were defined as raw materials, the latter coming from undertakings such as gas stations, mechanical workshops, transporters, and industrial facilities. The ideal composition found was 75.23%, 4.16%, 14.57%, and 6.04%, respectively. From the optimal flowchart determined with the state tree and the sizing of the equipment, a profit of US\$ 206,341.23 was obtained for a useful life of 10 years, thus showing that the process is environmentally and economically viable.

Keywords: briquette; ecological firewood; lignocellulosics; grease matter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Briquetes de: a) Palha de milho; (b) Grama; (c) Capim-bravo.	24
Figura 2 - Péletes.	25
Figura 3 - Fluxograma do pré-processo de produção.....	27
Figura 4 - Secador do tipo rotativo.	28
Figura 5 - Secador do tipo “flash”.	28
Figura 6 - Triturador de madeira.....	29
Figura 7 - Moinho de martelo.....	30
Figura 8 – Silo de armazenamento.....	31
Figura 9 - Fluxograma do processo de prensagem.	32
Figura 10 - Alimentador tipo (a) caneca e (b) rosca sem fim.	33
Figura 11 - Prensa de pistão hidráulico.	34
Figura 12 - Prensa de rolo.	35
Figura 13 - Prensa de rosca cônica.	36
Figura 14 - Prensa com rosca cilíndrica e matriz aquecida.	37
Figura 15 - Prensa de rosca dupla.	37
Figura 16 - Peletizadora de matriz anelar (a) e plana (b).	38
Figura 17 - Resumo da metodologia empregada no estudo.....	40
Figura 18 - Produção agrícola em quantidade para a cidade de Londrina - PR.....	43
Figura 19 - Representação de uma árvore de estados.	47
Figura 20 - Capacidade básica da peneira com material de $d = 1.602 \text{ kg/m}^3$	52
Figura 21 - Ilustração das quantidades para o peneiramento.....	59
Figura 22 - Composição da base 1 para diferentes TOL.....	69
Figura 23 - Composição da base 2 para diferentes TOL.....	69
Figura 24 - Composição da base 3 para diferentes TOL.....	70
Figura 25- Algoritmo decisório para redução de tamanho.....	74
Figura 26- Árvore de estados do processo tecnológico para produção de briquete.	75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais resíduos produzidos na cidade de Londrina.	44
Quadro 2 - Informações do briquete padrão (base) e suas respectivas MP.....	46
Quadro 3 - Restrições utilizadas para realização da programação.	46
Quadro 4 – Equipamentos e método utilizados para o dimensionamento.....	49
Quadro 5 - Fatores F e E conforme eficiência requerida.	53
Quadro 6 - Valores para o fator B.....	54
Quadro 7 - Fator D conforme o deck.	54
Quadro 8 - Custos das matérias-primas para o processo.	60
Quadro 9 - Metodologia para a estimativa de custos.	61
Quadro 10 - Potência e consumo considerados para o custo de utilidades.	62
Quadro 11 - Metodologia empregada para estimativa do investimento.....	63
Quadro 12 - Custos atualizado para os equipamentos dimensionados.....	64
Quadro 13 - MP utilizadas para compactação encontradas na literatura.	66
Quadro 14 - Características principais dos britadores secundários (moinhos)....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre briquete e péletes.....	26
Tabela 2 - Bases selecionadas para realização da programação linear.....	45
Tabela 3 - Teor de partículas abaixo de 4 mm.....	51
Tabela 4 - Teor de material com granulometria inferior a 2 mm.	53
Tabela 5 - Densidade aparente para cada matéria-prima.....	55
Tabela 6 - Porosidade para os diferentes tipos de materiais.	56
Tabela 7 - Calor específico (cal/g°C) para os diferentes materiais.	57
Tabela 8 – Custo por tonelada e margem bruta dos resíduos considerados.	68
Tabela 9 - Margem bruta/tonelada para as diferentes composições.	71
Tabela 10 - Parâmetros para a composição escolhida.	72
Tabela 11 - Tamanho encontrado para cada matéria-prima.	73
Tabela 12 - Fator de operação.....	82
Tabela 13 - Quantidades a serem consideradas inicialmente.	82
Tabela 14 - Resultados obtidos para o dimensionamento da peneira vibratória..	83
Tabela 15 - Características da peneira vibratória selecionada.	84
Tabela 16 - Características técnicas da motosserra selecionada.	84
Tabela 17 - Características técnicas do britador giratório selecionado.	85
Tabela 18 - Características técnicas do moinho de martelo selecionado.	85
Tabela 19 – Volume total de cada matéria-prima a ser utilizada no misturador...	86
Tabela 20 – Volume de vazios e volume final das matérias-primas sólidas.	86
Tabela 21 - Características técnicas do misturador selecionado.	87
Tabela 22 - Características técnicas do transportador helicoidal selecionado.....	87
Tabela 23 - Características técnicas do alimentador gravimétrico selecionado...	88
Tabela 24 – Potência térmica para cada matéria-prima.	88
Tabela 25 - Características técnicas do FT.....	89
Tabela 26 - Características técnicas da prensa selecionada.	89
Tabela 27 – Parâmetros utilizados para os cálculos posteriores.	91
Tabela 28 - Resultado para a estimativa de investimento.	91
Tabela 29 - Resultados para a estimativa dos custos.....	92
Tabela 30 - Resultados para o lucro do empreendimento.	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrelpe	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AG	Alimentador Gravimétrico
AI	Alimentação inicial
AV	Alimentador Volumétrico
CEPCI	<i>Chemical Engineering Plants Cost Index</i>
C	Teor de Cinza
CC	Carga circulante
CF	Teor de Carbono Fixo
EAP	Esteira de Aço Perfurada
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FT	Sistema Fluido Térmico de Alta Temperatura
GIR	Giratório
GRG	<i>Generalized Reduced Gradient</i>
LE	Lucro do Empreendimento
LB	Lucro bruto
MV	Teor de Matéria Volátil
MO	Motosserra
MC	Machado
MA	Manual
MAN	Mandíbula
ME	Mecânico
MB	Margem Bruta
MM	Moinho de Martelo
MP	Matéria-prima
MPI	Moinho de Pinos
MR	Moinho de Rolos
MB	Moinho de Barras
MD	Moinho de Discos

NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OR	Óleo Residual
PVI	Peneiras Vibratórias
PE	Peneiras Estacionárias
PAG	Peneiras Agitadas
PRT	Peneiras Rotativas
PRCMA	Prensa com Rosca Cilíndrica e Matriz Aquecida
PPH	Prensa de Pistão Hidráulico
PRO	Prensa de Rolos
PRC	Prensa com Rosca Cônica
PRD	Prensa de Rosca Dupla
PPM	Prensa de Pistão Mecânico
QD	Aquecedor de Fogo Direto
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RPA	Resíduos de Poda de Árvore
RIR	Taxa de retorno sobre o investimento com risco
SE	Serra
TR	Trilho
TH	Transportador Helicoidal
TC	Transportador de Caneca
TOL	Teor de Óleo Lubrificante
U	Teor de Umidade

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área total
B	<i>Fator de abertura</i>
C	Capacidade básica de peneiramento
Cal	Caloria
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
°C	Grau Celsius
C ₁	Valor atualizado do equipamento para o ano a
C ₂	Valor do equipamento do qual foi estimado o investimento
C _p	Calor específico
C _{matprima}	Custos com matéria-prima
C _{total}	Custo total
C _{prod}	Custos de produção
C _{diretos}	Custos diretos
C _{manut}	Custos com manutenção
C _{supr}	Custos com suprimentos operacionais
C _{adm}	Custos com administração
C _{mobra}	Custos com mão-de-obra operacional e de supervisão
C _{fixos}	Custos fixos
C _{imp}	Custo com impostos
C _{seg}	Custos com seguros
C _{alug}	Custos com aluguel
C _{jur}	Custos com juros
C _{gerais}	Custos gerais
C _{util}	Custos com utilidades
C _{roy}	Custos com patentes e Royalties
C _{proprios}	Custos próprios
C _{eventuais}	Custos eventuais
D	<i>Fator de deck</i>
d _{mistura}	Densidade aparente da mistura
	Eficiência considerada para o peneiramento

E_C	<i>Fator Eficiência</i>
E	Porosidade
ε	Fatores modificadores
F_M	Fator de finos
F	Fator experimental de transferência de região
f_T	Fator de atualização de preços para o ano vigente
f_D	Fator de Lang
f_L	preço de compra dos equipamentos
$\sum I_{Ei}$	
g	Grama
H_2S	Sulfeto de hidrogênio
I_1	Valor do índice no ano a
I_2	Valor do índice no ano-base em que foi estimado o investimento
I_{total}	Investimento total
I_{direto}	Investimento direto
I_{fixo}	Investimento fixo
$I_{indireto}$	Investimento indireto
I_{giro}	Capital de giro
$I_{partida}$	Investimento para a partida
kW	Kilowatts
kJ	Kilojoule
kg	Quilograma
kgf.cm	Quilograma-força centímetro
L	Litros
M	Massa
MJ	Megajoule
m_1	Massa de bagaço de cana-de-açúcar
m_2	Massa de óleo lubrificante residual
m_3	Massa de resíduo de poda de árvore
m_4	Massa de casca de arroz
m_t	Massa total
mm	Milímetro
m^2	Metro quadrado

m^3	Metro cúbico
MP_i	teor da matéria-prima “i” presente na alimentação inicial da peneira, em que “i” representa cada matéria-prima a ser somada
N	Newton
P	Potência térmica
p	Preço de venda
Q	Energia
Q_M	Vazão de material abaixo da separação requerida
Q_G	Vazão de material abaixo da separação requerida presente na alimentação inicial da peneira
R\$	Reais
R	Receita
S	Quantidade de material passante na alimentação que atravessa a peneira
t ou ton	Tonelada
T_P	Teor de partículas abaixo da separação requerida na alimentação inicial da peneira
T_{Pi}	Teor de partículas abaixo da separação requerida (4 mm) na alimentação inicial da peneira da matéria-prima “i”
US\$	Dólar
V	Volume
V_F	Volume final
V_V	Volume de vazios

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 JUSTIFICATIVA	21
1.2 OBJETIVOS.....	22
1.2.1 Objetivo geral.....	22
1.2.2 Objetivos específicos	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1 BRIQUETE E PÉLETE.....	24
2.2 PROCESSOS DE BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO	26
2.2.1 Pré-processo de Produção	26
2.2.2 Processo de Produção.....	32
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	40
3.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA... 41	
3.2.1 Obtenção da Margem Bruta para a Programação Linear	44
3.3 ÁRVORE DE ESTADOS	47
3.4 MÉTODO HEURÍSTICO	48
3.5 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS	48
3.5.1 Dimensionamento da Peneira Vibratória	49
3.5.2 Motosserra	55
3.5.3 Britador Giratório.....	55
3.5.4 Moinho de martelo	56
3.5.5 Misturador	56
3.5.6 Transportador Helicoidal, Alimentador Gravimétrico e Prensa com Rosca Cilíndrica e Matriz Aquecida	57
3.5.7 Sistema Fluido Térmico de Alta Temperatura	57
3.5.8 Esteira de Aço Perfurada	57
3.6 ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR	58

3.6.1 Estimativas dos Custos.....	61
3.6.2 Estimativa do Investimento	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	65
4.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA... 68	
4.3 ÁRVORE DE ESTADOS	72
4.4 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS	82
4.4.1 Peneira Vibratória	83
4.4.1 Motosserra.....	84
4.4.2 Britador Giratório.....	85
4.4.3 Moinho de Martelo	85
4.4.4 Misturador	86
4.4.5 Transportador Helicoidal	87
4.4.6 Alimentador Gravimétrico	87
4.4.7 Sistema Fluido Térmico de Alta Temperatura	88
4.4.8 Prensa com Rosca Cilíndrica e Matriz Aquecida	89
4.4.9 Esteira de Aço Perfurada	89
4.5 ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR	91
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
6 REFERÊNCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

A utilização de combustíveis fósseis é o modelo energético mundial que está acompanhado de danos ambientais irreparáveis, como a intensificação do aquecimento global. Além disso, o esgotamento desses combustíveis representa uma grande preocupação, pois geraria uma crise energética. O uso de fontes renováveis e da biomassa torna-se uma fonte viável e em crescimento para o uso energético (DE OLIVEIRA, 2013).

A briquetagem e a peletização surgem como uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis e da lenha comum visto que podem ser empregados com grande eficiência na produção de energia na forma de calor em caldeiras fornos, churrasqueiras, dentre outros, apresentando um ótimo custo-benefício em meio a preocupações com o meio ambiente (DE OLIVEIRA, 2013). A briquetagem e a peletização são por definição um aglomerado de partículas finas por meio de pressão, utilizando ou não aglomerantes, obtendo produtos compactados, denominados briquetes com forma, tamanho e parâmetros mecânico adequados (BARROS *et al.*, 2015).

A produção de briquetes e péletes visa aproveitar resíduos que seriam descartados e gerariam, em muitos casos, danos ao meio ambiente, sendo geralmente um resíduo ou co-produto sem aplicação oriundo de outro processo produtivo (COLLARES; BARBOSA, 2012). O Brasil apresenta um grande potencial de biomassa lignocelulósica como cascas de arroz, palha de milho, sabugo, bagaço de cana (SCHÜTZ; ANAMI; TRAVESSINI, 2010). De acordo com Quéno *et al.* (2019), a principal fonte de matéria-prima para compactação vem da atividade florestal, como maravalha, serragem, pó da indústria moveleira e de piso, todo e qualquer desperdício das serrarias além de resíduos de florestas como pontas, galhos e troncos de árvores.

A urbanização crescente pode ser considerada como um fenômeno social que está associado a maior expectativa de vida populacional e ao padrão de produção e consumo contemporâneo, possuindo como consequência a crescente geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (DA SILVA FILHO *et al.*, 2017). O Brasil possui uma crescente produção de RSU a cada ano e de acordo com Abrelpe (2010), no ano de 2010 a geração de RSU era

de 60.868.080 t/ano e em 2021 ocorreu um crescimento para 82.477.300 t/ano (ABRELPE, 2021). Dentre os RSU gerados encontram-se os Resíduos de Poda de Árvore (RPA). Os RPA quando destinado ao aterro sanitário, reagem biologicamente e quimicamente com os demais resíduos ali existentes, gerando subprodutos gasosos (CO_2 , H_2S e CH_4) e lixívia (ROCHA *et al.*, 2015), além de gerar um considerável volume de biomassa (DA SILVA FILHO *et al.*, 2017). A poda de árvore ao ser descartada em lixões e aterros sanitários pode ser considerada um desperdício de biomassa, visto que pode ser empregado na produção de energia a partir da briquetagem (DE BARROS, 2013).

Outra problemática resultante da crescente urbanização quanto à geração de RSU inclui a matéria graxa que pode ser entendida como substâncias orgânicas, óleos e graxas, de origem animal, mineral ou vegetal das quais são geralmente hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, dentre outros (ORSSATTO; HERMES; BOAS, 2010). Inúmeros problemas podem ser gerados a partir de seu descarte incorreto como, ao descartá-lo diretamente no solo causa a destruição da vegetação e dos microrganismos, devastando o húmus, gerando infertilidade da região em que atinge, podendo alcançar inclusive o lençol freático. Quando descartado no esgoto pode comprometer o funcionamento das estações de tratamento (GOMES *et al.*, 2013) e encarece o processo de tratamento em até 45%. Nos rios cria uma barreira dificultando a entrada de luz e oxigenação da água comprometendo a vida aquática, causando enchentes e, além disso, sua decomposição gera metano à atmosfera terrestre (FERNANDES *et al.*, 2008). Portanto, é imprescindível o descarte adequado da matéria graxa e o emprego de formas de reaproveitamento para agregar valor.

Estudos sugerem que a presença de matéria graxa melhora a qualidade dos briquetes (ROCHA, 2019). De acordo com de Oliveira (2016) biomassas com maiores concentrações de extrativos como gorduras e/ou lignina terão poderes caloríficos maiores e, portanto, um briquete mais viável.

1.1 JUSTIFICATIVA

A procura por fontes energéticas não poluidoras surgem como alternativa a problemática da poluição ambiental e o crescente mercado de consumo. A compactação da biomassa em forma de briquete ou pélete se mostra uma alternativa promissora de fonte de energia renovável como forma de aproveitamento energético de resíduos dos mais variados tipos.

A crescente geração de RSU tornou-se uma problemática ambiental a nível mundial e seu descarte inadequado gera preocupações devido a seu potencial poluidor. A cidade de Foz do Iguaçu - PR, por exemplo, possui coleta seletiva em que os galhos e podas de árvores são destinados ao pátio de compostagem no aterro sanitário municipal (BUCHE, 2021) e o material graxo, óleo residual (OR) que inclui o óleo de cozinha e o óleo lubrificante residual, coletado pela empresa Mercofrig situada na cidade de Santa Terezinha de Itaipu - PR, destinando-o para a produção de material de limpeza, cosméticos, fertilizantes e biodiesel (CASSARO; BRASIL; ALMEIDA, 2012). Diante do exposto, a produção de briquete/pélete utilizando RPA e OR se mostra relevante do ponto de vista ambiental e financeiro, visto que agregaria valor comercial e ainda daria um destino adequado aos RSU, contribuindo desta maneira com a sociedade como um todo.

Outras matérias-primas também vêm sendo pesquisadas e empregadas na geração de briquete/pélete devido a problemas ambientais causados pelo seu descarte inadequado e seu potencial aproveitamento energético. O Brasil é um grande produtor de cana-de-açúcar. Cerca de 90% da produção de bagaço de cana-de-açúcar na safra de 2009/10 foi destinada à produção de combustível, os outros 10% foi destinado a usos alternativo como na produção de briquete/pélete representando aproximadamente 18.700 milhões de toneladas de resíduo. Entretanto, a cana-de-açúcar também gera palha e ponteiros que não são recuperadas, resíduos dos quais podem ser empregado na produção de briquetes/pélete (DIAS *et al.*, 2012).

A casca de arroz é um dos resíduos agroindustriais mais abundantes do Brasil. A cada uma tonelada de arroz colhido cerca de 30% de sua composição é resíduo de casca e geralmente é queimada em usina geradora de

energia durante o processo de secagem, porém por falta de incentivo e investimento ainda é baixa a adesão da casca de arroz como fonte de energia (DE OLIVEIRA, 2016).

Outras alternativas de matéria-prima (MP) para a compactação são igualmente viáveis àquelas citadas anteriormente, dentre elas estão os resíduos de algodão, trigo, café, coco verde, madeira em geral, dentre outros resíduos lignocelulósicos (DIAS *et al.*, 2012) além de resíduos oriundos de materiais graxos como óleos residuais vegetais que tendem a aumentar o poder calorífico quando misturados a resíduos lignocelulósicos.

A briquetagem apresenta mais vantagens frente à peletização, principalmente em termos das características da matéria-prima, pois teores mais altos de umidade e partículas maiores podem ser empregados para produção de um briquete de boa qualidade (TUMULURO *et al.*, 2010) sendo este uma limitação da produção de pélete, que está restrito a um baixo teor de umidade e pequenas partículas em relação ao briquete. Além disso, o briquete possui um menor custo de produção em relação ao pélete (METALZAN, 2021). Devido às vantagens que o briquete apresenta em comparação ao pélete optou-se por empregar o processo de briquetagem no presente estudo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é realizar a síntese, dimensionamento e análise do processamento de resíduos lignocelulósicos e matéria graxa, para a produção de briquetes, bem como sua avaliação econômica.

1.2.2 Objetivos específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos,

Fase 1:

- (i) Pesquisa bibliográfica;

- (ii) Análise e otimização da composição química pela margem bruta, utilizando programação linear;
- (iii) Síntese estrutural do processo por meio de árvore de estados para a melhor rota;
- (iv) Otimização estrutural para obtenção do fluxograma próximo ao ótimo por meio de regras heurísticas.

Fase 2:

- (i) Dimensionamento e otimização de condições operacionais do fluxograma próximo ao ótimo visando o menor custo;
- (ii) Realização da análise econômica preliminar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é descrito a definição de briquete e pélete bem como o pré-processo e processo de produção, além dos principais equipamentos a serem empregados em cada etapa.

2.1 BRIQUETE E PÉLETE

O briquete consiste em uma lenha ecológica, oriunda do processo de secagem e prensagem de biomassa em pó ou serragem podendo ser dos mais variados tipos, como RPA, RSU, resíduo de madeira em geral, casca de arroz, casca de amendoim, casca de cacau, dentre outros (DE OLIVEIRA, 2019). A Figura 1 mostra briquetes produzidos com diferentes matérias-primas com o objetivo de comparar suas propriedades físico-químicas, como por exemplo, a durabilidade, que se diferencia de acordo com o tipo de matéria-prima utilizada.

Figura 1- Briquetes de: a) Palha de milho; (b) Grama; (c) Capim-bravo.



Fonte: KARUNANITHY *et. al*, 2012.

A briquetagem corresponde à geração de briquetes por meio do processo de secagem e prensagem com elevadas pressões para o melhor aproveitamento energético, visto que os briquetes possuem um melhor potencial na geração de calor, ou seja, energia, em relação à biomassa originária (SCHÜTZ; ANAMI; TRAVESSINI, 2010). Esta lenha ecológica pode ser queimada gerando calor podendo substituir o gás, a energia elétrica ao utilizar geradores, o carvão vegetal e mineral, dentre outros combustíveis sendo um substituto direto da lenha em aplicações residenciais, industriais e comerciais tais como padaria, pizzaria, fábrica de alimentos, indústrias químicas, têxteis dentre outros (DA SILVA; CARNEIRO; MATOS, 2017).

Devido à falta de resistência a compressão que alguns tipos de materiais apresentam ao impacto após a compactação, é necessário a utilização de aglutinantes. Porém, quando se utiliza a biomassa oriunda da madeira, não se faz necessário o uso de aglutinante, devido à presença da lignina em sua composição visto que em temperatura acima de 100 °C, da qual é utilizada durante a briquetagem pelas briquetadeiras, a lignina atua como uma “cola” entre as partículas durante a compactação (DE BARROS, 2013). Nesse caso, a adição de óleo e matéria graxa reforça o poder calorífico do produto e também atua como aglutinante, reforçando o papel da lignina aquecida (SALEME, 1992).

O pélete, muito semelhante ao briquete, é um biocombustível granulado constituído por biomassa vegetal da qual é moída e compactada a alta pressão e possuem o formato cilíndrico (QUÉNO et al., 2019) conforme pode ser visto pela Figura 2. Deve ser produzido com baixo teor de umidade (inferior a 10%) para uma elevada eficiência na combustão. A principal diferença entre o pélete e o briquete, consiste em seus aspectos físicos: o briquete possui maior diâmetro, comprimento e também densidade em relação ao pélete (COLLARES; BARBOSA, 2012).

Assim como o briquete, o pélete pode ser produzido por meio de diferentes tipos de biomassa, como por exemplo, RPA, RSU, cascas de amendoim, palha de milho, dentre outros. O pélete também é empregado como combustível na geração de energia elétrica em plantas industriais e em termoelétricas, favorável ao meio ambiente, pois o CO₂ emitido de sua queima é recuperado no crescimento de sua biomassa, como por exemplo, no desenvolvimento de árvores (GARCIA; CARASCHI; VENTORIM, 2013).

Figura 2 - Péletes.



Fonte: GARCIA; CARASCHI; VENTORIM, 2013.

O processo de briquetagem em comparação ao pélete, não exige que a MP seja triturada uniformemente, resultando em menos preparação sendo deste modo um processo mais eficiente devido sua simplificação e de menor custo, pois demanda menos energia (AUSTIN, 2010, *apud* TUMULURU et al., 2010). A Tabela 1 resume a diferença do briquete e pélete com relação ao aspecto físico.

Tabela 1 - Comparativo entre briquete e péletes.

	Densidade (kg/m ³)	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Processo de Produção
Briquete	650-1200	60	25-300	Não exige uma trituração uniforme
Pélete	650-700	6-16	25-30	Exige uma trituração uniforme

Fonte: COLLARES; BARBOSA, 2012.

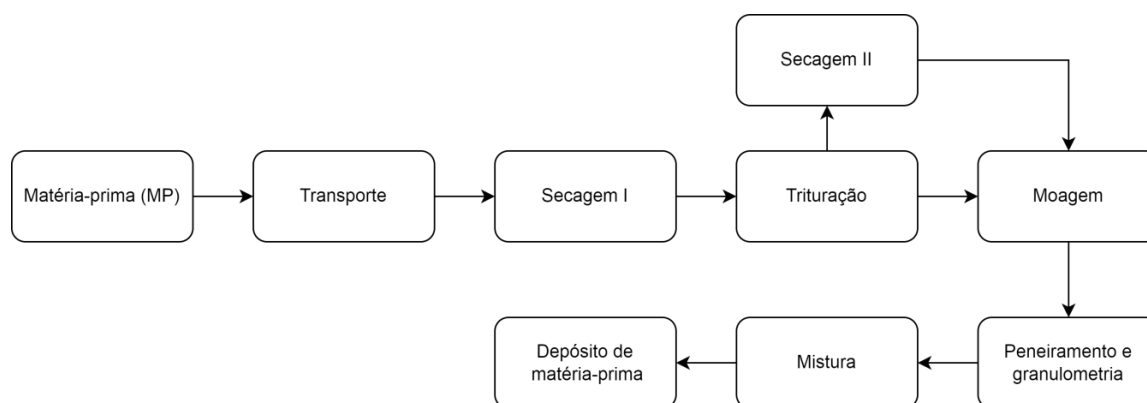
2.2 PROCESSOS DE BRIQUETAGEM E PELETIZAÇÃO

Neste item serão descritas todas as etapas de produção do briquete e pélete. O processo é dividido em duas etapas, sendo a primeira etapa o pré-processo de produção no qual detalha a preparação da MP. A segunda etapa é a compactação podendo ser realizada pelo processo de briquetagem ou pelo processo de peletização, além da destinação final do produto.

2.2.1 Pré-processo de Produção

De acordo com de Oliveira (2016), Obernberger e Thenk (2010), antes de ocorrer o processo de briquetagem ou peletização, a matéria-prima passa por algumas etapas que podem ser visualizadas pelo fluxograma da Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do pré-processo de produção.



Fonte: Autora (2022), com base em Dias *et al.* (2012) e De Oliveira (2016).

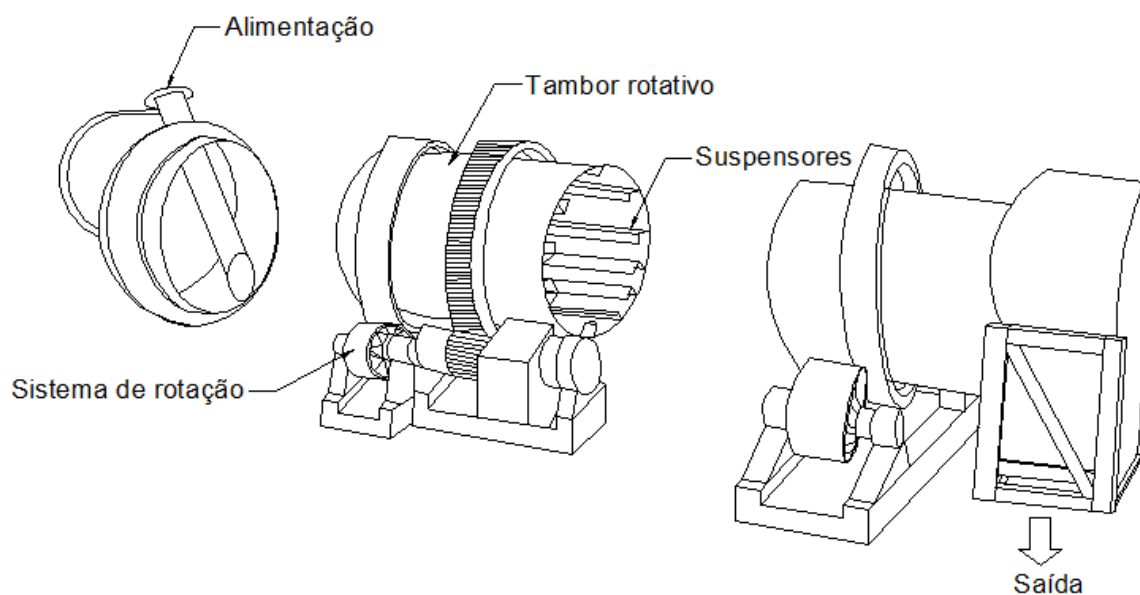
A seguir serão descritos cada etapa citada anteriormente:

(a) Matéria-Prima (MP): é preciso determinar o tipo de MP e suas características como tamanho da partícula, densidade e umidade bem como o tipo de briquete/pélete que se deseja obter (MORO, 1987, *apud* VIEIRA, 2014).

(b) Transporte: devido ao custo elevado, procura-se sempre MP mais próxima, com no máximo 100 km de distância entre a MP e a empresa que deve realizar a compactação (DE OLIVEIRA, 2016).

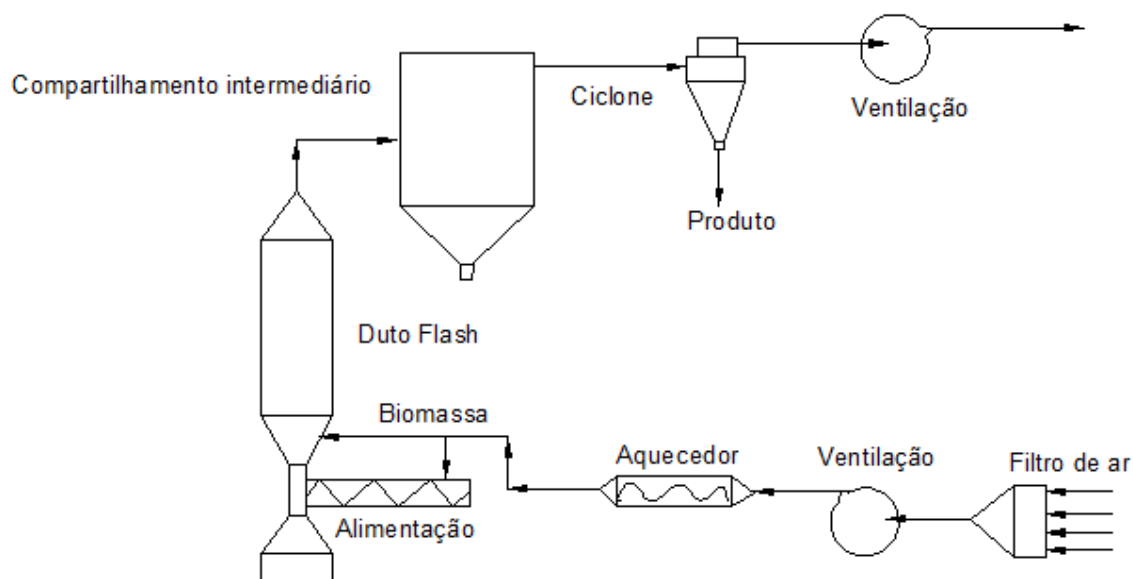
(c) Secagem I: a serragem geralmente é úmida e precisa ser seca antes de ser triturada (OBERNBERGERM; THEK, 2010). Ocorre quando for necessária sua aplicação, em materiais úmidos, para deixar o material com a umidade ideal para o processo (VIEIRA, 2014). De acordo com Dias *et al.* (2012), o teor de água ideal para a maioria das biomassas está entre 5-10%. Os secadores empregados para secagem da MP são dos tipos diretos e indiretos. No secador direto, o ar quente ou gases, são misturados com os materiais enquanto que nos indiretos não há mistura com ar quente ou gases. A secagem indireta se baseia em transferir o calor para os materiais através de superfícies metálicas sendo menos eficiente e caro por necessitarem de maior área de transferência de calor o tornando-os mais volumosos. Normalmente se utilizam secadores rotativos (diretos ou indiretos) (Figura 4), ou do tipo “flash” (direto) (Figura 5), sendo este último, o mais adequado para a secagem da biomassa (DIAS *et al.*, 2012).

Figura 4 - Secador do tipo rotativo.



Fonte: Autora (2022), com base em Silva *et al.* (2012).

Figura 5 - Secador do tipo "flash".



Fonte: Autora (2022), com base em Dias *et al.* (2012).

(d) Trituração: processo pelo qual a matéria prima é transformada em partículas menores para ser utilizada no processo de briquetagem/peletização (DE OLIVEIRA, 2016). A trituração da matéria-prima antes e depois da secagem é frequentemente utilizada (OBERNBERGERM; THEK, 2010). Os produtos da

trituração, geralmente, são pequenas partículas da biomassa original no qual deve ser avaliada a necessidade de seguir para o processo de moagem (DIAS *et al.*, 2012). A Figura 6 apresenta um triturador típico utilizado no processo de trituração da madeira.

Figura 6 - Triturador de madeira.

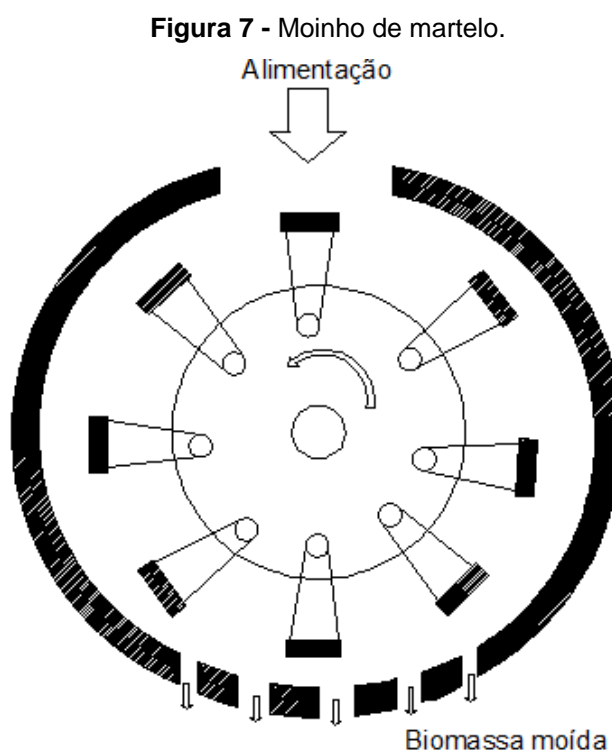


Fonte: CREMASCO, 2019.

(e) Secagem II: após o processo de trituração, dependendo das características físico-químicas da matéria-prima é obtido um material seco e quebradiço ou um levemente pastoso (DIAS *et al.*, 2012) sendo esta característica em função do tipo de matéria-prima a ser processada. Se for obtido um produto pastoso, com elevado teor de umidade, esta etapa é realizada com a finalidade de evitar problemas como entupimento de orifícios na moagem (OBERNBERGERM; THEK, 2010), além de evitar a degradação da matéria-prima por microrganismos ou condições climáticas (DIAS *et al.*, 2012).

(f) Moagem: se após a trituração, a matéria-prima ainda não estiver com o tamanho necessário, será encaminhada a secagem (se necessário novamente) e por fim a moagem. A moagem permite a quebra da partícula e da lignina, aumentando a área de contato e resulta em ligações mais fortes, conseqüentemente em um produto mais resistente. O tamanho da partícula é de suma importância visto que determina a qualidade e durabilidade do produto. Partículas menores geram produtos de maior densidade devido a menor

porosidade, entretanto a baixa porosidade dificulta a queima devido ao menor número de espaços livres para difusão do calor (DIAS *et al.*, 2012). A matéria-prima úmida geralmente é mais difícil de moer, pois o material tende a cegar as telas ao entupir os orifícios, mas o risco de incêndios e explosões é reduzido pelo processamento de material úmido em um moinho de martelos (Figura 7) (OBERNBERGERM; THEK, 2010).



Fonte: Autora (2022), com base em Unit Operations in Food Processing.

Outros moinhos podem ser utilizados também como moinho de facas, de esferas ou mesmo o picotador/triturador dos quais devem ser avaliados para obtenção do tamanho de partícula desejado (DIAS *et al.*, 2012).

(g) Peneiramento e granulometria: essa etapa é realizada para retirar partículas de tamanho inadequado sendo realizado em peneira fechada para evitar problemas de poeira e de autolimpeza para que não ocorra obstrução dos furos e como consequência redução da eficiência (DIAS *et al.*, 2012). Geralmente, esse processo é realizado em uma peneira rotativa do tipo gaiola que separa as partículas de granulometria indesejada para posterior descarte, permitindo que

apenas seja utilizada a granulometria adequada no processo (DE OLIVEIRA, 2016).

(h) Mistura: a mistura é a inclusão de aditivos a MP, como aglutinantes e lubrificantes, funcionando como agentes ligantes, os quais encarecem os custos de produção (DE OLIVEIRA, 2016). Pesquisas relatam o uso de lignissulfonatos, dolomita, amidos, farinha e casca de batata, alguns óleos de motor e vegetais utilizados como ligantes (TARASOV; SHAHI; LEITCH, 2013). Os agentes ligantes são importantes para a compactação, pois promovem a durabilidade do produto compactado, além de diminuir o consumo de energia (AHN *et al.*, 2014). Recentemente vêm sendo pesquisado o uso de protetores dos efeitos da umidade para melhorar a resistência do briquete quando em contato com a água, como por exemplo, álcool polivinílico (PVA), emulsão de silicone, poliuretano e emulsão acrílica (GUO *et al.*, 2022). A mistura é realizada em câmara de mistura, equipada com sistemas de tubos, para aplicação dos aditivos a MP (DE OLIVEIRA, 2016).

(i) Depósito de matéria-prima: devido ao grande volume, a biomassa é armazenada em campo aberto para garantir a aeração natural, porém em regiões ou período do ano em que ocorre chuva frequente, a biomassa pode ser coberta por lonas impermeáveis, plásticos sob galpão ou cobertura, ou armazenada em silos (DIAS *et al.*, 2012). A matéria-prima seca é armazenada em silo (Figura 8), permitindo uma equalização de teor de umidade. O silo possui uma abertura para evaporação e para condensação de calor (DE OLIVEIRA, 2016).

Figura 8 – Silo de armazenamento.

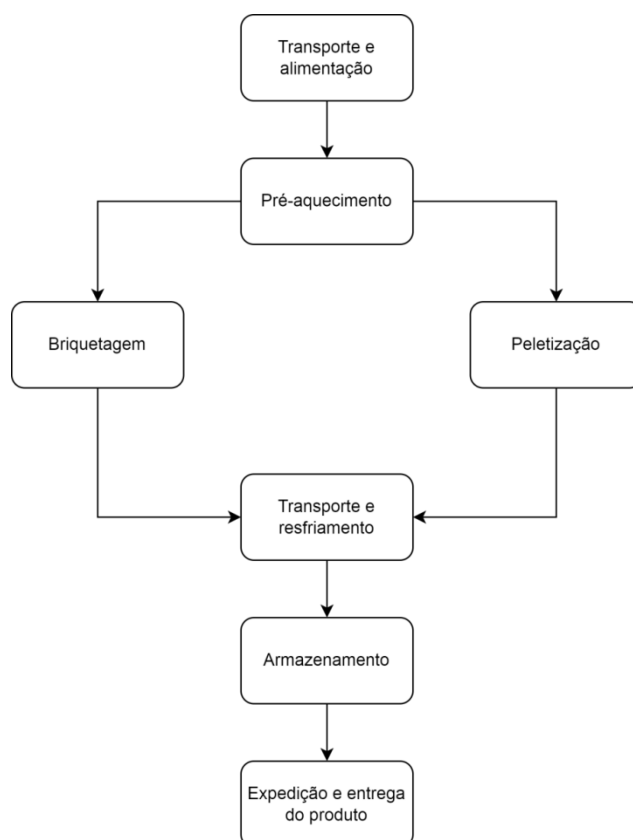


Fonte: DE OLIVEIRA, 2016.

2.2.2 Processo de Produção

Após a realização do pré-tratamento, a matéria-prima seca segue para o processo de briquetagem ou peletização apresentadas no fluxograma da Figura 9.

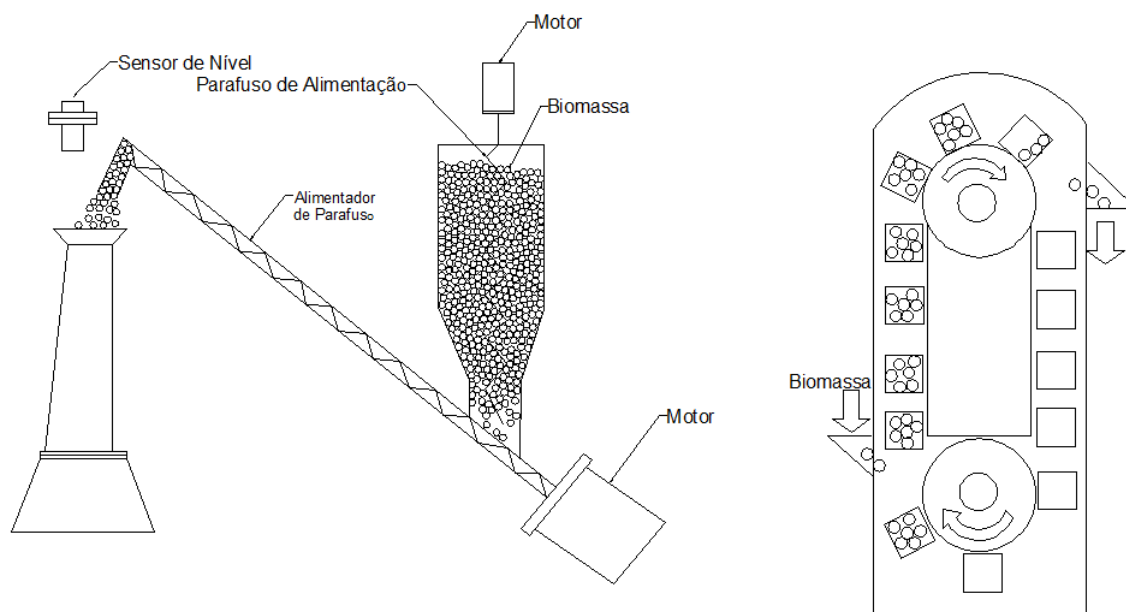
Figura 9 - Fluxograma do processo de prensagem.



Fonte: Autora (2022), com base em Dias *et al.* (2012) e De Oliveira (2016).

Alimentação: de acordo com Dias *et al.* (2012), o material a ser briquetado é transportado até o pré-aquecedor, que pode ser de dois tipos: transportadores do tipo rosca sem fim ou elevadores de caneca (Figura 10). Deve ser realizada uma alimentação de cerca de 15 a 20% mais elevada do que a produção, para que não corra risco de faltar alimentação para a prensadora (DIAS *et al.*, 2012). O dispositivo alimentador tem a função de retirar do depósito a MP e alimentá-la a vazão constante no transportador ou no processo onde será utilizado (GOMIDE, 1983).

Figura 10 - Alimentador tipo (a) caneca e (b) rosca sem fim.



Fonte: Autora (2022), com base em JMS Barroso Equipamentos Industriais.

Pré-aquecimento: antes de ocorrer o processo de prensagem, a temperatura da alimentação é aumentada com o objetivo de ativar os ligantes naturais (lignina) ou dos aditivos adicionados na mistura para se obter produtos mais resistentes. Dependendo do tipo da matéria-prima empregada, pode ocorrer combustão espontânea ou decomposição devido ao aquecimento, por isso, a temperatura máxima de pré-aquecimento deve ser restrita a faixa de 250-300 °C (DIAS *et al.*, 2012). De acordo com Dias *et al.* (2012), as vantagens do pré-aquecimento são:

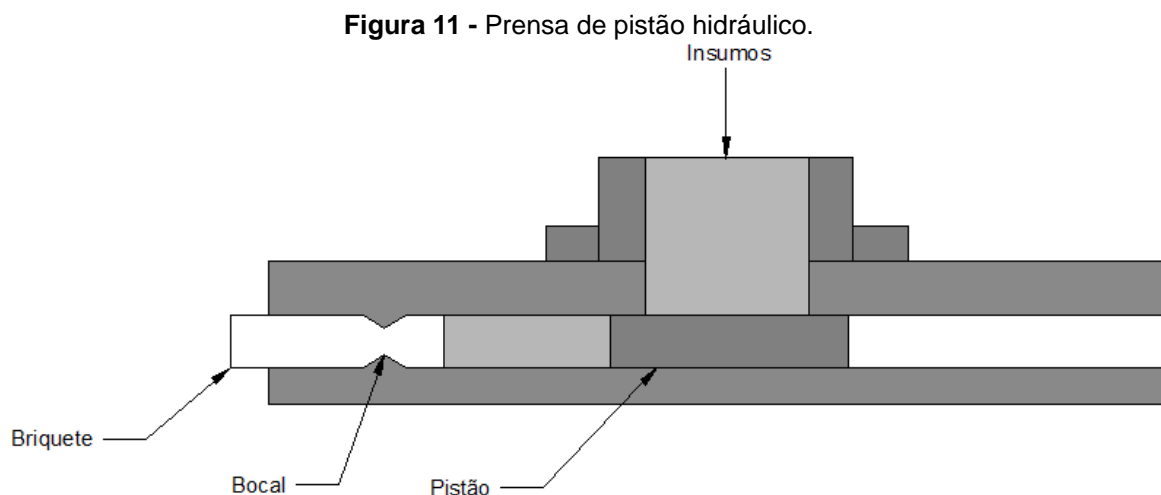
- Redução da pressão necessária para a compactação devido à diminuição da resistência da fibra causada pelo seu aquecimento;
- Ocorre a redução de fungos e bactérias no produto final;
- Maior produtividade: as fibras mais maleáveis resultam em maior fluidez no processo;
- Parte da energia que seria empregada para o aquecimento da matéria prima durante a prensagem é reduzida devido a etapa de pré-aquecimento empregada;
- Aumento da densidade do produto final;
- Aumento da resistência do produto final;

A etapa de pré-aquecimento pode ser realizada pelo aquecimento direto, no qual inclui fricção, aquecimento em leito fluidizado ou acondicionamento a vapor. O aquecimento também pode ser feito indiretamente por meio do aquecimento com resistor elétrico ou trocadores de calor com óleo térmico (DIAS *et al.*, 2012).

Briquetagem: é a etapa que define a forma final do briquete conforme a prensa utilizada (FENERICK *et al.*, 2019). Existem diferentes tipos de briquetadeiras, cada uma com seu princípio de funcionamento, que podem atuar por pressão ou por extrusão, sendo descritas a seguir (DIAS *et al.*, 2012):

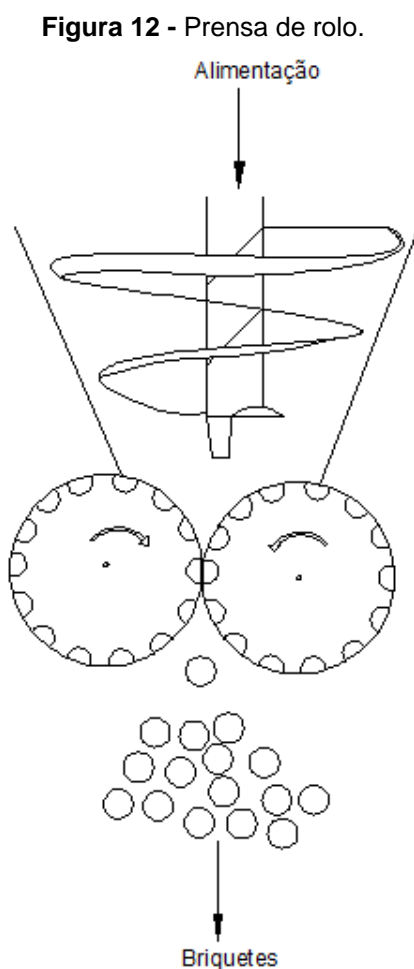
Prensas de pistão mecânico: um pistão que se movimenta alternadamente para compactar a MP presente em sua matriz, da qual é constituída por um duto afunilado circular que possui a função de compactar e extrusar na forma de briquete. O movimento do pistão geralmente é movido por energia elétrica por meio de uma biela.

Prensa de pistão hidráulico: um sistema hidráulico de óleo a alta pressão transmite a energia de um motor elétrico para o pistão. O cilindro hidráulico produz a pressão necessária para a compactação e ao atingir a pressão necessária, libera o briquete. A pressão é inferior a da prensa mecânica, possuindo menor produtividade. A Figura 11 mostra um esquema de funcionamento da prensa de pistão.



Fonte: Autora (2022), com base em Bhattacharya, Sett e Shreshtha (1989).

Prensa de rolos: a alimentação da MP ocorre na parte superior, por meio de um funil com abas inclinadas, podendo ser feito por gravidade ou por roscas sem fim sendo esta ultima a que gera maior produtividade. A alimentação segue para dois rolos de diâmetro iguais que giram horizontalmente em direções opostas em eixos paralelos. O diâmetro do briquete pode ser ajustado, uma vez que um dos rolos permite sua regulação. Obtêm-se através da passagem da MP entre os rolos o briquete em formato de pequenas bolsas conforme pode ser visualizado pela Figura 12. É o processo que menos consome energia, porém o briquete produzido é menos denso, inviabilizando sua carbonização.



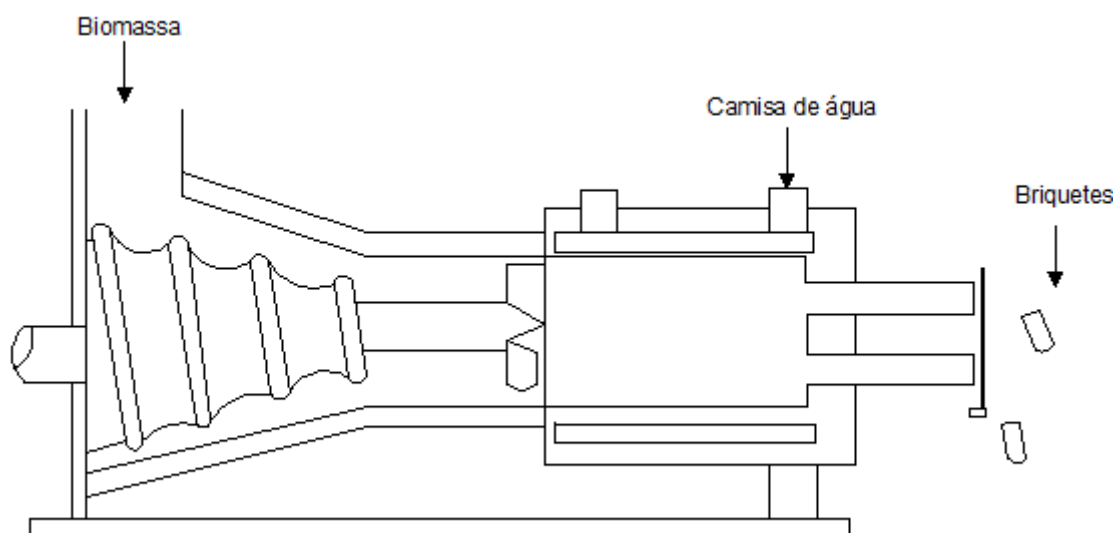
Fonte: Autora (2022), com base em Target.

Prensa extrusora de rosca: seu funcionamento baseia-se em uma rosca que transporta e empurra a MP pela matriz, sofrendo extrusão e formando o briquete. A matriz é quem dita a forma do briquete, isto é, quem molda o briquete existindo

diversas formas. O briquete feito pela prensa extrusora de rosca possui alta qualidade e operação com baixos ruídos, porém possui um alto consumo de energia elétrica. Existem três tipos de prensa de roscas das quais serão descritas a seguir:

- a) Prensa com rosca cônica: a MP é pré-compactada em uma antecâmara e sua compactação ocorre em um cabeçote de compactação e o briquete é obtido na matriz. Devido ao alto aquecimento é necessário um sistema de resfriamento ao redor da matriz. Como desvantagem está o desgaste rápido da parte frontal e o alto custo de reposição de peças. Um esquema da prensa de rosca cônica está apresentado na Figura 13.

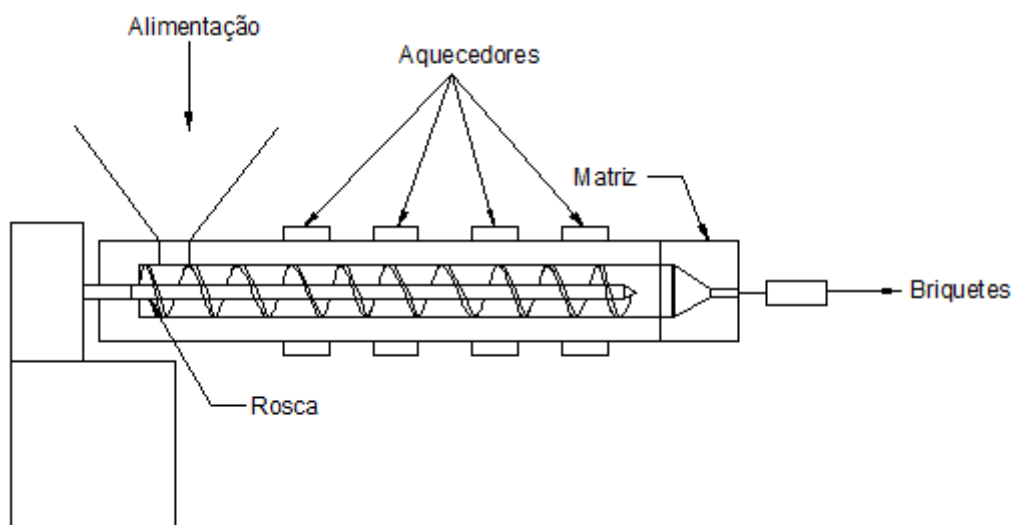
Figura 13 - Prensa de rosca cônica.



Fonte: Autora (2022), com base em Bhattacharya, Sett e Shreshtha (1989).

- b) Prensa com rosca cilíndrica e matriz aquecida: a rosca transporta e empurra a MP contra a matriz, e a MP acumulada na matriz exerce uma contrapressão comprimindo-se e se empurra pela rosca, compactando-se (Figura 14). É necessário aquecimento da matriz para obter temperaturas ideais de trabalho (250-300 °C) no qual pode ser realizada com resistores elétricos ou com uma pequena fornalha que envolva a matriz próxima a descarga do briquete, porém esse aquecimento faz com que seja requerida uma chaminé para a coleta da fumaça gerada.

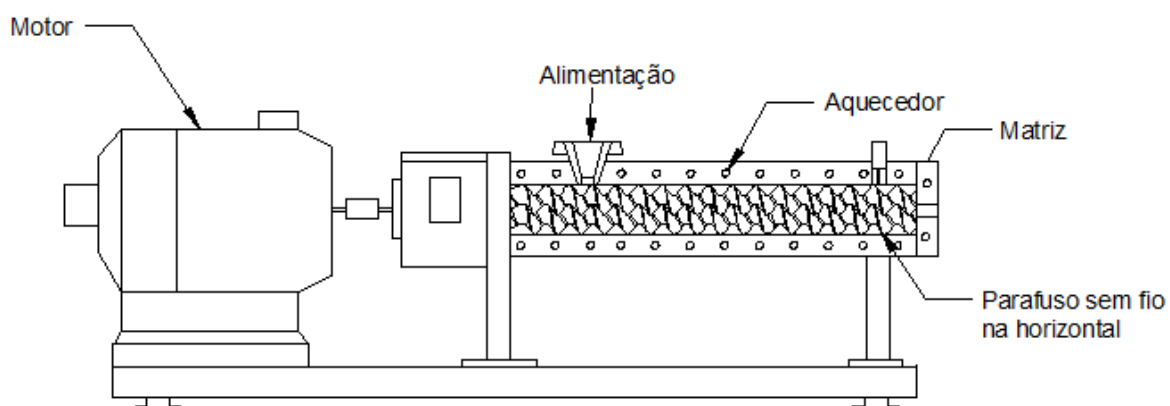
Figura 14 - Prensa com rosca cilíndrica e matriz aquecida.



Fonte: Autora (2022), com base em Bhattacharya, Sett e Shreshtha (1989).

- c) Prensa de rosca dupla: seu funcionamento baseia-se por um par de roscas acopladas em eixos paralelos que empurram o material (Figura 15). O seu diferencial está na vantagem em extrusar partículas de tamanho superior as demais prensas de rosca (até 80 mm) e elevada taxa de umidade (até 25%), porém possui um alto gasto de energia quando comparado à prensa pistão.

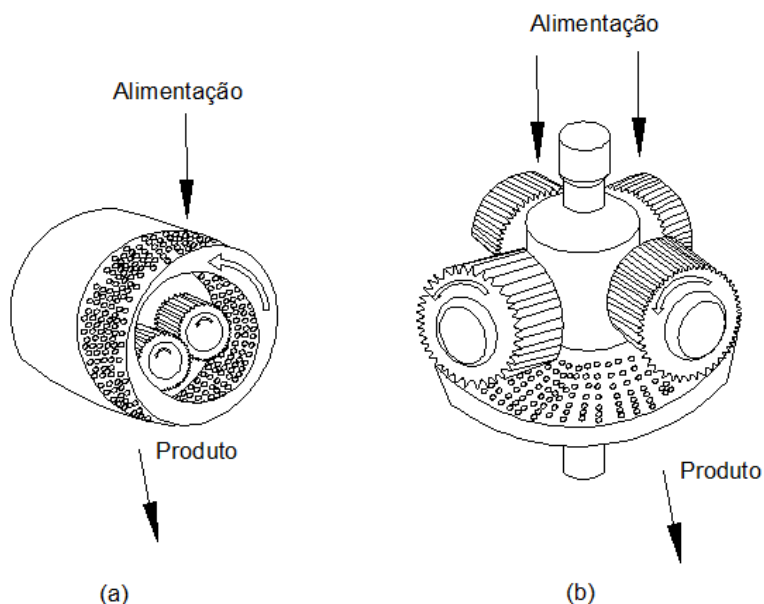
Figura 15 - Prensa de rosca dupla.



Fonte: Autora (2022), com base em Springer Images.

Peletização: A peletização é realizada pela prensa peletizadora que opera pelo processo extrusivo (DE OLIVEIRA, 2016). Seu princípio de funcionamento baseia-se por um ou mais rolos que giram contra uma matriz constituída de vários furos de pequeno diâmetro. A MP é alimentada entre os rolos e a matriz, no qual a passagem do rolo provoca a extrusão do material através dos furos. Na saída dos furos os péletes são cortados com uma faca, resfriados e caem posicionados em sua embalagem comercial (DIAS *et al.*, 2012). Existem dois tipos de matriz, axial (anelar ou cilíndrica) e plana conforme pode ser visualizado na Figura 16 (DE OLIVEIRA, 2016).

Figura 16 - Peletizadora de matriz anelar (a) e plana (b).



Fonte: Autora (2022), com base em Kaltschmitt, Hartmann e Hofbauer (2009).

Transporte e resfriamento: essa etapa é realizada a depender da temperatura do briquete/pélete e ocorre a temperatura ambiente. Em geral, a temperatura após a compactação é de 60 a 80 °C com teor de umidade de 8 a 9% (DE OLIVEIRA, 2016). O resfriamento ocorre através de um transportador, podendo ser uma esteira de aço perfurada ou trilho, que transporta o briquete/pélete até a próxima etapa e durante esse transporte a temperatura diminui (DIAS *et al.*, 2012) assim como a umidade, tornando-os rígidos e facilitando sua armazenagem (DE OLIVEIRA, 2016).

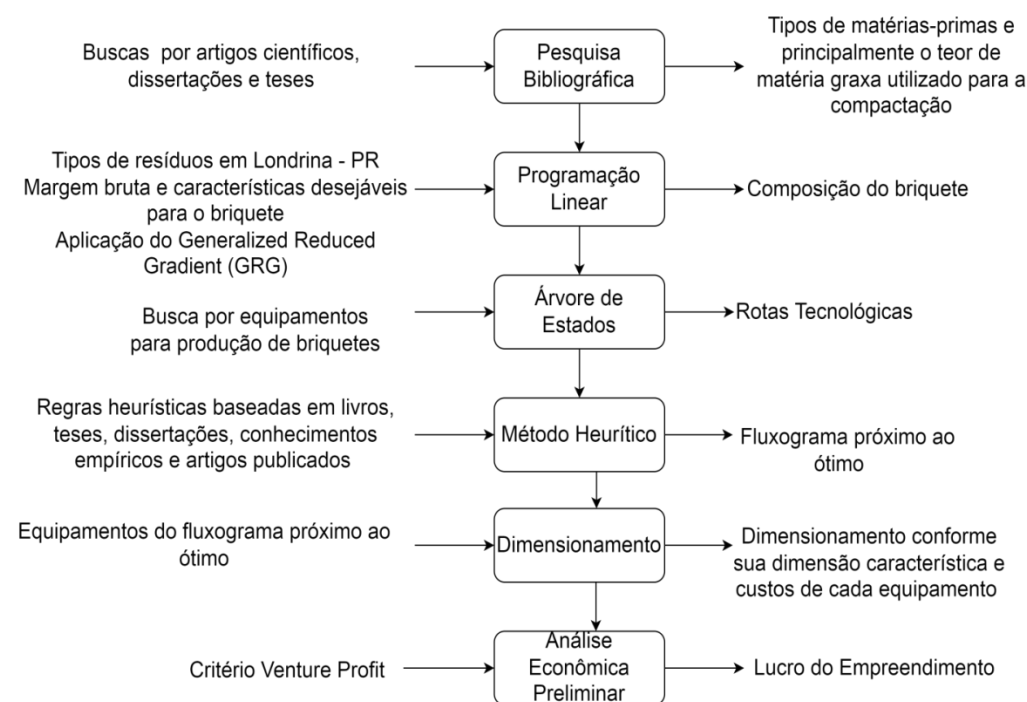
Armazenamento: de acordo com De Oliveira (2016), o produto pode ser armazenado em silo no caso de péletes ou em sala de armazenamento no caso de briquetes, porém devem ser tomados cuidados especiais para evitar o desenvolvimento de bactérias ou fungos, apesar da baixa taxa de umidade que possuem. As embalagens devem ser feitas com materiais que vedem absorção de umidade (DIAS *et al.*, 2012). Geralmente as embalagens são de pequeno porte (3 a 10 kg) feitas de sacos de papel ou polietileno e também de grande porte (500 kg) do tipo *big-bag* de polipropileno. São ainda envoltas com um filme plástico a fim de garantir proteção contra umidade em seu ambiente de armazenamento (LIPPEL, 2014).

Expedição e entrega do produto: essa é a última etapa do processo, constituída pela expedição, venda e entrega do produto ao cliente final. O frete pode ser realizado pela empresa responsável pela produção (nesse caso o frete está incluso no valor do produto) ou terceirizado (DE OLIVEIRA, 2016).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia empregada para realização do trabalho. Inicialmente foi realizada a pesquisa bibliográfica, seguido da programação linear, árvore de estados, método heurístico, dimensionamento e por fim a análise econômica preliminar. A Figura 17 exhibe o resumo da metodologia empregada para a realização do estudo e que será descrita no presente capítulo. A seta indica a direção do fluxo conforme a sequência realizada (à esquerda) para alcançar o resultado desejado (à direita).

Figura 17 - Resumo da metodologia empregada no estudo.



3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Na pesquisa bibliográfica serão apresentados os resultados da busca por artigos científicos, dissertações e teses que tratam do processo de compactação de matérias-primas lignocelulósicas utilizando óleo ou matéria graxa como aglutinantes.

Adotaram-se os seguintes critérios de inclusão: artigos, dissertações ou teses escritos independente do idioma utilizando ao menos uma

matéria-prima lignocelulósica com matéria-graxa em sua composição. Foi utilizada como critério de exclusão a baixa qualidade do produto compactado, excluindo aqueles estudos que obtiveram produtos quebradiços e com baixa resistência.

Para realização da busca foi utilizado à plataforma de busca periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Google acadêmico, sem limite de período de publicação. Foram utilizadas as palavras-chaves: briquete, graxa, óleo, péletes, matéria-prima e lignocelulósicos.

3.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O método utilizado para resolução do presente problema de otimização é denominado como *Generalized Reduced Gradient* (GRG), do qual pode ser utilizado para resolução de problemas lineares e não lineares, utilizando uma variação do método de Newton para resolução do problema (ROSAL; CIRILO, 2007).

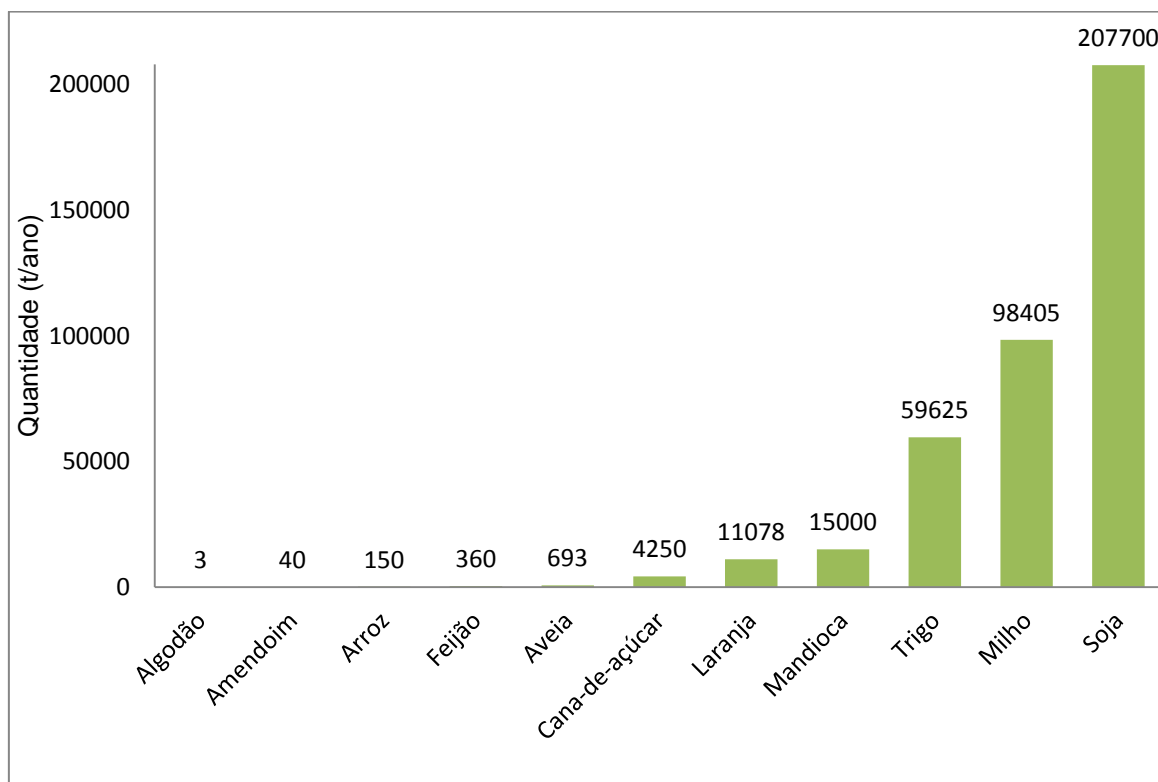
O problema do presente estudo possui a função objetivo e as restrições lineares, foi utilizado o método GRG, pois permite uma análise de sensibilidade mais extensa e representa mais adequadamente a realidade, visto que a maioria dos fenômenos está dentro das relações observadas empiricamente (como resultado de processo ou características de qualidade) e relações deduzidas estruturalmente englobando fenômenos físicos deduzidos matematicamente (BASTOS, 2018).

Para simplificação do método suponhamos que temos uma função do tipo $Y=F(x)+\varepsilon$ sendo x a variável dependente, y a variável independente e ε os erros associados. O objetivo é ajustar a função $F(x)$ aos dados empíricos de modo a minimizar os erros, ou seja, minimizar a soma dos quadrados dos erros. Portanto, é preciso encontrar soluções de modo que a distância vertical entre os dados e a curva do modelo seja mínima (ESTEVES, 2008). Foi utilizado neste trabalho um sistema de restrições que pode ser resolvido aplicando uma variante do método de Newton proposta por Lasdon *et al.* (1978), que pode ser resumido abaixo:

- a) Se o método de Newton convergir, as restrições ou limites de variáveis básicas (subconjunto da função $F(x)$) podem ser violados;
- b) É determinado um novo valor, no qual pelo menos uma nova restrição ou variável esteja em seu limite e todas as outras sejam satisfeitas;
- c) Se, neste novo ponto, o objetivo for menor do que em todos os pontos anteriores, a nova restrição é adicionada ao conjunto de restrições de vinculação;
- d) Encerra-se a busca unidimensional e a solução de um novo problema reduzido começa;
- e) A busca continua até que seja encontrado um valor objetivo que seja maior que o valor anterior;
- f) Em seguida, uma quadrática é ajustada valores do mínimo. F é avaliado no mínimo dessa quadrática, e a busca termina com o valor mais próximo de F encontrado. O problema reduzido permanece o mesmo.

O objetivo da programação linear no presente trabalho é a obtenção da composição de um conjunto de matérias-primas. Por meio do uso de três diferentes matérias-primas em conjunto com uma matéria graxa, foi possível encontrar diversas composições distintas e através da maior margem bruta dentre elas foi possível definir a composição das matérias-primas a serem utilizadas nesse trabalho.

Para realização da programação linear, primeiramente foi necessário a escolha de uma região de estudo para que através desta, fosse possível obter as matérias-primas a serem empregadas. A escolha da cidade para a realização do presente estudo baseou-se principalmente na diversidade de produção de produtos lignocelulósicos. A cidade de Londrina - PR apresenta uma diversificação da produção agrícola (BARBERATO, 2001), além de ser a segunda maior cidade do Paraná com uma população estimada em 580.870 pessoas (IBGE, 2021). As quantidades de produção para Londrina – PR pode ser visualizado pela Figura 18.

Figura 18 - Produção agrícola em quantidade para a cidade de Londrina - PR.

Fonte: Autora (2022), com base em IBGE (2021).

Os resíduos e as matérias graxas listadas destacam-se em produção na região de Londrina – PR. A cidade produz cerca de 384 t/ano de resíduos de poda de árvore, 710 m³/ano de óleo residual de cozinha e 1.697 m³/ano de óleo lubrificante residual (LONDRINA, 2021). O Quadro 1 exhibe os resíduos lignocelulósicos e materiais graxos que foram considerados para este estudo bem como suas respectivas propriedades.

Quadro 1 - Principais resíduos produzidos na cidade de Londrina.

Matéria-prima	Teor de Umidade (%)	Teor de cinzas (%)	Matéria volátil (%)	Carbono fixo (%)	Poder calorífico MJ/kg	Referência
Farelo de soja	9,89	5,80	84,21	0,10	20,06	SILVA <i>et al.</i> (2020) e SILVA (2018)
Casca de soja	3,71	6,25	90,02	0,20	20,71	SILVA <i>et al.</i> (2020) e SILVA (2018)
Palha de milho	9,90	4,00	82,80	3,30	17,50	SILVA <i>et al.</i> , 2019
Sabugo de milho	2,50	2,50	87,50	7,50	18,56	FAUSTINO <i>et al.</i> , 2019
Palha de trigo	7,40	8,90	68,30	15,40	14,27	WANG <i>et al.</i> , 2009
Bagaço cana-de-açúcar	8,40	6,20	77,80	7,60	19,30	SILVA <i>et al.</i> , 2019
Resíduo de poda de árvore	12,00	13,60	67,80	6,60	17,53	SILVA, 2016a
Bagaço de Laranja	6,15	2,66	70,33	20,86	17,26	BHATTACHARJEE & BISWAS, 2020
Resíduo de feijão	10,00	7,50	69,00	13,50	17,07	MADALENA, 2020
Resíduo de mandioca	23,46	5,48	45,72	25,34	25,83	IKELLE <i>et. al.</i> , 2017
Resíduo de Aveia	9,95	2,65	85,86	1,54	17,39	BRUNEROVÁ; BROŽEK; MÜLLER; 2017
Resíduo de amendoim	8,64	3,56	69,40	18,40	20,10	SILVA, (2016b); SILVA (2022)
Resíduo de algodão	7,46	8,35	72,11	12,08	17,07	SILVA, 2019
Casca de arroz	2,69	7,45	71,47	18,47	17,21	ZHOU <i>et al.</i> , 2013
Óleo lubrificante residual	-	0,80	98,88	0,32	45,81	UÇAR; ÖZKAN; KARAGÖZ, 2016
Óleo residual de cozinha	0,42	0,0060	99,11	0,46	41,40	DEMIRBAS, 2009

Fonte: Autora, 2022.

3.2.1 Obtenção da Margem Bruta para a Programação Linear

Considerando a produção anual de fontes residuais lignocelulósicas foi realizado o levantamento de custos dos resíduos disponíveis em sites de compras disponibilizados na internet, sendo eles: MFRURAL (2022) e OLX (2022). Durante a pesquisa, a região de Londrina - PR foi priorizada. O valor de venda do briquete para o cálculo da margem bruta foi baseado também em sites de compras disponibilizados na internet (MFRURAL, 2022 e OLX, 2022), sendo obtido o valor de R\$ 500,00/ton. Os cálculos foram realizados em dólar, pois permite uma constante atualização dos resultados devido à moeda possuir

menos oscilações em relação ao real. Assim, o valor de R\$ 500,00/ton corresponde à US\$ 96,1501/ton (US\$ 1,00 = R\$ 5,2002 para a data de 03 de out. de 2022, Fonte: disponível no site do Banco Central do Brasil). A margem bruta foi obtida pela diferença entre o lucro obtido com a venda do briquete por tonelada e o custo da matéria-prima por tonelada.

O resíduo de poda de árvore, óleo lubrificante residual e óleo de cozinha não possuem valor comercial, sendo então considerado o valor do frete por deslocamento (ANTT, 2022) conforme a distância de 100 km, sendo a distância máxima recomendada por De Oliveira (2016). Para realização da programação linear, foram selecionados três resíduos lignocelulósicos e um material graxo, dos quais possuem a maior margem bruta, sendo que para este último, se considerou o de maior poder calorífico.

As características desejáveis para a matéria-prima que influenciam na qualidade do briquete. Os teores de umidade, cinza, matéria volátil, carbono fixo e poder calorífico são respectivamente 6-14%, $\leq 4\%$, 50-90%, 9-25% e 12-20 MJ/kg (ASAMOHA *et al.*, 2016). Diante do exposto foi considerado três bases com diferentes combinações para realização da programação linear de acordo com os intervalos das características desejáveis conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

Tabela 2 - Bases selecionadas para realização da programação linear.

Base	Teor de umidade (%)	Teor de cinza (%)	Teor de Matéria volátil (%)	Carbono fixo (%)
1	6	1	81	12
2	10	2	71	17
3	14	4	57	25

Fonte: Autora (2022) com base em Asamoha *et al.* (2016).

O intervalo do teor de material graxo foi estimado considerando o Quadro 1, sendo de 5,8-12%. Sendo assim, foi utilizado três intervalos de teor de óleo lubrificante residual (TOL) na composição do briquete: 5,8%, 8,9% e 12,0%.

A programação foi realizada conforme a metodologia adotada por Nascimento, Arrieche e Sartori (2014) em que se variou cada uma das massas das matérias-primas de interesse, ou seja, a massa de bagaço de cana-de-açúcar (m_1), a massa de resíduo de poda de árvore (m_2), a massa de casca de arroz (m_3)

e a massa de óleo lubrificante residual (m_4), onde suas somas (m_t) foi a restrição (objetivo) em que os resultados procuraram se ajustar, tomando como base de cálculo 100 g de briquetes, considerando as bases de referência contidas no quadro 4, para cada teor de MP contidos no Quadro 2, em que U, C, MV e CF correspondem aos teores de umidade, cinzas, matéria volátil e carbono fixo, respectivamente.

Quadro 2 - Informações do briquete padrão (base) e suas respectivas MP.

	U (%)	C (%)	MV (%)	CF (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	8,40	6,20	77,80	7,60
Resíduo de poda de árvore	12,00	13,60	67,80	6,60
Casca de arroz	2,69	7,45	71,47	18,47
Óleo lubrificante residual	0,00	0,80	98,88	0,32

Fonte: Autora (2022) com base em Asamoha *et al.* (2016), Silva *et al.* (2019), Silva (2016), Zhou *et al.* (2013) e Uçar; Özkan; Karagoz (2016).

Assim, pode-se desenvolver o sistema linear de Equações correspondentes a r_1 , r_2 , r_3 e r_4 (Quadro 3) das quais são consideradas restrições. Além das restrições correspondentes ao sistema linear de Equações, cada variável m_1 , m_2 , m_3 e m_4 possuem como restrição os teores extremos dos intervalos das bases. Assim, para cada base e teor de óleo lubrificante considerando as restrições, foi variado o TOL para 5,8, 8,9 e 12,0% conforme pode ser visualizado pelo Quadro 3.

Quadro 3 - Restrições utilizadas para realização da programação.

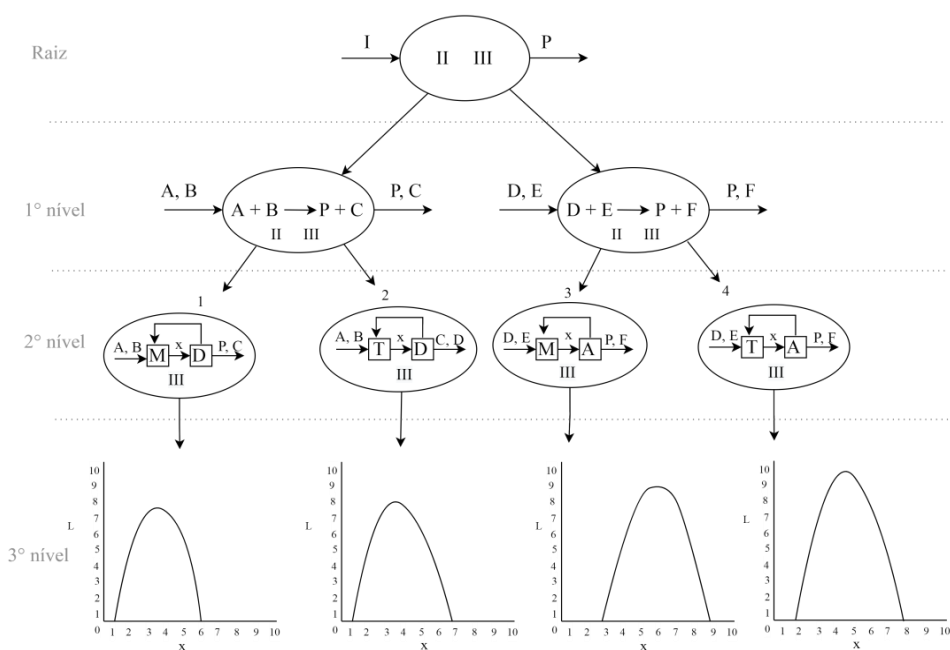
	Base 1	Base 2	Base 3
r_1	$(0,084m_1)+(0,12m_2)+(0,0269m_3)=6$	$(0,084m_1)+(0,12m_2)+(0,0269m_3)+(0m_4)=10$	$(0,084m_1)+(0,12m_2)+(0,0269m_3)+(0m_4)=14$
r_2	$(0,062m_1)+(0,136m_2)+(0,0745m_3)+(0,008m_4)=1$	$(0,062m_1)+(0,136m_2)+(0,0745m_3)+(0,008m_4)=2$	$(0,062m_1)+(0,136m_2)+(0,0745m_3)+(0,008m_4)=4$
r_3	$(0,778m_1)+(0,678m_2)+(0,7147m_3)+(0,9888m_4)=81$	$(0,778m_1)+(0,678m_2)+(0,7147m_3)+(0,9888m_4)=71$	$(0,778m_1)+(0,678m_2)+(0,7147m_3)+(0,9888m_4)=57$
r_4	$(0,076m_1)+(0,066m_2)+(0,1847m_3)+(0,0032m_4)=12$	$(0,076m_1)+(0,066m_2)+(0,1847m_3)+(0,0032m_4)=17$	$(0,076m_1)+(0,066m_2)+(0,1847m_3)+(0,0032m_4)=25$
r_5	$m_1 \geq 6$	$m_1 \geq 6$	$m_1 \geq 6$
r_6	$m_1 \leq 14$	$m_1 \leq 14$	$m_1 \leq 14$
r_7	$m_2 \geq 1$	$m_2 \geq 1$	$m_2 \geq 1$
r_8	$m_2 \leq 4$	$m_2 \leq 4$	$m_2 \leq 4$
r_9	$m_3 \geq 50$	$m_3 \geq 50$	$m_3 \geq 50$
r_{10}	$m_3 \leq 90$	$m_3 \leq 90$	$m_3 \leq 90$
r_{11}	$m_4 \geq 9$	$m_4 \geq 9$	$m_4 \geq 9$
r_{12}	$m_4 \leq 25$	$m_4 \leq 25$	$m_4 \leq 25$
r_{13}	$m_4 = \text{TOL} * 100$	$m_4 = \text{TOL} * 100$	$m_4 = \text{TOL} * 100$

Fonte: Autora, 2022.

3.3 ÁRVORE DE ESTADOS

De acordo com Perlingeiro (2005), a árvore de estados é uma representação em formato de uma árvore invertida conforme pode ser visualizado pela Figura 19.

Figura 19 - Representação de uma árvore de estados.



Fonte: Autora (2022), com base em PERLINGEIRO, 2005.

A raiz representa a produção de um produto P. As três interrogações representam a matéria-prima (I), as dimensões dos equipamentos e das correntes (II), e o fluxograma (III). Supondo por simplicidade que P possui apenas duas rotas químicas: Uma a partir de A e B produzindo o subproduto C e outra a partir de D e E produzindo o subproduto F. Estas rotas representam o primeiro nível da árvore (nível tecnológico) em que temos as matérias-primas (I), porém não há o fluxograma (II), e as dimensões dos equipamentos e correntes (III) (PERLINGEIRO, 2005).

Cada rota química possui por simplicidade dois fluxogramas, correspondente ao segundo nível da árvore (nível estrutural), ou seja, é gerado quatro estados dos quais são soluções parciais do problema, pois existe uma rota e um fluxograma, porém ainda falta definir as dimensões dos equipamentos e das

correntes. O terceiro nível da árvore (nível paramétrico) corresponde às soluções finais plausíveis em que “x” representa a variável do projeto (manipulada e da qual dependem as demais variáveis) e L representa o lucro gerado pelo processo (PERLINGEIRO, 2005).

A árvore de estado irá permitir representar todas as possíveis rotas tecnológicas com diferentes equipamentos conforme a MP definida na etapa anterior.

3.4 MÉTODO HEURÍSTICO

O método heurístico pode ser definido como algoritmos exploratórios que buscam resolver problemas (BUENO, 2009). Através de experiência acumulada em projetos, pode ser resumida em regras heurísticas (PERLINGEIRO, 2005). O método heurístico foi utilizado para obtenção da melhor rota para produção do briquete. Por meio das regras heurísticas, é criado algoritmos de modo a se determinar o fluxograma ótimo para o processo (IMBERTI, 2017). As regras heurísticas foram definidas a partir de análise de livros, teses, dissertações, conhecimentos empíricos e artigos publicados com intuito de obter o fluxograma próximo ao ótimo.

As regras foram organizadas de acordo com os equipamentos necessários para obtenção do produto considerando suas restrições técnicas e o menor custo de produção.

3.5 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

Neste item será descrito a metodologia utilizada para o cálculo de cada equipamento selecionado a partir da árvore de estados, considerando sua dimensão característica, para que através do dimensionamento possa se determinar os custos do processo. O dimensionamento foi iniciado com a peneira vibratória, uma vez que esta possui carga circulante a ser incrementada a alimentação inicial do processo. O Quadro 4 apresenta o resumo do método empregado para a realização do dimensionamento dos equipamentos que serão detalhados no presente capítulo.

Quadro 4 – Equipamentos e método utilizados para o dimensionamento.

Equipamento	Dimensão característica	Método
Peneira vibratória	Área (ft ²)	$A = \frac{S}{CdF_M}$
Motosserra	Vazão volumétrica (m ³ /h)	$V/tempo = \frac{\text{massa (kg)}}{\text{densidade aparente } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot \text{tempo}}$
Britador giratório	Vazão mássica (t/h)	Quantidade de material a ser alimentado na peneira por hora
Moinho de martelo		
Misturador	Volume final (L)	$V_F = V_T - V_V$
Transportador helicoidal	Vazão mássica (t/h)	Quantidade de material passante na alimentação que atravessa a peneira por hora
Alimentador gravimétrico		
Prensa com rosca cilíndrica e matriz aquecida		
Sistema fluido térmico de alta temperatura	Potência (kW)	$P = \frac{Q}{tempo} = \frac{mC_p\Delta T}{tempo}$
Esteira de aço perfurada	Área (m ²)	$A_{esteira} = A_{briquete} \cdot \text{unidades de briquete}$

Fonte: Autora, 2022.

3.5.1 Dimensionamento da Peneira Vibratória

O dimensionamento da peneira consiste em determinar a área da tela em que o material a ser peneirado deve passar em um determinado tempo (hora). A metodologia utilizada no presente trabalho segue o método adotado por Luz, Sampaio e França (2010) que será descrito a seguir.

Por se tratar de um circuito fechado primeiramente se faz necessário considerar não apenas a alimentação inicial, mas também a carga circulante. Para encontrar a carga circulante, inicialmente a vazão de material abaixo da separação requerida (Equação 1) para que a vazão passante seja a de interesse.

$$Q_M = \frac{S}{E_C} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

Q_M = Vazão de material abaixo da separação requerida (t/h);

S = Quantidade de material passante na alimentação que

atravessa a peneira por hora (t/h);

E_C = Eficiência considerada para o peneiramento.

A E_C industrialmente encontra-se entre 80% e 90%, atingindo em alguns casos 95%. O valor de um redutor de tamanho (britador/moinho) é superior a de uma peneira, por isso é preferível uma peneira com uma carga circulante menor. Uma eficiência mais alta resulta em uma maior área, porém em uma carga circulante menor (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010).

Para encontrar a quantidade de material abaixo da separação requerida presente na alimentação inicial, foi utilizada a Equação (2).

$$Q_G = S \cdot T_P \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

Q_G = Vazão de material abaixo da separação requerida presente na alimentação inicial da peneira (t/h);

T_P = Teor de partículas abaixo da separação requerida na alimentação inicial da peneira.

Por se tratar de uma mistura de diferentes materiais, o teor de partículas abaixo da separação requerida na alimentação, pode ser encontrado de acordo com a Equação (3).

$$T_P = \sum MP_i \cdot T_{Pi} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

MP_i = teor da matéria-prima "i" presente na alimentação inicial da peneira, em que "i" representa cada matéria-prima a ser somada;

T_{Pi} = teor de partículas abaixo da separação requerida (4 mm) na alimentação inicial da peneira da matéria-prima "i".

A Tabela 3 exibe os valores de teor de partícula abaixo da separação requerida (4 mm) encontrados pela análise granulométrica das diferentes matérias-primas a serem peneiradas.

Tabela 3 - Teor de partículas abaixo de 4 mm.

Matéria-prima	Teor (%)	Referência
Bagaço de cana-de-açúcar	84,00	DA COSTA <i>et. al</i> , 2015
Resíduo de poda de árvore	48,05	DAVES, 2021
Casca de arroz	77,24	STEUDNER; WIEBECK; CLEMESHA, 2004

Fonte: Autora, 2022.

O teor de matéria-prima manteve a proporção da composição resultante da programação linear correspondente a 14,57% de bagaço de cana-de-açúcar, 4,16% de resíduo de poda de árvore, 75,23% de casca de arroz e 6,04% de óleo lubrificante residual. O teor das partículas sólidas deve obedecer a proporção obtida para a composição do briquete. Considerando que deve ser adicionado 100% de partículas sólidas, a composição a ser considerada para o peneiramento é de 16,58% de bagaço de cana-de-açúcar, 6,17% de resíduo de poda de árvore e 77,25% de casca de arroz. Observe que o teor de óleo lubrificante residual foi dividido em frações iguais para cada sólido, mantendo desta maneira a proporção. Substituindo os teores definidos para adição de partícula sólida na Equação 3 e considerando os dados da Tabela 3, obtém-se a percentagem de partículas menores de 4 mm presente na mistura, conforme pode ser visualizado a seguir.

$$T_p = (0,1658 \cdot 0,84) + (0,0617 \cdot 0,4805) + (0,7725 \cdot 1) = 0,94 \text{ (94\%)}$$

Portanto, cerca de 94% da mistura de bagaço de cana-de-açúcar resíduo de poda de árvore e casca de arroz, a ser adicionada na peneira, possui partículas menores que 4 mm (5 mesh).

A carga circulante (CC) que deverá retornar ao britador para ser utilizada no processo de peneiramento novamente, será encontrada por meio da Equação (4).

$$CC = Q_M - Q_G \quad \text{Equação (4)}$$

Por fim, a alimentação inicial (AI) é dada pela Equação (5).

$$AI = CC + S \quad \text{Equação (5)}$$

A área total (A) pode ser determinada pela Equação (6).

$$A = \frac{S}{CdF_M} \quad \text{Equação (6)}$$

Em que:

C = capacidade básica de peneiramento ($t/h \times 0,09 \text{ m}^2$);

$$d = \frac{\text{peso específico(densidade) aparente do material alimentado } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}{1.602 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}$$

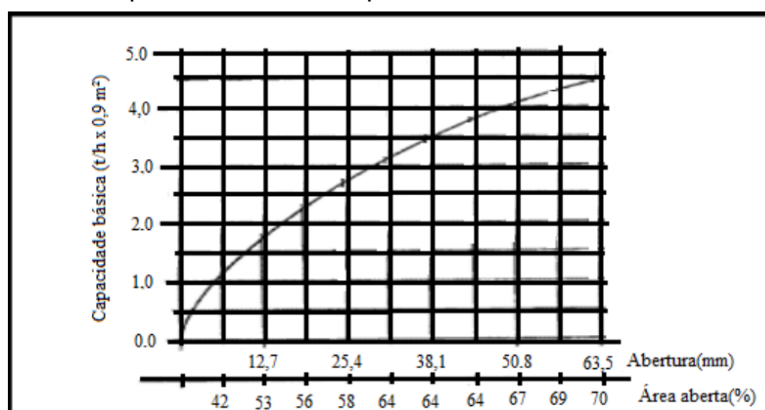
F_M = fatores modificadores.

A seguir será descrito como encontrar a capacidade básica, os fatores modificadores e o peso específico aparente variável da Equação (6).

a) Capacidade Básica (C)

A capacidade básica de peneiramento é obtida através do gráfico da Figura 20, em que a mesma é relacionada com a abertura da peneira em milímetros.

Figura 20 - Capacidade básica da peneira com material de $d = 1.602 \text{ kg/m}^3$.



Fonte: LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010.

b) Fatores Modificadores

Os fatores modificadores são aqueles que afetam a eficiência do peneiramento e o tamanho da peneira, sendo compostos por:

(i) Fator de finos (F) e Fator Eficiência (E)

O fator de finos (F) e o fator de eficiência estão relacionados com a alimentação do deck. O deck corresponde a cada tela com abertura de tamanho específico em que separa a fração passante (partículas finas) da fração retida

(partículas grossas) (MATOS *et. al*, 2021). O fator de finos (F) é calculado em relação à alimentação do deck e depende da quantidade de material na alimentação que é menor do que a metade do tamanho da outra abertura no deck. A eficiência (E) de separação consiste na razão entre a quantidade de material que passa por uma abertura e a quantidade na alimentação que deveria passar (LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010). O Quadro 5 apresenta os fatores tabelados F e E conforme a eficiência requerida pelo processo.

Quadro 5 - Fatores F e E conforme eficiência requerida.

Eficiência de Peneiramento (%)	Fator	
	Finos (F)	Eficiência (E)
0	0,44	-
10	0,55	-
20	0,70	-
30	0,80	-
40	1,00	-
50	1,20	-
60	1,40	-
70	1,80	2,25
80	2,20	1,75
85	2,50	1,50
90	3,00	1,25
95	3,75	1,00

Fonte: LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010.

Para encontrar a eficiência de peneiramento e determinar o teor de finos (F), foi considerado a mesma análise granulométrica da Tabela 3. Foram considerados como finos, aqueles que possuíam granulometria inferior a 2 mm. A Tabela 4 exhibe os teores de finos encontrados para cada matéria-prima.

Tabela 4 - Teor de material com granulometria inferior a 2 mm.

Matéria-prima	Teor (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	49,99
Resíduo de poda de árvore	17,75
Casca de arroz	100,00

Fonte: Autora, 2022.

Substituindo os dados da Tabela 4 e os teores de sólidos presente na composição de alimentação da peneira na Equação 3, obtém-se o teor de partículas abaixo de 2 mm presente da mistura conforme pode ser visualizado abaixo.

$$T_p = (0,1658 \cdot 0,4999) + (0,0617 \cdot 0,1775) + (0,7725 \cdot 1) = 0,866 \text{ (86,60\%)}$$

Por interpolação utilizando o Quadro 5, foi encontrado F.

(ii) *Fator de Abertura (B)*

Devido ao tipo de abertura da superfície, as partículas possuem a tendência de ficarem retidas na superfície de peneiramento, então o fator de abertura (B) compensa esta tendência. Os valores para B podem ser visualizados pelo Quadro 6.

Quadro 6 - Valores para o fator B.

Tipo de abertura	Razão (r) Comprimento/largura	Fator B
Quadradas e retangulares	$r < 2$	1,0
Retangulares	$2 < r < 4$	1,2
Retangulares	$4 < r < 25$	1,2
Barras paralelas	$r > 25$	1,4*

Nota: *paralelo ao fluxo

Fonte: LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010.

(iii) *Fator de Deck (D)*

Reduz a área do peneiramento considerando a estratificação que ocorre nos deques. Os valores para D podem ser visualizados pelo Quadro 7.

Quadro 7 - Fator D conforme o deck.

Deck	Fator D
1°	1,00
2°	0,90
3°	0,80

Fonte: LUZ; SAMPAIO; FRANÇA, 2010.

c) *Peso Específico Aparente do Material Alimentado ($d_{mistura}$)*

No processo de peneiramento teremos uma mistura de materiais e para determinar o peso específico aparente do material alimentado será utilizada a Equação (7).

$$d_{mistura} \cdot V_{mistura} = d_{casca} \cdot V_{casca} + d_{RPA} \cdot V_{RPA} + d_{bagaço} \cdot V_{bagaço} + d_{óleo} \cdot V_{óleo} \quad \text{Equação (7)}$$

Em que o volume (V) de cada componente é obtido aplicando a Equação (8).

$$V = \frac{\text{massa (kg)}}{\text{densidade aparente} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} \quad \text{Equação (8)}$$

A densidade/peso específico (d) aparente encontrado para cada matéria-prima pode ser visualizado pela Tabela 5.

Tabela 5 - Densidade aparente para cada matéria-prima.

Matéria-prima	d (kg/m ³)	Referência
Bagaço de cana-de-açúcar	120	DA SILVA; DOS SANTOS MORAIS, 2008
Resíduo de poda de árvore	525	OLIVEIRA <i>et. al</i> , 2019
Casca de arroz	130	NUNES, 2017
Óleo lubrificante residual	890	SOGILUB, 2015

Fonte: Autora, 2022.

Assim, a Equação (6) se torna:

$$A = \frac{S}{CdFEDB} \quad \text{Equação (9)}$$

3.5.2 Motosserra

O dimensionamento da motosserra se dá pelo volume de material a sofrer redução de tamanho, ou seja, pelo volume do resíduo de poda de árvore. A Equação (8) permite calcular o volume.

Ao comparar o volume obtido com o rendimento da motosserra, se encontrou a quantidade de equipamentos a ser utilizado no processo.

3.5.3 Britador Giratório

Para o britador giratório será considerado a vazão mássica (t/h) de alimentação a ser processada pelo equipamento considerando a alimentação inicial calculada no peneiramento apenas para o RPA.

3.5.4 Moinho de martelo

Foi considerada a vazão mássica (t/h) de alimentação a ser reduzida de tamanho pelo equipamento considerando a quantidade de material passante na alimentação que atravessa a peneira por hora (t/h) para o RPA, casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar.

3.5.5 Misturador

No misturador será realizada a mistura dos sólidos com o material líquido. Os sólidos são constituídos por RPA, casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar e o material líquido se trata do óleo lubrificante residual. Para o dimensionamento do misturador será necessário encontrar o volume total a ser processado pelo equipamento. Para isto foi considerado a Equação (8) para encontrar o volume final (V_F) de cada material. Para sólidos devemos ainda considerar o volume de vazios (V_V) que o constitui. Assim o volume total para determinado sólido pode ser encontrado pela Equação (10) (HURTADO, 2005).

$$V_F = V_T - V_V \quad \text{Equação (10)}$$

O volume de vazios pode ser encontrado de acordo com a Equação (11) que relaciona a porosidade (ϵ) com o volume total (HURTADO, 2005).

$$V_V = \epsilon \cdot V_T \quad \text{Equação (11)}$$

O volume que constitui o misturador é a soma do volume final dos sólidos e do líquido. A porosidade para cada sólido pode ser visualizada pela Tabela 6.

Tabela 6 - Porosidade para os diferentes tipos de materiais.

Matéria-prima	ϵ	Referência
Bagaço de cana-de-açúcar	0,963	DENTELLO, 2015
Resíduo de poda de árvore	0,760	SOUSA; DO CARMO FERREIRA, 2017
Casca de arroz	0,940	MARCHESINI; PEREIRA; MORAIS, 2015

Fonte: Autora, 2022.

3.5.6 Transportador Helicoidal, Alimentador Gravimétrico e Prensa com Rosca Cilíndrica e Matriz Aquecida

Para estes equipamentos foi considerada quantidade de material passante na alimentação que atravessa a peneira por hora (t/h), visto que a mesma é que será transformada em produto.

3.5.7 Sistema Fluido Térmico de Alta Temperatura

Para o sistema fluido térmico de alta temperatura foi considerado a necessidade de potência térmica (P) pelo material, haja vista a troca térmica entre o equipamento e o material. A potência térmica (P) é dada pela Equação (12) (HALLIDAY; RESNICK, 2012).

$$P = \frac{Q}{\text{tempo}} = \frac{mC_p\Delta T}{\text{tempo}} \quad \text{Equação (12)}$$

Em que:

P = potência térmica (kW);

Q = energia (kJ);

C_p = calor específico (cal/g°C);

M = massa (g);

ΔT = variação de temperatura (°C).

O calor específico de cada material pode ser visualizado pela Tabela 7.

Tabela 7 - Calor específico (cal/g°C) para os diferentes materiais.

Matéria-prima	C _p (cal/g°C)	Referência
Bagaço de cana-de-açúcar	0,2388	SHRIVASTAV; HUSSAIN, 2013
Resíduo de poda de árvore	0,4108	SAMARASEKARA; COOREY, 2011
Casca de arroz	0,4140	DINIZ <i>et. al</i> , 2004
Óleo lubrificante residual	0,5931	HOLMAN, 1986

Fonte: Autora, 2022.

3.5.8 Esteira de Aço Perfurada

A esteira de aço perfurada é vendida conforme sua área de necessidade. Assim, para encontrar a área consideraremos inicialmente a quantidade de briquete produzido por hora.

$$Unidades\ de\ briquete = \frac{massa\ total}{massa\ unitária} \quad \text{Equação (13)}$$

A massa unitária refere-se à massa de um briquete individual. A Equação (14) permite calcular a área que cada briquete possui.

$$A_{briquete} = diâmetro \cdot comprimento \quad \text{Equação (15)}$$

A área total a ser utilizada pela esteira é dada através da Equação (16).

$$A_{esteira} = A_{briquete} \cdot unidades\ de\ briquete \quad \text{Equação (16)}$$

3.6 ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR

A partir do fluxograma próximo ao ótimo foi realizado o dimensionamento dos equipamentos conforme o volume de produção e através deste é possível realizar a análise econômica preliminar. A análise econômica preliminar irá prever o desempenho econômico previsto para o processo em fase de projeto, mediante critérios expressos por funções do tipo lucro ou custo (PERLINGEIRO, 2005). O critério que foi utilizado no presente estudo é o *Venture Profit* descrito por Perlingeiro (2005), do qual se denomina Lucro do Empreendimento (LE). De acordo com Perlingeiro (2005) se trata de um lucro relativo, que avalia a vantagem de se investir no processo, considerando o risco comercial, em detrimento a um investimento sem riscos. O método utilizado considera uma série de parâmetros interdependes que serão descritos a seguir.

Como primeiro requisito, a operação deve ter o investimento total (I_{total} \$) do processo totalmente recuperado ao final da vida útil das instalações. Em operação, a empresa deve gerar uma receita (R) considerando o preço da venda (p \$/t) e a taxa de produção prevista (Prod \$/a), obtida pela Equação (17).

$$R = p \text{ Prod } \$/a \quad \text{Equação (17)}$$

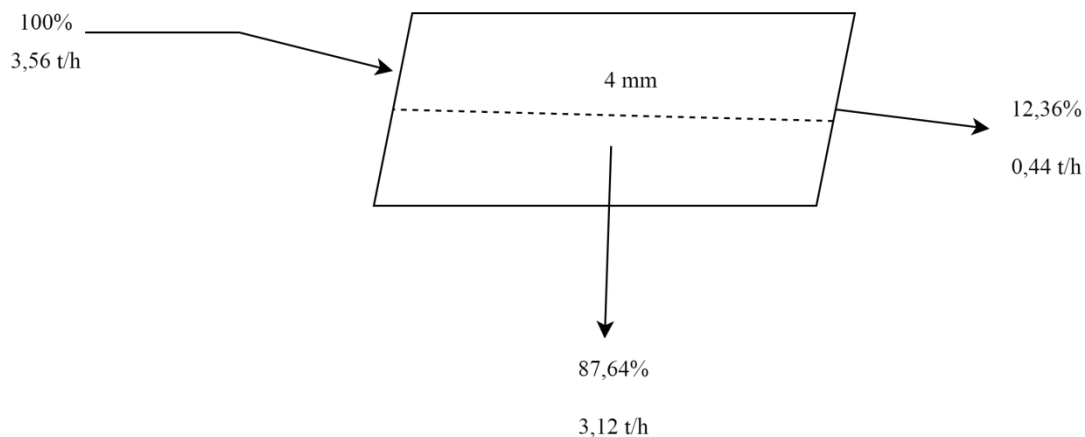
Além disso, a empresa terá os custos com matéria-prima ($C_{matprima}$) que ao serem descontados da receita R, retornará a margem bruta (MB), conforme a Equação (18).

$$MB = R - C_{matprima} \$/a \quad \text{Equação (18)}$$

Os custos com matéria-prima sólida consideraram a alimentação inicial da peneira para os sólidos ($AI = 3,56 \text{ t/h} = 28.067,04 \text{ t/ano}$), devido à massa

passante pela peneira ser constituída apenas pelas matérias-primas sólidas. A Figura 21 exhibe a situação descrita no presente item.

Figura 21 - Ilustração das quantidades para o peneiramento.



Fonte: Autora (2022), com base em Luz, Sampaio e França (2010).

Considerando a composição do briquete obtida com a programação linear, cujos teores correspondem a 14,57% de bagaço de cana-de-açúcar, 4,16% de resíduo de poda de árvore, 75,23% de casca de arroz e 6,04% de óleo lubrificante residual, a proporção dos teores foi mantida ao distribuir o teor do óleo lubrificante residual entre os resíduos sólidos. Portanto, a composição a ser utilizada para o cálculo dos custos das matérias-primas sólidas é: 16,58% de bagaço de cana-de-açúcar, 6,17% de resíduo de poda de árvore e 77,25% de casca de arroz.

Os custos com o óleo lubrificante residual foi obtido considerando a quantidade de matéria-prima passante pela peneira a ser misturada com o óleo lubrificante residual para briquetagem, ou seja, 26.250 t/ano (3,12 t/ano) respeitando os teores da composição do briquete, em que o teor de óleo lubrificante residual corresponde a 6,04%. Os custos das matérias-primas podem ser visualizados pelo Quadro 8. Foi considerado os preços expostos na Tabela 8.

Quadro 8 - Custos das matérias-primas para o processo.

Matéria-prima	Quantidade (t/ano)	Preço (US\$/ano)
Bagaço de cana-de-açúcar	4.653,51	143.179,19
Resíduo de poda de árvore	1.731,74	71.285,00
Casca de arroz	21.681,79	500.328,99
Óleo lubrificante residual	1.585,50	83.269,03
	$C_{matprima}$	798.062,21

Fonte: Autora, 2022.

É necessário que $MB > 0$ para que o empreendimento possa incluir o custo total C_{total} \$/a no qual estão incluídos os demais custos do processo. O lucro bruto (LB) pode ser obtido pela diferença entre a R e C_{total} \$/a, dado pela Equação (19).

$$LB = R - C_{total} \text{ \$/a} \quad \text{Equação (19)}$$

Para avaliar o desempenho da empresa apenas o LB não basta, visto que não considera os demais parâmetros como o valor investido nas instalações físicas que se deterioram durante a vida útil do processo, que correspondem ao investimento direto (I_{direto} \$). Assim, a depreciação (D \$/a) é o valor reduzido do I_{direto} que considera a deterioração das instalações físicas do processo durante sua vida útil, podendo ser encontrado através da Equação (20).

$$D = e I_{direto} \text{ \$/a} \quad \text{Equação (20)}$$

Em que “e” corresponde à taxa de depreciação como considera a Equação (21).

$$e = \frac{1}{n} \quad \text{Equação (21)}$$

Em que “n” é o número de anos previsto para a vida útil do processo, logo, após “n” anos o investimento deverá retornar ao investidor. No presente estudo será considerado 10 anos, logo, $e = 0,1$. Ainda deve-se considerar o imposto de renda (IR \$/a), que pode ser calculado pela Equação (22).

$$IR = t(LB - D) \text{ \$/a} \quad \text{Equação (22)}$$

Onde “t” é a taxa anual de imposto de renda, podendo ser considerada igual a 0,5 conforme Perlingeiro (2005). A taxa de retorno sobre o investimento com risco (RIR) pode ser expressa através da Equação (23).

$$RIR = 0,1I_{total}\$/a \quad \text{Equação (23)}$$

Em que a constante 0,1 se refere a taxa de retorno de risco estimada por Perlingeiro (2005). E por fim, o lucro do empreendimento (LE) é obtido ao aplicar a Equação (24) da qual considera todos os parâmetros descritos anteriormente a serem reduzidos do lucro bruto.

$$LE = LB - (D + IR + RIR) \quad \text{Equação (24)}$$

Para encontrar o LE é necessário encontrar o as estimativas de custos e a estimativa de investimento.

3.6.1 Estimativas dos Custos

O Quadro 9 ilustra as equações e significâncias das mesmas para se chegar ao C_{total} .

Quadro 9 - Metodologia para a estimativa de custos.

Parâmetro	Equação	Significado
C_{total}	$C_{prod} + C_{gerais}$	Custo total
C_{prod}	$C_{diretos} + C_{fixos}$	Custos de produção
$C_{diretos}$	$(C_{matprima} + C_{util}) + C_{manut} + C_{supr} + (C_{mobra} + C_{adm}) + C_{roy}$	Custos diretos
C_{manut}	$0,04.I_{fixo}$	Custos com manutenção
C_{supr}	$0,15.C_{manut}$	Custos com suprimentos operacionais
C_{adm}	$0,20.C_{mobra}$	Custos com administração
C_{mobra}	$0,2.C_{total}$	Custos com mão-de-obra operacional e de supervisão
C_{fixos}	$C_{imp} + C_{seg} + C_{alug} + C_{jur}$	Custos fixos
$(C_{imp} + C_{seg})$	$0,03.I_{fixo}$	Custo com impostos mais custos com seguros
$C_{alug} = C_{jur}$	0	Custos com aluguel e custos com juros
C_{gerais}	$0,025.R$	Custos gerais

Nota: C_{util} = Custos com utilidades; C_{roy} = Custos com patentes e Royalties; C_{alug} = Custos com aluguéis; C_{jur} = Custos com juros.

Fonte: Perlingeiro, 2005.

O C_{util} foi encontrado utilizando o consumo energético anual de cada equipamento, somado aos custos com combustíveis no mesmo período. De acordo com Perlingeiro (2005), o custo com energia elétrica comprada é cerca de US\$ 0,02/kWh e o custo com óleo combustível é de US\$ 0,08 gal⁻¹. Já para estimar o custo com gasolina, foi considerado o valor médio do Brasil (PETROBRAS) de US\$ 0,96 (US\$ 1,00 = R\$ 5,2002 para a data de 03 de out. de 2022, Fonte: disponível no site do Banco Central do Brasil).

A potência de cada Equipamento com seu consumo energético pode ser visualizada pelo Quadro 10. Note que alguns fornecedores dos equipamentos dimensionados não forneceram dados de potência, sendo utilizado para estes casos modelos de equipamentos semelhantes com a potência disponível.

Quadro 10 - Potência e consumo considerados para o custo de utilidades.

Equipamento	Potência (kW)	Consumo (kWh/ano)	Referência
Peneira vibratória	3,72850	29.395,4940	METSO, 2015
Britador giratório	14,9140	117.581,9760	GOMIDE, 1983
Moinho de martelo	30,0000	236.520,0000	ALIBABA (MOINHO DE MARTELO)
Misturador	11,0000	86.724,0000	TECNAL *
Transportador helicoidal	11,0000	86.724,0000	MADE-IN-CHINA (Transportador helicoidal) *
Alimentador gravimétrico	10,0000	78.840,0000	MADE-IN-CHINA (alimentador gravimétrico).
Sistema fluido térmico de alta temperatura	11,5000	90.666,0000	MADE-IN-CHINA (sistema de fluido térmico de alta temperatura)
Prensa cilíndrica com matriz aquecida	30,0000	236.520,0000	ALIEXPRESS
Esteira de aço perfurada	1,5000	11.826.0000	ALIBABA (esteira transportadora) *
Total	123,6425	974.797,4700	-

Nota: * Equipamentos similares ao dimensionado e utilizado para o valor dos equipamentos.

Fonte: Autora, 2022.

Para encontrar o consumo de óleo diesel foi considerado o consumo do sistema de fluido térmico de alta temperatura cujo valor é de 39,4 kg/h (MADE-IN-CHINA (sistema de fluido térmico de alta temperatura)) representando um consumo de 310.629,6 kg/ano. Utilizando a Equação (8) para uma densidade de 865 kg/m³ (SILVA *et.al*, 2017) foi obtido como consumo 359,11 m³. Para o consumo de gasolina foi considerado o consumo médio de uma motosserra sendo de 0,28 mL/s (DA SILVA, 2019) resultando em 7.947,072 L/ano de gasolina consumida.

3.6.2 Estimativa do Investimento

O investimento total considera o total de recursos imobilizados e arriscados na empresa. Para encontra-lo é utilizada uma série de parâmetro cujas equações estão disponíveis no Quadro 11.

Quadro 11 - Metodologia empregada para estimativa do investimento.

Parâmetro	Equação	Significado
I_{total}	$I_{fixo} + I_{giro} + I_{partida}$	Investimento total
I_{fixo}	$I_{direto} + I_{indireto}$	Investimento fixo
I_{direto}	ISBL + OSBL	Investimento direto
ISBL	$f_T \cdot f_D \cdot f_L \cdot \sum I_{Ei}$	Investimento realizado na aquisição, transporte e instalação dos equipamentos
OSBL	$0,45 \cdot ISBL$	Investimento realizado em itens relacionados ao processo, mas fora da área de processamento
$I_{indireto}$	$C_{proprios} + C_{eventuais}$	Investimento indireto
$C_{proprios}$	$0,05 \cdot I_{direto}$	Custos próprios
$C_{eventuais}$	$0,20 \cdot I_{direto}$	Custos eventuais
I_{giro}	$1,81 \cdot ISBL$	Capital de giro
$I_{partida}$	$0,10 \cdot I_{fixo}$	Investimento para a partida

Nota: f_T =fator experimental de transferência de região; f_D = fator de atualização de preços para o ano vigente; f_L = fator de Lang; $\sum I_{Ei}$ = soma do preço de compra dos equipamentos.

Fonte: Perlingeiro, 2005.

É notável que as variáveis dependem essencialmente do valor do ISBL e para encontra-lo foram considerados f_T e f_D iguais a 1 visto que para este último, os preços dos equipamentos serão atualizados individualmente utilizando a Equação (25) (SILLA, 2003).

$$C_2 = C_1 \frac{I_2}{I_1} \quad \text{Equação (25)}$$

Em que:

C_2 = valor atualizado do equipamento para o ano a;

C_1 = valor do equipamento do qual foi estimado o investimento;

I_1 = valor do índice no ano a;

I_2 = valor do índice no ano-base em que foi estimado o investimento.

Foi utilizado o índice *Chemical Engineering Plants Cost Index* (CEPCI) para atualização de preço.

O Quadro 12 exhibe os custos dos Equipamentos dimensionados, já atualizados para o ano mais recente (2021- 2022) considerando a Equação (25).

Quadro 12 - Custos atualizado para os equipamentos dimensionados.

Equipamento	Preço atualizado (US\$)	Referência
Motosserra	2.346,06	STIHL
Peneira vibratória	23.005,56	MATCHE
Britador giratório	797,22	MATCHE
Moinho de martelo	3.800,00	ALIBABA (moinho de martelo)
Misturador	117.191,67	MATCHE
Transportador helicoidal	18.108,33	MATCHE
Alimentador gravimétrico	10.000,00	MADE-IN-CHINA (alimentador gravimétrico)
Sistema fluído térmico de alta temperatura	19.580,00	MADE-IN-CHINA (sistema de fluído térmico de alta temperatura).
Prensa cilíndrica com matriz aquecida	6.680,32	ALIEXPRESS
Esteira de aço perfurada	9.330,10	MADE-IN-CHINA (esteira de aço perfurada)
Total ($\sum I_{Ei}$)	210.839,26	-

Fonte: Autora, 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

O Quadro 13 as biomassas utilizadas em conjunto com materiais graxos presentes na literatura. Através do Quadro 13 é possível observar que pesquisas referentes à utilização da matéria graxa na composição do briquete vem sendo realizadas recentemente, visto que foi encontrado o estudo mais antigo para o ano de 2014.

Ainda é possível notar que os materiais graxos utilizados variam entre óleos residuais de distintas sementes, como, girassol, soja, linhaça, dentre outros, e óleo lubrificante (veículos SAE 40) sendo este último o que apresenta maior poder calorífico ao ser fabricado com sabugo de milho e casca de coco.

Os teores de óleo utilizados pelos autores pertencem ao intervalo entre 5,8 à 12%, que servirá como base para o presente estudo.

Quadro 13- MP utilizadas para compactação encontradas na literatura.

(Continua)

Biomassa	Material graxo	Proporção	Teor Umidade (%)	Teor de cinzas (%)	Matéria volátil (%)	Carbono fixo (%)	Poder calorífico (MJ/kg)	Referência
Madeira (<i>Picea abies</i>)	Óleo Vegetal residual	5,8% de óleo	10,24	0,28	92,10	7,62	20,64	MIŠLJENović <i>et al.</i> , 2014
Resíduos de Madeira	Óleo de Parafina	10 cm ³ óleo misturado e 0,14 kg de resíduos de madeira	4,80	0,30	78,20	16,70	19,50	CRAVEN <i>et al.</i> , 2015
Resíduos de Madeira	Óleo de cícino	10 cm ³ óleo e 0,14 kg de resíduos de madeira	4,40	0,50	78,70	16,40	19,40	CRAVEN <i>et al.</i> , 2015
Resíduos de Madeira	Óleo mineral	10 cm ³ de óleo e 0,14 kg de resíduos de madeira	4,80	0,30	78,90	16,00	19,60	CRAVEN <i>et al.</i> , 2015
Resíduos de Madeira	Óleo de linhaça	10 cm ³ de óleo e 0,14 kg de resíduos de madeira	4,70	0,30	78,10	16,90	19,30	CRAVEN <i>et al.</i> , 2015
Resíduo de árvore (casca de acácia) e plásticos	Óleo usado (óleo de canola)	30:70:100 gramas(plástico:óleo:casca)	3,43	2,19	86,26	8,12	33,56	SUWINARTI & AMIRTA, 2018
Palha de milho e biocarvão (Bio-char)	Óleo de cozinha residual	10:50:30 (óleo: palha de milho:biocarvão)	6,23	4,66	57,71	37,63	21,34	ZHANG, <i>et al.</i> , 2019
Palha de milho e biocarvão (Bio-char)	bio-óleo de pirólise de galhos de macieira	6:40:40 (Bio-óleo: palha de milho:biocarvão)	6,76	6,26	50,73	43,02	22,15	ZHANG, <i>et al.</i> , 2019
Capim Elefante	Óleo de cozinha residual e lodo de ETE	25% lodo 75% Capim 5% óleo residual (óleo em porcentagem em massa da mistura lodo+capim)	10,23	8,40	78,30	14,30	17,00	ALMEIDA, 2020

Fonte: Autora, 2022.

Quadro 13. Matérias-primas utilizadas para compactação encontradas na literatura.

(Conclusão)

Biomassa	Material graxo	Proporção	Teor Umidade (%)	Teor de cinzas (%)	Matéria volátil (%)	Carbono fixo (%)	Poder calorífico (MJ/kg)	Referência
Casca de coco e fibra de coco	Resíduo de gordura de coco	75:15:10 (resíduo de gordura: fibra de coco: camada intermediária de casca de coco)	4,00	4,00	84,10	7,97	27,86	PINPATHANAPONG <i>et al.</i> , 2020
Sabugo de milho e casca de coco	Óleo lubrificante (veículos SAE 40)	75% de espiga de milho e 25% de casca de coco 20 mL de óleo	3,59	5,45	16,16	74,80	35,66	NAPITUPULU <i>et al.</i> , 2020
Madeira de faia	Óleo de cozinha residual (girassol)	12% óleo	-	2,37	18,10	-	~20,50	SALETNIK; SALETNIK; PUCHALSKI, 2021
Madeira de carvalho	Óleo de cozinha residual (girassol)	12% óleo	-	0,25	16,04	-	~21,40	SALETNIK; SALETINIK; PUCHALSKI, 2021
Madeira de coníferas	Óleo de cozinha residual (girassol)	12% óleo	-	0,24	15,64	-	21,67	SALETNIK; SALETINIK; PUCHALSKI, 2021
Madeira de coníferas/decíduas	Óleo de cozinha residual (girassol)	12% óleo	-	0,21	16,17	-	21,39	SALETNIK; SALETINIK; PUCHALSKI, 2021

Fonte: Autora, 2022.

4.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A Tabela 8 mostra os resíduos e seus respectivos valores encontrados para a região de Londrina - PR, bem como a margem bruta.

Tabela 8 – Custo por tonelada e margem bruta dos resíduos considerados.

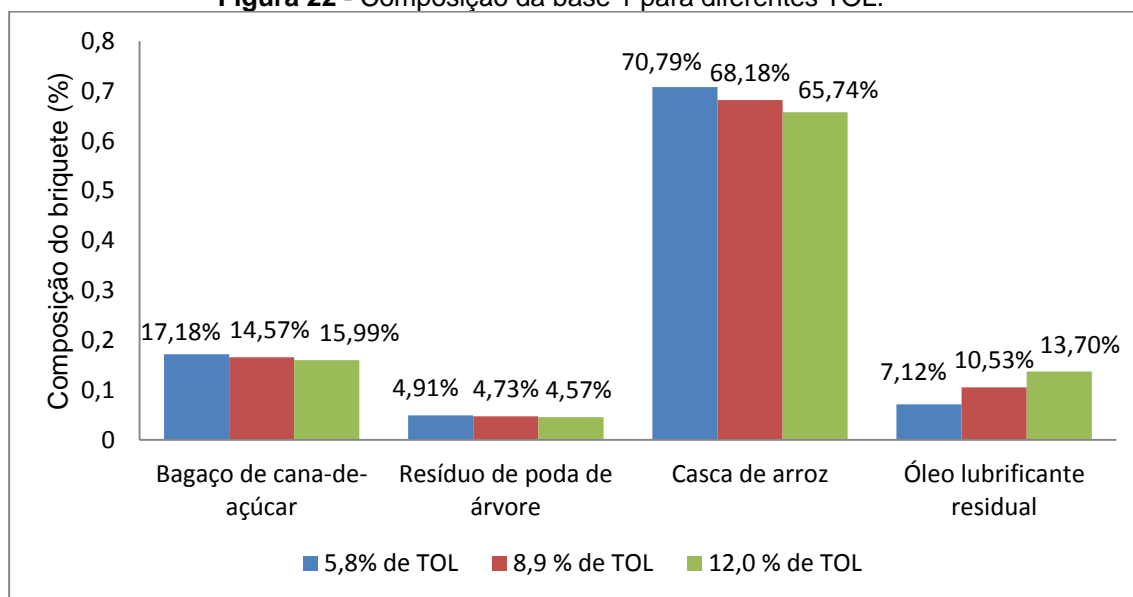
Matéria-prima	Custo (US\$/ton)	Margem Bruta (US\$/ton)	Referência (custo)
Farelo de soja	451,9	-355,7	OLX (Farelo de soja)
Resíduo de mandioca	403,8	-307,7	MFRURAL (Resíduo de mandioca)
Casca de soja	342,3	-246,1	MFRURAL (Casca de soja)
Resíduo de feijão	325,0	-228,8	AGRO2BUSINESS
Resíduo de aveia	225,0	-128,8	MFRURAL (Resíduo de aveia)
Resíduo de amendoim	173,1	-76,9	MFRURAL (Resíduo de amendoim)
Resíduo de algodão	163,4	-67,3	MFRURAL (Resíduo de algodão)
Palha de trigo	76,9	19,2	MFRURAL (Palha de trigo)
Palha de milho	57,7	38,5	OLX (Palha e sabugo de milho)
Sabugo de milho	57,7	38,5	OLX (Palha e sabugo de milho)
Bagaço de laranja	53,8	42,3	MFRURAL (Bagaço de laranja)
Óleo lubrificante residual*	52,5	43,6	ANTT
Óleo residual de cozinha*	52,5	43,6	ANTT
Resíduo de poda de árvore**	41,2	55,0	ANTT
Bagaço de cana-de-açúcar	30,8	65,4	MFRURAL(Bagaço de cana)
Casca de arroz	23,1	73,1	MFRURAL (Casca de arroz)

Nota: *Frete realizado considerando carga a granel sólido 2 eixos. **Frete realizado considerando carga perigosa (granel líquido) 2 eixos.

Fonte: Autora, 2022.

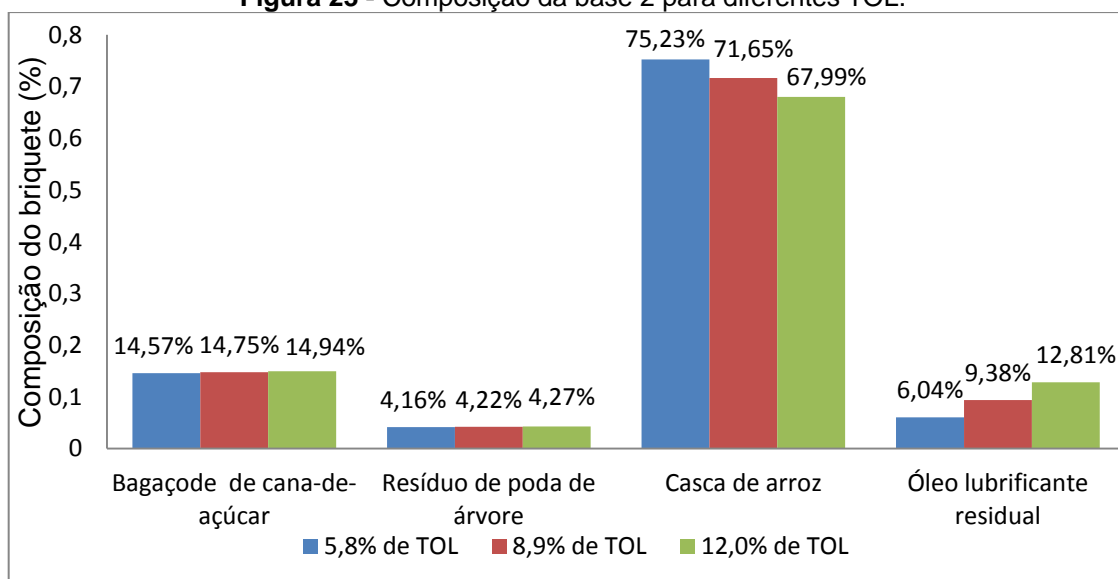
Conforme o maior margem bruta obtida pela Tabela 8, os resíduos selecionados para a programação linear são: casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, resíduo de poda de árvore e óleo lubrificante residual. O óleo lubrificante residual é gerado por empreendimentos como postos de gasolina, oficinas mecânicas, transportadoras, frotistas e instalações industriais em geral (BRASIL, 2005).

A Figura 22 exibe a composição das matérias-primas para a base 1 com diferentes percentuais de óleo encontradas utilizando a programação linear.

Figura 22 - Composição da base 1 para diferentes TOL.

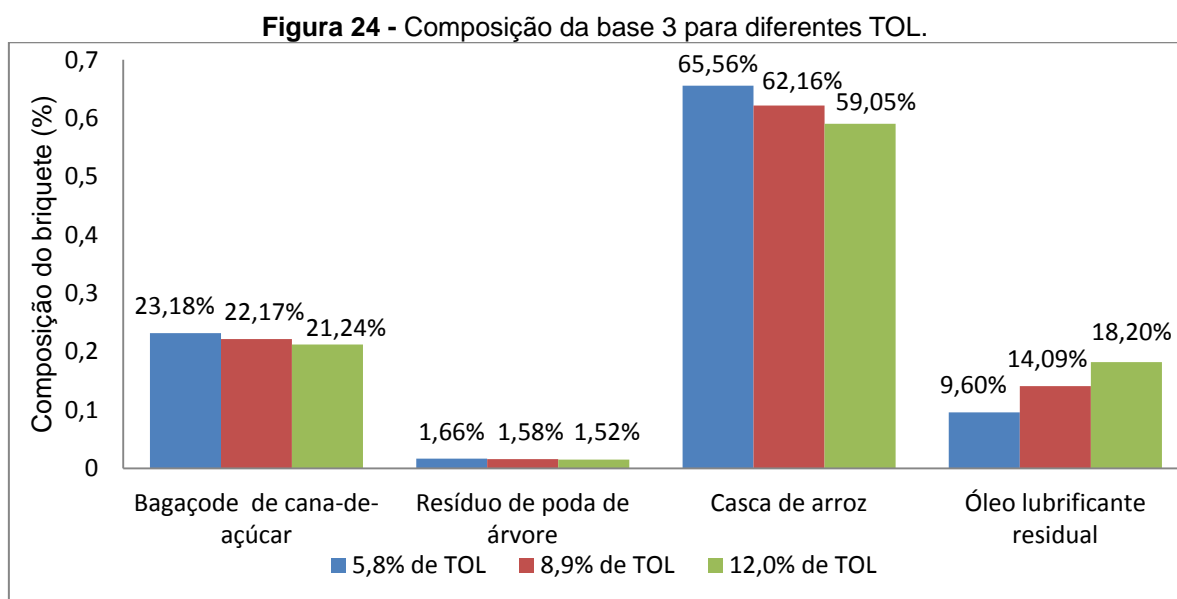
Fonte: Autora, 2022.

Conforme pode ser visto na Figura anterior, as percentagens de óleo lubrificante residual foram crescentes, e as percentagens de bagaço de cana de açúcar e resíduo de poda de árvore e casca de arroz foram decrescentes. Houve uma pequena variação percentual para o bagaço de cana-de-açúcar e resíduo de poda de árvore. As maiores variações percentuais são para a casca de arroz e principalmente para o óleo lubrificante residual. A Figura 23 exibe as composições encontradas para a base 2 em cada TOL.

Figura 23 - Composição da base 2 para diferentes TOL.

Fonte: Autora, 2022.

Nota-se que para a base 2 foi obtido variações crescentes para o bagaço de cana-de-açúcar, resíduo de poda de árvore e óleo lubrificante residual. Apenas a casca de arroz apresentou um teor decrescente. As maiores variações percentuais são para a casca de arroz e para o óleo lubrificante residual. A Figura 24 exhibe as composições obtidas para a base 3 em cada teor de óleo lubrificante residual.



Fonte: Autora, 2022.

Para a base 3, houve uma tendência decrescente conforme se aumenta o TOL para o bagaço de cana-de-açúcar, resíduo de poda de árvore e casca de arroz, o contrário ocorre com o óleo lubrificante residual. A Tabela 9 exhibe o comparativo das margens brutas encontradas para cada composição. Os valores de margem bruta foram encontrados utilizando o lucro bruto que se pretende obter com a venda de cada tonelada de briquete, sendo este valor de US\$ 96,1501 ton⁻¹ conforme citado na metodologia, subtraindo do custo de cada matéria-prima (Tabela 8) conforme seu teor na composição do briquete.

Tabela 9 - Margem bruta/tonelada para as diferentes composições.

Teor de óleo lubrificante (%)	Base 1 (US\$)	Base 2 (US\$)	Base 3 (US\$)
5,8000	49,1623	49,8739	48,1574
8,9000	49,2824	49,7809	48,3415
12,0000	49,3942	49,6855	48,5102

Fonte: Autora, 2022.

O resíduo de poda de árvore necessita de mais etapas de redução de tamanho, gerando como consequência maiores gastos ao processo em comparação aos demais, entretanto, essa característica não afetou significativamente as composições, visto que a base 3 possui menor quantidade do resíduo e a menor margem bruta dentre as composições. Analisando a margem bruta para as composições comparativamente, é possível notar que a base 3 possui menor margem bruta, devido principalmente às maiores quantidades de bagaço de cana-de-açúcar e menores quantidades de casca de arroz, visto que o bagaço de cana-de-açúcar possui um preço maior em relação a casca de arroz. Em relação ao menor preço da casca de arroz, temos que a base 2 possui maior margem bruta e como consequência maiores quantidades na composição proposta. Assim, se conclui que a quantidade de casca de arroz em relação aos demais resíduos é um fator limitante na para a margem bruta.

Para escolha da composição ideal, foi considerado como critério aquela em que se obtém a maior margem bruta. Analisando a Tabela 9, a maior margem bruta foi obtida para a base 2 com teor de óleo lubrificante de 5,8%, portanto a composição do briquete escolhido foi de 14,57% de bagaço de cana-de-açúcar, 4,16% de resíduo de poda de árvore, 75,23% de casca de arroz e 6,04% de óleo lubrificante residual.

A Tabela 10 exhibe o resultado final dos teores obtidos com a programação linear para a composição escolhida, ou seja, base 2 com 5,8% de óleo lubrificante.

Tabela 10 - Parâmetros para a composição escolhida.

	Teor de umidade (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de Matéria volátil (%)	Carbono fixo (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	1,22	0,90	11,34	1,10
Resíduo de poda de árvore	0,49	0,56	2,82	0,26
Casca de arroz	2,02	5,60	53,77	13,89
Óleo lubrificante residual	0,00	0,05	5,96	0,02
Valores obtidos	3,73	7,11	73,89	15,27

Fonte: Autora, 2022.

Comparando os valores obtidos da Tabela 10 com os dados da base 2 dispostos na Tabela 2, apenas o teor de umidade e o teor de cinzas obtiveram valores mais discrepantes. Os valores encontrados estão dentro do limite considerado aceitável para a constituição do briquete, exceto pelo teor de umidade cujo valor obtido foi de 3,73% e de acordo com ASAMOHA *et al.* (2016), os teores de umidade aceitáveis estão em torno de 6 à 14% para que o briquete não seja quebradiço. No entanto, com a adição do óleo lubrificante, espera-se um incremento na atuação da lignina no briquete, tornando o produto obtido não quebradiço, entretanto apenas com a fabricação do mesmo deve-se comprovar esta afirmação.

4.3 ÁRVORE DE ESTADOS

Por meio da pesquisa bibliográfica, foram verificadas todas as rotas possíveis para a obtenção do briquete composto de bagaço de cana-de-açúcar, resíduo de poda de árvore, casca de arroz e óleo lubrificante residual. O processo de secagem não será considerado, pois para a redução de tamanho das matérias-primas sólidas de bagaço de cana-de-açúcar e resíduo de poda de árvore, os teores de umidade (Quadro 2) se encontram dentro do intervalo aceitável (6 - 14 %) e para a casca de arroz o teor de umidade é inferior a 6%. A programação linear encontrou o teor de umidade para a mistura das matérias-primas abaixo dos limites estabelecidos e assim não será necessária a etapa de secagem para a mistura.

Primeiramente, se faz necessário conhecer o tamanho de cada matéria-prima a ser briquetada, exceto do óleo lubrificando residual, visto que o

mesmo é líquido e assim não participa da etapa de redução de tamanho. As matérias-primas possuem diversos tamanhos, visto que advém de outro processo produtivo, por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar advém da moagem dos colmos da cana. Assim será considerado o tamanho médio de cada matéria-prima, que pode ser visualizado na Tabela 11.

Tabela 11- Tamanho encontrado para cada matéria-prima.

Matéria-prima	Tamanho médio (cm)	Referência
Bagaço de cana-de-açúcar	2	ICPDCA, 1999
Resíduo de poda de árvore	243*	ARAÚJO JUNIOR <i>et al.</i> , 2008
Casca de arroz	0,06	ZHANG; GHALY; LI, 2012

Nota: *Foi considerado o diâmetro peitoral da maior espécie de árvore encontrada nos espaços urbanos de Londrina - PR.

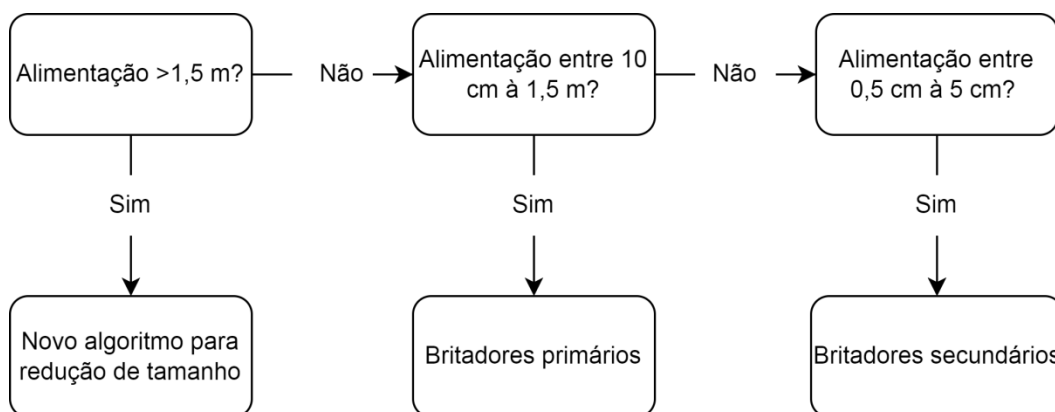
Fonte: Autora, 2022.

De acordo com SILVA (2007), resíduos que possuem partículas pequenas (como serragem, casca de café e casca de arroz) podem ser compactados diretamente, porém aqueles que possuem partículas maiores (como casca de amendoim e casca de algodão) devem ser submetidos a processos de redução de tamanho para que possam ser compactados de maneira adequada.

De acordo com CARONE *et al.* (2011), briquetes produzidos com o uso de diferentes matérias-primas a altas temperaturas, com teor de umidade baixo e granulometria reduzida em cerca de 4 mm ajudam a produzir um briquete com alta densidade e resistência a compressão. Portanto, para obtenção da granulometria desejada, consideraremos um produto de 0,1 a 0,4 cm.

A Figura 25 ilustra o subsistema a ser seguido para redução do tamanho das matérias-primas.

Figura 25- Algoritmo decisório para redução de tamanho.



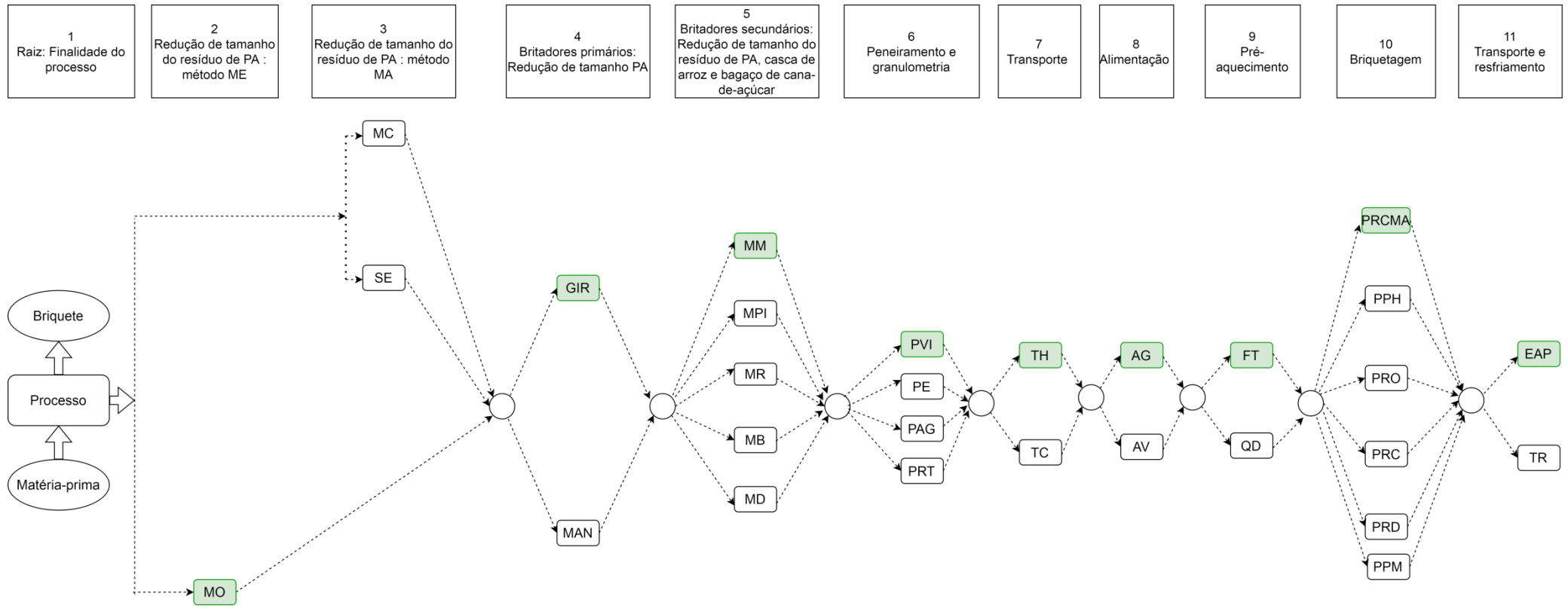
Fonte: Adaptado de GOMIDE (1983).

Seguindo o algoritmo decisório para redução de tamanho, foi elaborada a árvore de estados considerando todas as possíveis etapas tecnológicas conforme pode ser visualizado pela Figura 26.

É notável que não se considerou a etapa de secagem, visto que os teores de umidade para cada matéria-prima encontram-se dentro do limite de 14% (ASAMOHA *et al.*, 2016) para serem reduzidas de tamanho e sua mistura conforme Tabela 10 não apresentam elevada umidade. Além disso, a etapa de mistura das matérias-primas com o óleo lubrificante também não está presente na árvore, pois não há possibilidade de variação de equipamento, ocorrendo esta etapa unicamente em um tanque de mistura.

Em tons de verde é apresentado o caminho escolhido para a produção do briquete de acordo com os resíduos de PA, casca de arroz, cana-de-açúcar e óleo residual lubrificante. Assim, o fluxograma escolhido possui a seguinte ordenação: ME – MO – GIR – MM – PVI – TH – AG – FT – PRCMA – EAP.

Figura 26- Árvore de estados do processo tecnológico para produção de briquete.



Legenda: MA: manual; ME: mecânico; MC: machado; SE: serra; MO: motosserra; GIR: britador giratório; MAN: britador de mandíbula; MM: moinho de martelo; MPI: moinho de pinos; MR: moinho de rolos; MB: moinho de barras; MD: moinho de discos; PRT: peneiras rotativas; PE: peneiras estacionárias; PAG: peneiras agitadas; PVI: peneiras vibratórias; TH: transportador helicoidal; TC: transportador de caneca; AG: alimentador gravimétrico; AV: alimentador volumétrico; QD: aquecedor de fogo direto; FT: sistema fluido térmico de alta temperatura; PPM: prensa de pistão mecânico; PPH: prensa pistão hidráulico; PRO: prensa de rolos; PRC: prensa com rosca cônica; PRD: prensa de rosca dupla; PRCMA: prensa com rosca cilíndrica e matriz aquecida; EAP: esteira de aço perfurada; TR: trilho.

Fonte: Autora, 2022.

As regras heurísticas foram aplicadas reunindo regras práticas baseadas em livros, teses, dissertações e artigos publicados disponibilizados a respeito de cada subprocesso. A seguir encontra-se a descrição das etapas consideradas na árvore de estados e as respectivas regras heurísticas aplicadas.

2 e 3 - Redução do tamanho do resíduo de PA: método mecânico (ME) e método manual (MA)

Para a redução inicial do resíduo de PA, se considerou que o mesmo encontra-se com tamanho de até 2,43 m conforme dados dispostos na Tabela 6. Ao Aplicar as regras heurísticas, obtemos que para esta redução o caminho a ser seguido é aplicar o processo mecânico através de uma motosserra obtendo tamanhos entre 10 a 150 cm após o processo. As regras heurísticas para a escolha desse caminho foram formuladas com base em SÃO PAULO (2014) e estão destacadas abaixo:

Regra 01 – Se não houver disponibilidade de mão de obra especializada, aplicar o processo manual. Se não, aplicar o processo mecânico.

Regra 02 – Para podas entre 2,5 a 150 cm, utilizar serra de arco (ou de curva).

Regra 03 – Se o material estiver no solo e seu diâmetro for maior que 150 cm utilizar o machado.

Regra 04 – Caso seja necessário maior produtividade do processo de redução de tamanho, aplicar o processo mecânico.

Regra 05 – Para diâmetros maiores que 150 cm se recomenda a utilização de motosserra.

4 Britadores primários: Redução do tamanho de PA

Para que o resíduo de poda de árvore chegue ao tamanho de interesse é necessário redução inicial desta matéria-prima para alimentação entre

0,1 à 1,5 m. Com base em GOMIDE (1983) e CEARÁ, foram estabelecidas regras heurísticas para a redução de tamanho do resíduo de poda de árvore afim de obter partículas entre 0,5 cm e 5 cm. Baseado nas regras heurísticas, a tecnologia mais adequada para esta redução de tamanho é o britador giratório devido à sua alta produtividade e a obtenção de um produto mais uniforme.

Regra 01 – Se houver necessidade de alta produtividade e a obtenção de um produto mais uniforme, utilizar o britador giratório.

Regra 02 – Se a umidade do material for alta, utilizar o britador de mandíbulas.

Regra 03 – Se o material for duro e abrasivo, optar pelo britador de mandíbulas.

A partir desse ponto o resíduo de poda de árvore terá o tamanho semelhante aos demais resíduos e assim todos podem ser processados em conjunto.

5 Britadores secundários: redução de tamanho do resíduo de PA, casca de arroz e cana-de-açúcar

Também chamados de moinhos, os britadores secundários serão utilizados para redução de tamanho dos resíduos de PA, casca de arroz e cana-de-açúcar. Para a escolha do tipo de moinho, foram elaboradas regras heurísticas baseadas nas características principais de cada equipamento (Quadro 13) conforme diversos autores: Gomide (1983), Nakachet *et al.* (2004), Reipert e Womac *et al.* (2007, apud SANTOS, 2016); Bitra *et al.* (2008, apud SANTOS, 2016); Miu *et al.* (2006, apud SANTOS, 2016); e McKinney (2006, 2008; apud SANTOS, 2016).

Quadro 14 - Características principais dos britadores secundários (moinhos).

Característica	Martelo	Pinos	Barras	Discos	Rolos
Custo de Aquisição	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	Alto
Custo de manutenção	Baixo	Médio	Baixo	Médio	Alto
Produtividade	Alta	Alta	Baixa	Alta	Alta
Complexidade de operação	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média

Fonte: Elaborado com base em NAKACH *et al.* (2004), REIPERT e Womac *et al.* (2007, apud SANTOS, 2016); Bitra *et al.* (2008, apud SANTOS, 2016); Miu *et al.* (2006, apud SANTOS, 2016); e McKinney (2006, 2008, apud SANTOS, 2016).

Assim, conforme as regras heurísticas elaboradas a opção selecionada foi o moinho de martelos (ou britador de martelos) cujas características de baixo custo de aquisição, manutenção e complexidade de operação além de possuir uma alta produtividade são desejáveis. As regras heurísticas estão reunidas a seguir:

Regra 01 – Se o valor de investimento for baixo, utilizar o moinho de martelo, pinos ou barras.

Regra 02 – Se houver a necessidade de alta produtividade, utilizar o moinho de martelo ou pinos.

Regra 03 – Se não possuir mão de obra especializada, utilizar moinho de martelos.

6 Peneiramento e granulometria

A escolha do tipo de peneira se baseou em DIAS *et al.* (2012), DE OLIVEIRA (2016) e GOMIDE (1983) onde foram consideradas como possíveis opções a utilização de quatro tipos de peneiras: peneiras rotativas (PRT), peneiras estacionárias (PE), peneiras agitadas (PAG) e peneiras vibratórias (PV). Aplicando regras heurísticas de acordo com informações reunidas de Gomide (1983), foi escolhido a PV devido à alta capacidade de processamento e eficiência para material fino com menos possibilidade de entupimentos dentre as opções.

Regra 01 – Se possui necessidade de alta eficiência para materiais finos, optar pelas PV ou PR.

Regra 02 – Se houver a necessidade de alta capacidade, eficiência e menor risco de entupimentos utilizar a PV.

Regra 03 – Se a instalação for maior que 5 ton/h, utilizar a PR.

7 Transporte

O transporte dos resíduos de PA, casca de arroz e cana-de-açúcar após serem misturados com o óleo residual lubrificante pode ocorrer de duas formas conforme Gomide (1983), Dias *et al.* (2012) e Pigozzo (2014): através do transportador de caneca ou transportador helicoidal. Aplicando as regras heurísticas o transporte escolhido foi o helicoidal devido ao menor custo de manutenção e perda de MP em relação ao de caneca.

Regra 01 – Se houver necessidade de menores quantidades de manutenção e menos possibilidades de vazamentos, opte pelo transportador helicoidal.

Regra 02 – Havendo necessidade de menor ocupação de área, escolha o transportador de caneca.

8 Alimentação

As matérias-primas devem ser retiradas do depósito e alimentadas no transportador ou no processo através de dispositivos alimentadores (GOMIDE, 1983). Ainda de acordo com Gomide (1983) existem dois tipos de dispositivos a serem considerados para esta etapa: alimentadores volumétricos e alimentadores gravimétricos. Aplicando regras heurísticas (GOMIDE, 1983) conclui-se que o alimentador adequado para o presente processo é o gravimétrico.

Regra 01 – Se a precisão da dosagem for preferível para o processo, opte pelo alimentador gravimétrico.

Regra 2 – Se um processo de menor custo for preferível, escolha o alimentador volumétrico.

9 Pré-aquecimento

Para esta etapa do processo foram considerados os aquecedores de queima direta (QD) e os sistemas de fluido térmico de alta temperatura (FT) conforme Grover e Mishra (1996), devido à necessidade do processo ser operado em ambiente fechado e boa estabilidade térmica. As regras heurísticas foram elaboradas conforme Grover e Mishra (1996).

Regra 01 – Se a operação for realizada em ambiente fechado, opte pelo FT.

Regra 02 – Caso for preferível uma boa estabilidade térmica, escolha o FT.

Regra 03 – Se a área de implantação for pequena, opte pelo QD.

10 Briquetagem

Conforme Dias *et al.* (2012), a etapa de compressão das matérias-primas, possuem seis tipos de prensas de briquetagem: prensa de pistão mecânico (PPM), prensa de pistão hidráulico (PPH), prensa de rolos (PRO), prensa com rosca cônica (PRC), prensa de rosca dupla (PRD) e prensa com rosca cilíndrica e matriz aquecida (PRCMA). A prensa escolhida foi a PRCMA, visto que a mesma fornece um briquete com maior facilidade de combustão e ignição, além de maior proteção contra umidade. As regras heurísticas foram elaboradas com base em Dias *et al.* (2012) e Hood (2010).

Regra 01 – Se for necessário um equipamento com o tempo de vida longo e baixo consumo de energia, escolha a PPM.

Regra 02 – Se a biomassa possuir alta umidade, escolha pela PPH.

Regra 03 – Caso seja necessário um processo com baixo consumo de energia, porém um briquete menos denso para carbonização, opte pela PR.

Regra 04 – Se deseja um briquete de excelente qualidade, porém com alto custo de manutenção, opte pela PRC.

Regra 05 – Se for preferível fácil ignição e carbonização do briquete, além de maior resistência a umidade, opte pela PRCMA.

Regra 06 – Se as partículas das matérias-primas tiverem elevada taxa de umidade, opte pela PRD.

11 Transporte e resfriamento

Conforme Dias *et al.* (2012) existem dois tipos possíveis de equipamentos para realizar o transporte e resfriamento do briquete advindos do processo de briquetagem: esteira de aço perfurada e trilho. Devido principalmente a economia com manutenção e menor consumo de energia, optou-se pela esteira de aço perfurada. As regras heurísticas aplicadas para escolha da melhor opção foram baseadas em Gomide (1983) e podem ser visualizadas adiante.

Regra 01- Se for preferível maior mobilidade de descarga, opte pelo trilho.

Regra 02 – Se o material for quente e abrasivo, opte pela esteira de aço perfurada.

Regra 03 – Se for preferível menos custo em relação à implantação, manutenção e consumo de energia, opte pela esteira de aço perfurada.

4.4 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

Para realizar o dimensionamento dos equipamentos, primeiramente se faz necessário encontrar a capacidade produtiva.

O briquete substitui de forma eficaz a utilização de fontes de energia industriais, como por exemplo, a lenha para geração de energia (DANTAS; SANTOS; SOUZA, 2012). De acordo com Goulart (2013), o déficit por lenha para produção de energia das cooperativas agropecuárias do estado do Paraná em termos de produção é de cerca de 375.000 t/ano.

A capacidade produtiva do presente estudo representa 7% do déficit de lenha para energia do estado do Paraná, ou seja, 26.250 t/ano. A produção será realizada de forma contínua durante todo o ano (24 horas por dia). O fator de operação considera 90% da carga horária anual, visto que 10% está considerando eventuais paradas e feriados. Assim o fator operacional é de 7884 h/ano conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Fator de operação.

Horas anuais (h/a)	Porcentagem de horas trabalhadas (%)	Fator de operação (h/a)
8760	90	7884

Fonte: Autora, 2022.

Assim, considerando a composição do briquete definida anteriormente, temos as seguintes quantidades para cada matéria-prima, expostas na Tabela 13.

Tabela 13 - Quantidades a serem consideradas inicialmente.

Matéria-prima	% da Composição	Quantidade (t/ano)	Quantidade (t/h)
Bagaço de cana-de-açúcar	14,5707	3.824,8100	0,4851
Resíduo de poda de árvore	4,1630	1.092,7900	0,1386
Casca de arroz	75,2299	19.747,8500	2,5005
Óleo lubrificante residual	6,0364	1.584,5500	0,2010
Total	100,0000	26.250,0000	3,3200

Fonte: Autora, 2022.

Em cada dimensionamento realizado foi considerado um fator de segurança de 1,2 (20%) para evitar possibilidades de falhas ou erros no

equipamento provenientes, por exemplo, de uma possível sobrecarga acidental.

Analisando a quantidade de matéria-prima demandada conforme a produção anual de briquetes pelo empreendimento, a cidade de Londrina – PR, não possui produção suficiente de casca de arroz para atender a demanda, visto que produz apenas cerca de 120 t/ano de arroz. Assim, pode-se considerar a região de Santa Isabel do Ivaí - PR como alternativa para implantação do empreendimento, uma vez que a cidade, juntamente com as cidades próximas de Santa Mônica e Querência do Norte possuem a produção 84.735 t/ano de arroz e 243.375 t/ano de cana-de-açúcar (IBGE, 2020), sendo estes os principais constituintes do briquete.

4.4.1 Peneira Vibratória

Para o dimensionamento da peneira vibratória foi considerada uma eficiência de 95%. Aplicando as Equações de (1) à (5) juntamente com as Equações (7) e (8) são obtidos os resultados expostos na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados obtidos para o dimensionamento da peneira vibratória.

Parâmetro	Valor	Unidade
S	3,120	(t/h)
Q_M	3,280	(t/h)
T_P	94,000	(%)
Q_G	2,930	(t/h)
Q_B	0,350	(t/h)
CC	0,440	(t/h)
AI	3,560	(t/h)
$d_{mistura}$	134,400	(kg/m ³)
d	0,084	-
D	1,000	-
B	1,000	-
E	1,000	-
F	2,600	-
C	0,800	(t/h x 0,9m ²)

Fonte: Autora, 2022.

Assim, aplicando a Equação (9) em que são substituídos os valores encontrados expostos na Tabela 14, a área da peneira será de 17,86 ft². A este valor deve ser acrescida uma área adicional de 10% para compensar as perdas de área devido aos suportes que sustentam a tela da peneira (LUZ; SAMPAIO;

FRANÇA, 2010). Tem-se então, a área de peneira igual a 19,65 ft² (1,82 m²). É recomendável manter uma razão de comprimento/largura de 2:1 para um peneiramento eficaz. Logo, por tentativa recomenda-se uma peneira de 2 x 0,91 m, obtendo desta maneira uma área de 1,82 m² (19,65 ft²), ou seja, a área encontrada já está na proporção comprimento/largura de 2:1.

De acordo com o manual de britagem METSO (2005), a peneira que atende essa capacidade possui 2,5 m² de área. Suas especificações podem ser visualizadas pela Tabela 15.

Tabela 15 - Características da peneira vibratória selecionada.

Parâmetro	Descrição / Valor
Modelo	M25010/1A
Dimensões do quadro (mm)	2500 x 1050
Motor (Hp)	5
Comprimento (mm)	2600
Altura (mm)	1400
Largura (mm)	1410

Fonte: METSO, 2015.

4.4.1 Motosserra

Por meio da Equação (8) obtêm-se a massa por hora de 220,008 kg/h (considerando a AI), o volume de resíduo por hora a ser reduzido pelo equipamento é de 0,504 m³/h (considerando 20% de fator segurança). De acordo com Batista (2008), o rendimento médio de uma motosserra é de 21,83 m³/h. Portanto, uma unidade de motosserra é suficiente para atender a necessidade. As especificações da motosserra selecionada da empresa Stihl podem ser visualizadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Características técnicas da motosserra selecionada.

Parâmetro	Descrição / Valor
Modelo	MS881
Emissão de CO ₂ (g/kWh)	729
Potência (kW)	6,4
Peso (kg)	9,9
Comprimento da guia (cm)	63 – 90

Fonte: STIHL.

4.4.2 Britador Giratório

Por processar apenas o resíduo de poda de árvore, este equipamento terá como alimentação (considerando a AI) a vazão mássica de 220,008 kg/h. De acordo com Gomide (1983), o britador com menor capacidade disponível no mercado possui 4 t/h de capacidade máxima. As especificações do equipamento podem ser visualizados na Tabela 17.

Tabela 17 - Características técnicas do britador giratório selecionado.

Parâmetro	Descrição / Valor
Abertura de Alimentação (mm)	75
Menor abertura de descarga (pol.)	1/8
Rotação máxima (rpm)	1050
Potência (Hp)	15 – 20

Fonte: Gomide, 1983.

4.4.3 Moinho de Martelo

O moinho de martelo reduzirá de tamanho todos os resíduos sólidos. Devido a isso, será considerado como alimentação o valor obtido com AI de 3,56 t/h, acrescentado o fator segurança de 20%, obtendo desta maneira uma vazão mássica de 4,272 t/h. O equipamento selecionado é da empresa Lyong Yuda Machinery Co (Ltda), cujas especificações podem ser visualizadas pela Tabela 18.

Tabela 18 - Características técnicas do moinho de martelo selecionado.

Parâmetro	Descrição / Valor
Modelo	SFSP56x36
Potência (kW)	30
Capacidade (t/h)	3 – 5
Diâmetro do rotor (mm)	560
Velocidade de giro (rpm)	2950
Peso (kg)	700

Fonte: Alibaba (Moinho de martelo).

4.4.4 Misturador

O misturador irá promover a misturar da massa passante pela peneira com o óleo. Foram consideradas as quantidades disposta na Tabela 13. Utilizando a Equação (8) e os valores de densidade disponíveis na Tabela 5, o volume de cada material pode ser calculado, estando seu resultado exposto na Tabela 19.

Tabela 19 – Volume total de cada matéria-prima a ser utilizada no misturador.

Matéria-prima	V_T
Bagaço de cana-de-açúcar	4,0425
Resíduo de poda de árvore	0,2640
Casca de arroz	19,2346
Óleo lubrificante residual	0,2258

Fonte: Autora, 2022.

Para os resíduos sólido (bagaço de cana-de-açúcar, resíduo de poda de árvore e casca de arroz) o volume final será obtido pela diferença entre o volume total e o volume de vazio, obtido empregando a Equação (10). O volume de vazio foi encontrado utilizando a Equação (11) juntamente com os dados da Tabela 6. Os resultados do volume de vazios (V_V) e volume final (V_F) podem ser visualizados pela Tabela 20.

Tabela 20 – Volume de vazios e volume final das matérias-primas sólidas.

Matéria-prima	V_V (m³)	V_F (m³)
Bagaço de cana-de-açúcar	3,89	0,15
Resíduo de poda de árvore	0,20	0,06
Casca de arroz	18,08	1,15

Fonte: Autora, 2022.

Assim, somando os volumes finais V_F ao volume do óleo lubrificante residual, verifica-se que o volume do misturador é de 1,59 m³. Acrescentando a este valor o fator segurança de 20% obtemos como volume do misturador 1,91 m³. Para este volume foi selecionado o misturador da empresa

Hindag com capacidade de 2050 L cujas especificações encontram-se na Tabela 21.

Tabela 21 - Características técnicas do misturador selecionado.

Parâmetro	Descrição / Valor
Diâmetro (mm)	1200
Altura (mm)	1800
Peso (kg)	428
Tubo de saída	2.1/2 NPT

Fonte: HINDAG.

4.4.5 Transportador Helicoidal

Para o transportador helicoidal se considera a vazão mássica total do processo (3,12 t/h) acrescido do fator segurança de 20% obtendo como valor a necessidade de 3,744 t/h. O transportador helicoidal com menor capacidade encontrado é da empresa GSI, possuindo a capacidade máxima de 40 t/h. Suas especificações podem ser visualizadas pela Tabela 22.

Tabela 22 - Características técnicas do transportador helicoidal selecionado.

Parâmetro	Descrição / Valor
Modelo	TH40
Comprimento máximo (m)	46
Diâmetro helicoide (mm)	250
Peso linear (kg/m)	58

Fonte: GSI.

4.4.6 Alimentador Gravimétrico

Para o alimentador gravimétrico se considera a vazão mássica total do processo (3,12 t/h) acrescido do fator segurança de 20% obtendo como necessidade a vazão mássica de 3,744 t/h. O alimentador gravimétrico com menor capacidade encontrado é da empresa Quanzhou Wanggong Eletronic Scal Co (Ltda), possuindo a capacidade máxima de 10 t/h. Suas especificações podem ser visualizadas pela Tabela 23.

Tabela 23 - Características técnicas do alimentador gravimétrico selecionado.

Parâmetro	Descrição / Valor
Modelo	WGS-60
Velocidade de transporte (m/min)	7,8
Montante total do funil (CBM)	7

Fonte: MADE-IN-CHINA (alimentador gravimétrico).

4.4.7 Sistema Fluido Térmico de Alta Temperatura

Considerando a massa conforme disposta na Tabela 13 e C_p da Tabela 8, para temperatura inicial de 25°C (ambiente) e temperatura final de 250 °C conforme recomendado por Grover e Mishra (1996), utilizando a Equação (12) encontramos a potência de cada material disposto na Tabela 24.

Tabela 24 – Potência térmica para cada matéria-prima.

Matéria-prima	P (kW)
Bagaço de cana-de-açúcar	30,3129
Resíduo de poda de árvore	14,8990
Casca de arroz	270,8900
Óleo lubrificante residual	31,1951
Total	347,2970

Fonte: Autora, 2022.

Assim, considerando o fator de segurança de 20% temos a necessidade de potência de 416,7564 kW. Para esta necessidade foi selecionado o equipamento da empresa NEOSOUL com capacidade para 480 kW. As especificações do equipamento pode ser visualizadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Características técnicas do FT.

Parâmetro	Descrição / Valor
Modelo	YYQ(W)-480Y(Q)
Máxima temperatura do óleo de saída (°C)	300 (ajustável)
Pressão nominal de trabalho (bar)	10
Meio de transferência de calor	óleo de transferência de calor
Consumo de energia do sistema (kW)	11,5
Consumo de combustível Diesel leve (kg/h)	39,4
Tamanho único (mm)	3400 x 2000 x 2200
Peso (kg)	3580

Fonte: MADE-IN-CHINA (sistema de fluido térmico de alta temperatura).

4.4.8 Prensa com Rosca Cilíndrica e Matriz Aquecida

Para o prensa com rosca cilíndrica e matriz aquecida se considera a vazão mássica total do processo (3,12 t/h) acrescido do fator segurança de 20% obtendo como necessidade a vazão mássica de 3,744 t/h. A prensa com capacidade adequada encontrada é da empresa TianyuYoudo Machinery Store, possuindo a capacidade máxima de 4 t/h. Suas especificações podem ser visualizadas pela Tabela 26.

Tabela 26 - Características técnicas da prensa selecionada.

Parâmetro	Descrição / Valor
Modelo	UDMBB-220
Potência (kW)	30
Velocidade (rpm)	7
Diâmetro do impulsor do parafuso (mm)	180
Lâmina de parafuso	5
Tamanho exterior (mm)	2440x1500x1200

Fonte: ALIEXPRESS.

4.4.9 Esteira de Aço Perfurada

Para encontrar área necessária da esteira, devido a falta de informações do produto obtido da prensa com rosca cilíndrica e matriz aquecida, consideraremos o comprimento de 0,4000 m, diâmetro de 0,0580 m e peso de

930 g (FAXÄLV; NYSTRÖM, 2006), obtendo assim uma área de 0,0232 m² por unidade de briquete. Considerando a vazão mássica de 3,12 t/h, utilizando a Equação (13) temos 3351 unidades de briquete por hora assim pela Equação (16) a área da esteira será de 77,75 m². Considerando o fator de segurança de 20% temos a área final da esteira de 93,30 m².

A esteira selecionada é da empresa MAITUO (MADE-IN-CHINA (esteira de aço perfurada)) modelo MT-CB004 sendo vendida conforme a necessidade por m².

4.5 ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR

Os resultados dos custos iniciais obtidos a partir da análise econômica podem ser visualizados pela Tabela 27.

Tabela 27 – Parâmetros utilizados para os cálculos posteriores.

Parâmetro	Resultado (US\$/ano)
C_{util}	41.445,23
$C_{matprima}$	798.062,21
R	2.523.940,12
C_{roy}	0,00
ΣI_{Ei}	210.839,26

Fonte: Autora, 2022.

A estimativa para o investimento total e custos totais encontra-se na Tabela 28.

Tabela 28 - Resultado para a estimativa de investimento.

Parâmetro	Resultado (US\$/ano)
I_{total}	3.127.721,36
I_{fixo}	1.490.370,02
I_{direto}	1.192.296,02
ISBL	822.273,11
OSBL	370.022,90
$I_{indireto}$	298.074,00
$C_{proprios}$	59.614,80
$C_{eventuais}$	238.459,20
I_{giro}	1.488.314,34
$I_{partida}$	149.037,00

Fonte: Autora, 2022.

A estimativa dos custos totais encontra-se na Tabela 29.

Tabela 29 - Resultados para a estimativa dos custos.

Parâmetro	Resultado (US\$/ano)
C_{total}	1.336.676,40
C_{prod}	1.273.577,90
$C_{diretos}$	1.228.866,80
C_{manut}	59.614,80
C_{supr}	8.942,22
C_{adm}	53.467,06
C_{mobra}	267.335,28
C_{fixos}	44.711,10
$(C_{imp} + C_{seg})$	44.711,10
$C_{alug} = C_{jur}$	0,00
C_{gerais}	63.098,50

Fonte: Autora, 2022.

Por fim, a Tabela 30 exhibe o lucro do empreendimento.

Tabela 30 - Resultados para o lucro do empreendimento.

Parâmetro	Resultado (US\$/ano)
LE	206.341,23
IR	519.113,36
LB	1.187.263,73
D	149.037,00
RIR	312.772,14
t	0,50

Fonte: Autora, 2022.

Portanto, o lucro do empreendimento para uma vida útil de 10 anos é de US\$ 206.341,23. Sendo assim, o processo mostra-se viável economicamente para a produção de briquetes utilizando as matérias-primas de casca de arroz, resíduo de poda de árvore, bagaço de cana-de-açúcar e óleo lubrificante residual.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi estudada a implantação de uma planta de briquetagem industrial para a cidade alvo de Londrina - PR. Foram avaliados os tipos de matéria-prima a serem utilizadas no estudo, bem como suas composições, obtidas através da programação linear. O briquete possui como composição: 75,23% de casca de arroz, 4,16% de resíduo de poda de árvore, 14,57% de bagaço de cana-de-açúcar e 6,04% de óleo lubrificante residual. Ainda foi determinado o fluxograma ótimo para o processo de produção do briquete e seus equipamentos dimensionados, a fim de atender a demanda de 7% do déficit por lenha do estado do Paraná para a produção de energia.

A cidade alvo de Londrina – PR, não possui produção suficiente de casca de arroz, sendo este o principal constituinte do briquete. Como cidade alternativa, sugeriu-se Santa Isabel do Ivaí - PR para implantação do empreendimento, uma vez que a cidade, juntamente com as cidades próximas de Santa Mônica e Querência do Norte atendem a capacidade produtiva do empreendimento. Por fim, com a realização da análise econômica preliminar foi obtido um lucro para o empreendimento de US\$ 206.341,23. Deste modo pode-se concluir que os objetivos específicos e o objetivo geral do trabalho foram atingidos.

O processo pode ser considerado viável do ponto de vista econômico, visto que o lucro do empreendimento obteve um valor positivo. O presente estudo mostrou que resíduos com baixo valor comercial e com uma problemática ambiental podem ser valorizados ao serem empregados para fabricação de briquete sendo uma alternativa não apenas ambientalmente viável, mas também economicamente.

Para trabalhos futuros sugere-se empregar o método evolutivo para os fluxogramas vizinhos da árvore de estado e também a fabricação do briquete estudado para a composição selecionada, além da realização de análise físico-química e física com o intuito de comprovar a qualidade do mesmo e comparar com os valores estimados no presente estudo.

6 REFERÊNCIAS

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010. 2010. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021. 2021. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

AGO2BUSINESS. Bandinha de feijão. Disponível em: < <https://agro2business.com/marketplace/2956/bandinha-de-feijao>>. Acesso em: 20 de dez. de 2022.

AHN, B.J., CHANG, H.S., LEE, S.M., CHOI, D.H., CHO, S.T., HAN, G.S., YANG, I. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. **Renewable Energy** v. 62, p. 18-23, 2014.

ALIBABA. Yida moedor de martelo de arroz moedor de alimentação. Disponível em: < https://portuguese.alibaba.com/p-detail/YUDA-60712209939.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.19093b02QGgqxn&s=p>. Acesso em: 10 de nov. de 2022.

ALIBABA (esteira transportadora). Transportador de malha de fio de aço inoxidável com tamanho personalizado. Disponível em: < <https://portuguese.alibaba.com/p-detail/Stainless-60800599909.html?spm=a2700.7735675.0.0.75de5c1fYbyx9y&s=p>> Acesso em: 25 de nov. de 2022.

ALIEXPRESS. Máquina de pressionamento de carvão e carvão embutido. Disponível em: < https://pt.aliexpress.com/item/32771102049.html?pdp_npi=2%40dis%21BRL%21R%24%2034.601%2C64%21R%24%2034.601%2C64%21%21%21%21%21%402101d1bb16687> . Acesso em: 15 de nov. de 2022.

ALMEIDA, C. A. S. M. D. Prospecção do lodo de ETE com capim elefante e óleo de cozinha residual como alternativa energética a produção de pellets [dissertação]. Maceió: Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas; 2020.

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Coeficientes dos pisos mínimos de transporte rodoviário de carga. 2022. Disponível em: < <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/antt-publica-novos-valores-da-tabela-dos-pisos-minimos-de-frete>>. Acesso em: 20 de set. de 2022.

ARAÚJO JUNIOR, A. M.; DE ALMEIDA, J. B. N.; TOBIAS, J. J.; DOS SANTOS, L. F. Levantamento da Arborização Urbana da região sul de Londrina e estudo de impacto ambiental. Curso Técnico de Meio Ambiente – Colégio Estadual Albino Feijó Sanches, 2008.

ASAMOAH, B.; NIKIEMA J.; GEBREZGABHER S.; ODKOR E.; NJENGA M. A. Review on production, marketing and use of fuel briquettes. CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE). Resource Recovery and Reuse Series 7. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka. 55 p., 2016.

AUSTIN, A. "Packing Heat and Power," Biomass Power & Thermal, 2010 *apud* TUMULURU, J. S. *et al.* A review on biomass densification technologies for energy application. Idaho: U.S. Department of Energy, 2010. Disponível em: <<https://inldigitallibrary.inl.gov/sites/sti/sti/4886679.pdf>>. Acesso em: 10 jul. de 2022.

AVRIEL, M. Nonlinear programming: analysis and methods. Courier Corporation, 2003.

BATISTA, H. L. P. Estudo de tempo e rendimento da motosserra considerando fatores ergonômicos na exploração florestal na Amazônia Central. Dissertação de Mestrado (Ciências de Florestas Tropicais área de concentração Manejo Florestal) - Programa de PósGraduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, 2008.

BARBERATO, C. Agricultura está na mão dos pequenos. Folha de Londrina. 2001. Disponível em: <<https://www.folhadelondrina.com.br/cadernos-especiais/agricultura-esta-na-mao-dos-pequenos-373367.html>>. Acesso em: 21 de set. de 2022.

BARROS, M. R. *et al.* Briquetagem de finos de calcário. **HOLOS**, v. 7, n. 1, p. 156–163, 2015.

BASTOS, A. P. OTIMIZAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE ESPESSURAS DE PAREDES DE DUTOS SANDUÍCHES. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Cotações e boletins. **Data cotação utilizada:** 03/10/2022. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>>. Acesso em: 03 de out. de 2022.

BHATTACHARYA, S. C.; SETT, S.; SHRESHTHA, R. M. State of art for biomass densification. **Energy Sources**, Bristol, v. 11, n. 3, p. 161-182, 1989.

BHATTACHARJEE, N.; BISWAS, A. B. Physicochemical analysis and kinetic study of orange bagasse at higher heating rates. **Fuel**, v. 271, p. 117642, 2020.

BUENO, F. Métodos heurísticos. Teoria e implementações. Araranguá: IFSC, 2009.

BUCHE, P. Entenda como funciona a Secretaria de Meio Ambiente de Foz. 2021. <<https://100fronteiras.com/brasil/noticia/entenda-a-secretaria-de-meio-ambiente-de-foz/>>. Acessado em 04/06/2022.

BRASIL. Resolução nº 362, de 23 de junho de 2005. **CONAMA**: Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados. Diretrizes para o licenciamento ambiental. Grupo de Monitoramento Permanente, Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=466>> Acesso em: 20 de dez. 2022.

BRITANNICA, Os Editores da Enciclopédia. "coco". Enciclopédia Britânica , 22 de outubro de 2021, <https://www.britannica.com/plant/coconut>. Acesso em 5 de setembro de 2022.

BRUNEROVÁ, A.; BROŽEK, M.; MÜLLER, M. Utilization of waste biomass from post-harvest lines in the form of briquettes for energy production. **Agronomy Research**, v. 15, n. 2, p. 344-358, 2017.

Carone, M.T.; Pantaleo, A.; Pellerano, A. 2011. Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 35, 402-410 pg., 1 ed., 2011.

CASSARO, C.; BRASIL, G.; ALMEIDA, F. A. B. Estudo e análise da destinação do óleo de cozinha e coleta nos empreendimentos turísticos de Foz do Iguaçu. In: VI FORUM INTERNACIONAL DE TURISMO DO IGUASSU. [S.l.: s.n.], p. 1-19. 2012.

CEARÁ (Estado). Secretaria da Educação. Curso Técnico em Mineração. Cominuição e Classificação. Escola Estadual de Educação Profissional – EEDP. 145 p.

COLLARES, D; BARBOSA, P. Briquetagem e Peletização de Resíduos Agrícolas e Florestais. Embrapa, 6 p. 2012.

COUTO, C. A.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, M. T. P.; VASCONCELOS, J. P.; SILVA, A. R.; SOBREIRA, E. A.; MOURA, J. B. Desempenho de cultivares de milho destinados para produção de milho verde e silagemal, *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 6, n. 1, p. 232-251, 2017.

CRAVEN, J. M.; SWITHENBANK, J.; SHARIFI, V. N.; PERALTA-SOLORIO, D.; KELSALL, G.; SAGE, P. Hydrophobic coatings for moisture stable wood pellets. **Biomass and Bioenergy**, v. 80, p. 278-285, 2015.

CREMASCO, M. M.; GIUSTETTO, A.; CAFFARO, F.; COLANTONI, A.; CAVALLO,

E.; GRIGOLATO, S. A comparison between RULA and REBA in the manual feeding of a wood-chipper. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 5, p. 793, 2019.

DAVIES, F. S. **Análise, Desenvolvimento e Comparações de Briquetes de Resíduos de Podas de Árvores de Foz do Iguaçu e de Erva Mate**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energias Renováveis) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, 2021.

DA COSTA, J. M. G.; CORRÊA, J. L. G.; FONSECA, B. E.; BORÉM, F. M.; BORGES, S. V. Drying and isotherms of sugar cane bagasse. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 23, n. 2, pág. 128-142, 2015.

DA SILVA, M. B.; DOS SANTOS MORAIS, A. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro**, 2008.

DA SILVA FILHO, W. *et al.* A produção dos resíduos sólidos urbanos: os persistentes desafios socioambientais para a gestão pública. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 4, p. 1271–1294, 2017.

DA SILVA, J. W. F.; CARNEIRO, R. A. F.; MATOS, J. Da biomassa residual ao briquete: viabilidade técnica para produção de briquetes na microrregião de Dourados-MS. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 4, p. 624-646, 2017.

DA SILVA, R. L.; PERISSINOTTO, Y. B.; DA SILVA SOARES, S. R.; VIEIRA, M. M. Ensaio de torque e consumo de combustível de uma motosserra utilizando três misturas de biocombustível. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 2, p. 253-262, 2019.

DANTAS, A. P.; SANTOS, R. D.; SOUZA, S. D. O briquete como combustível alternativo para a produção de energia. In: **III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO**. Vol. 19. 2012.

DENTELLO, R. O. Estudo das características fluidodinâmicas do bagaço de cana de açúcar para aplicações da gaseificação no setor sucroalcooleiro. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2015.

DE BARROS, V. C. C. **Briquetes produzidos com resíduos de poda urbana e embalagens cartonadas**. 2013. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DE OLIVEIRA, C. M. Biomassa e bioenergia woodchips, pellets e briquete. Curitiba, PR: ABIB, 2013.

DE OLIVEIRA, C. M. Biomassa Bioenergia Briquete Woodpellets. Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável: ABIB Brasil Biomassa e Energia, 1^a ed, 2016.

DE OLIVEIRA, C. M. Conjuntura Nacional e Internacional Setor Industrial de Biomassa Pellets Briquetes. Curitiba – PR, Brasil: Instituto Brasileira Pellets Biomassa Briquetes, 2019.

DE SOUZA, R. M. Os condomínios horizontais: qual e a sua gênese e por que tanto crescem? **Estudos**, v. 37, n. 3, p. 561–572, 2010.

DEMIRBAS, Ayhan. Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. **Energy conversion and management**, v. 50, n. 4, p. 923-927, 2009.

DIAS, J. M. C. de S. *et al.* Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 132 p., 2012.

DINIZ, J. C.; CARDOSO, A. D.; STAHL, J. A.; VILLETTI, M. A.; MARTINS, A. F. Poder calorífico da casca de arroz, caroço de pêssego, serragem de eucalipto e de seus produtos de pirólise. **Ciência e Natura**, v. 26, n. 2, p. 25-32, 2004.

ESTEVEZ, E. Regressão não-linear utilizando a ferramenta Solver® do Microsoft Excel®. **Tecnovisão, Série Electrónica**, v. 18, p. 1-3, 2008.

FAUSTINO, F. C.; SANTANA JÚNIOR, J. A.; CERQUEIRA, D. A.; ATAÍDE, C. H.; CARDOSO, C. R. Avaliação do Potencial Pirolítico dos Resíduos Agroindustriais de Arroz e Milho. **Rev Virtual Quim**, v. 11, p. 1882-1893, 2019.

FENERICK, *et al.* CADEIA PRODUTIVA DE BRIQUETES: competitividade no mercado, processo de produção e projeção em longo prazo. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 437-448, 2019.

FERNANDES, R. K. M. *et al.* Biodiesel a partir de óleo residual de fritura: alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. [S.l.: s.n.], p. 1–10, 2008.

FAXÄLV, O.; NYSTRÖM, O. Biomass Briquettes in Malawi. Tese de Bacharelado, Linköping University, Suécia, 2006.

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.

GOMES, A. P. *et al.* A questão do descarte de óleos e gorduras vegetais hidrogenadas residuais em indústrias alimentícias. In: XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. . [S.l.: s.n.], p. 14, 2013.

GOMIDE, Reynaldo. Operações Unitárias: operações com sistemas sólidos granulares. v. 1. São Paulo: Edição do autor, 1983.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de Eucalyptus grandis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 657-661, 2009.

GOULART, I. D. R.; MARTINS, G.; SANTAROSA, E.; DERETI, R.; PENTEADO JÚNIOR, J. Demanda por lenha no Paraná: oportunidade para o sistema agrossilvipastoril. In: Anais do 1º Simpósio Internacional de Arborização de Pastagens em Regiões Subtropicais 1. Curitiba, PR. 2013.

GROVER, P. D.; MISHRA, S. K. **Biomass briquetting: technology and practices**. Bangkok, Thailand: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996.

GSI. Transportadores. Disponível em: <<https://www.gsibrasil.ind.br/>> . Acesso em: 10 de nov. de 2022.

GUO, Z.; WU, J.; ZHANG, Y.; GUO, F.; MIAO, Z.; ZHAO, X.; GUO, Y. Analysis of enhancing moisture-proof and waterproof performance for lignite powder briquette. **International Journal of Coal Preparation and Utilization**, v. 42, n. 9, p. 2566-2580, 2022.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HIDROMEPE. Prensa Hidráulica Manual 15T P15500 Desmontável BOVENAU. Disponível em: < <https://www.acasadosmacacos.com.br/prensa-hidraulica-manual--15t-p15500-desmontavel-bovenau/p>> . Acesso em: 08 de Jul. de 2022.

HINDAG. Tanques: catálogo eletrônico. Disponível em: < <http://www.hindag.com.br/tanque.html>>. Acesso em: 25 de nov. de 2022.

HOLMAN, J. P. Heat Transfer. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 1986.

HOOD, Ahmed Hassan. Biomass briquetting in Sudan: A feasibility study. **The United States Agency for International Development (USAID) and the Women's Refugee Commission**, 2010.

HURTADO, F. S. V. Uma formulação de volumes finitos baseada em elementos para a simulação do deslocamento bisafico imiscível em meios porosos. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção agrícola municipal. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>>. Acesso em: 28 de nov. de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola – Lavoura Temporária. Londrina – PR. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/londrina/pesquisa/14/10193?ano=2021&indicador=10214>> . Acesso em: 20 de dez. de 2022.

IMBERTI, R. M. Estudo da secagem de amêndoas de cacau visando o aproveitamento na indústria de chocolate: otimização estrutural do processo e eficiência energética. Programa de Pós-graduação em Energia (Mestrado em Energia). Universidade Federal do Espírito Santo. São Mateus, 2017.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 2): conversion Technologies, **Bioresource Technology**. v. 83, p. 47-54, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama. 2021. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>>. 2020. Acesso em: 13 de set. de 2022.

IKELLE, I. I.; NWORIE, F. S.; OGAH, A. O.; IIOCHI, N.O. Study on the combustion properties of bio-coal briquette blends of cassava stalk. **ChemSearch Journal**, v. 8, n. 2, p. 29-34, 2017.

Instituto Cubano de Pesquisa dos Derivados da Cana-de-Açúcar. Manual dos derivados da cana-de-açúcar. Brasília: ABIPTI, p. 474, 1999.

JMS BARROSO EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS. Elevador Canecas. Disponível em: < <https://jmsequipamentos.webnode.com.br/elevador-caneca/> >. Acesso em: 01 de out. 2022.

KALTSCHMITT, M.; HARTMANN H.; HOFBAUER, H. *Energie aus Biomasse*. 2. ed. 1063 p. New York: Springer , 2009.

KARUNANITHY, C.; WANG, Y.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; PUGALENDHI, S. Physiochemical characterization of briquettes made from different feed-stocks. **Biotechnology research international**, v. 2012, 2012.

LASDON, L. S., WAREN, A. D., JAIN, A., RATNER, M. Design and testing of a generalized reduced gradient code for nonlinear programming. **ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)**, v. 4, n. 1, p. 34-50, 1978.

LIPPEL. Planejando usina de briquetagem. 2014. Disponível em: <<https://www.lippel.com.br/>> . Acesso em 3 de dez. de 2022.

LONDRINA. Caderno 2: Situação dos resíduos sólidos. Prefeitura de Londrina: 2021. Disponível em: <<https://repositorio.londrina.pr.gov.br/index.php/menu-ambiente/dca/residuos>>. Acesso em: 20 de dez. de 2022.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. *Tratamento de Minérios* (5ª edição), 960 p, CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, RJ. 2010.

MADALENA, L. C. D. S. Análise físico-química e energética de briquetes de feijão guandu (*Cajanus cajan*) SILG 2009 submetidos à torrefação. Programa de PósGraduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Dissertação de Mestrado). 2020.

MADE-IN-CHINA (Transportador helicoidal). Parafuso helicoidal vertical do alimentador do transportador do sem-fim para a secagem. Disponível em: <https://pt.made-in-china.com/co_xsglsb/product_Vertical-Helical-Screw-Auger-Conveyor-Feeder-for-Drying_oyonusisg.html>. Acesso em: 25 de nov. de 2022.

MADE-IN-CHINA (Alimentador gravimétrico). Alimentação gravimétrica contínuo pesar no carvão Site Minig do Alimentador. Disponível em: <https://pt.made-in-china.com/co_chineseweighing/product_Continuous-Gravimetric-Feeding-Weigh-Feeder-in-Coal-Minig-Site_uorhuuoeg.html>. Acesso em: 25 de nov. de 2022.

MADE-IN-CHINA (Sistema fluido térmico de alta temperatura). Aquecedor de fluido térmico a óleo compacto fabricante. Disponível em: <<https://delonthermal.en.made-in-china.com/product/YnWUaOhEVmke/China-Compact-Oil-Fired-Thermal-Fluid-Heater-Manufacturer.html>>. Acesso em: 15 de nov. de 2022.

MADE-IN-CHINA (esteira de aço perfurada). Correia transportadora em espiral de aço inoxidável SS304. Disponível em: < <https://maituowiremesh.en.made-in-china.com/product/XxBRWpGPutcE/China-SS304-Stainless-Steel-Chain-Spiral-Conveyor-Belt.html>>. Acesso em: 15 de nov. de 2022.

MARCHESINI, T.; PEREIRA, F. A.; MORAIS, M. M. Caracterização da casca de arroz moída visando estudo do processo de recuperação da lignina. In: Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 7, n. 2, 2015.

MATCHE. Matche's Process Equipment Cost Estimates. Disponível em: < <https://www.matche.com/equipcost/Default.html>>. Acesso em: 23 de nov. de 2022.

METALZAN. Relação custo x benefício dos combustíveis de aquecedor de aviário. Disponível em: <<https://www.metalzan.ind.br/post/rela%C3%A7%C3%A3o-custo-x-benef%C3%ADcio-dos-combust%C3%ADveis-de-aquecedor-de-avi%C3%A1rio>> . Acesso em: 10 de jul. de 2022.

MATOS, S. N.; PINTO, T. V.; MOREIRA, V. S.; MORAES, T. A.; ALVES, P. H.; PESSIN, G.; EUZEBIO, T. A. Estratégia de Avaliação da Eficiência do Processo de Peneiramento Utilizando Sensoriamento Remoto. In: **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente-SBAI**. 2021.

METSO. Manual de Britagem. 6ª Edição. 2005.

MFRURAL. Briquete. 2022. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/busca/briquete-ecologico>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

MFRURAL (Resíduo de mandioca). Farelo de mandioca. Disponível em: <<https://www.mfrural.com.br/detalhe/403082/farelo-para-nutricao-animal>>. Acesso em: 20 de dez. de 2022.

MFRURAL (Resíduo de algodão). Ração bovina (resíduo de algodão). Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/detalhe/601952/racao-bovina-residuo-de-algodao>> . Acesso em: 20 de dez. de 2022.

MFRURAL (Resíduo de amendoim). Resíduo de grãos. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/detalhe/371913/racao-peletizada-de-cereais> >. Acesso em: 20 de dez. de 2022.

MFRURAL (Palha e sabugo de milho). Palha e sabugo de milho. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/detalhe/447999/silagem-sabugo-e-palhada-do-milho>>. Acesso em: 18 de set. de 2022.

MFRURAL (Casca de arroz). Casca de arroz. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/detalhe/377348/casca-de-arroz>>. Acesso em: 24 de set. de 2022.

MFRURAL (Bagaço de laranja). Bagaço de laranja, Polpa Cítrica a Venda. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/detalhe/630953/bagaco-da-laranja-polpa-citrica-a-venda>>. Acesso em: 24 de set. de 2022.

MFRURAL (Resíduo de aveia). Resíduo de grãos. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/detalhe/616951/residuo-de-graos>>. Acesso em: 20 de dez. de 2022.

MFRURAL (Bagaço de cana). Bagaço de cana. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/detalhe/607066/bagaco-de-cana>>. Acesso em: 20 de dez. de 2022.

MFRURAL (Casca de soja). Casca de soja. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/busca/casca-soja>> Acesso em: 25 de set. de 2022.

MFRURAL (Palha de trigo). Palha de trigo. Disponível em: < <https://www.mfrural.com.br/busca/palha-trigo>> . Acesso em: 25 de set. de 2022.

MIŠLJENOVIĆ, N.; MOSBYE, J.; SCHULLER, R. B.; LEKANG, O. I; SALAS-BRINGAS, C. The effect of waste vegetable oil addition on pelletability and physical quality of wood pellets. **Ann. T. Nord. Rheol. Soc.**, v. 22, p. 1-8, 2014.

MORO, J. P. Briquetagem de finos de carvão vegetal. Anais da 2ª jornada de engenharia dos países de língua portuguesa. Rio de Janeiro. 1987 *apud* VIEIRA, N. A. D. **Obtenção de briquetes a partir da casca do arroz e avaliação do seu potencial energético**. 2014. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado.

NAKACH, M., AUTHELIN, JR, CHAMAYOU, A., DODDS, J. Comparação de várias tecnologias de moagem para moagem de pós farmacêuticos. *International Journal of Mineral Processing* , 74 , S173-S181.2004.

NAPITUPULU, R. A.; GINTING, S.; NAIBAHU, W.; SIHOMBING, S.; TARIGAN, N.; KABUTEY, A. The effect of used lubricating oil volume as a binder on the characteristics of briquettes made from corn cob and coconut shell. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, p. 012010., 2020.

NASCIMENTO, R. F.; ARRIECHE, L. S.; SARTORI, DJM. Desenvolvimento de um produto de chocolate à base de extratos vegetais. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 718-723, 2014.

NUNES, O. M. O Uso da Casca de Arroz Como Alternativa Energética: Um Estudo De Caso No Município De Dom Pedrito-RS. **Informe Gepec**, v. 21, n. 2, p. 42-62, 2017.

OBERNBERGER, I.; THEK, T. **The pellet handbook : the production and thermal utilisation of pellets**. London, Uk ; Washington, Dc: Earthscan, 2010.

OLIVEIRA, R. J. DE; MOREIRA, R. C. **Recursos Naturais: Energia de Biomassa Florestal**. [s.l.] Editora Científica Digital, 2021.

OLIVEIRA, Z. L.; ULLER, H. F.; KLITZKE, A. R.; ELEOTÉRIO, J. R.; VIBRANS, A. C. Towards the fulfillment of a knowledge gap: Wood densities for species of the subtropical atlantic forest. **Data**, v. 4, n. 3, p. 104, 2019.

OLX. Brique. 2022. Disponível em: < <https://www.olx.com.br/anuncios/brique>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

OLX (Farelo de soja). Resíduo de soja. Disponível em: < <https://www.olx.com.br/anuncios/residuo-de-soja>>. Acesso em: 25 de set. de 2022.

ORSSATTO, F.; HERMES, E.; BOAS, M. A. V. Eficiência de Remoção de Óleos e Graxas de uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 4, p. 249, 2010.

OSHIRO, T. L. **Produção e caracterização de briquetes produzidos com resíduos lignocelulosicos**. 2016. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

PETROBRAS. Preço médio gasolina. Disponível em: <<https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-gasolina#:~:text=Pre%C3%A7o%20M%C3%A9dio%20do%20Brasil%3A%20R,de%207%25%20de%20etanol%20anidro.>> . Acesso em: 17 de nov. de 2022.

PIGOZZO, E. Projeto de alteração do sistema de transporte e alimentação de polímero no formato granular. Monografia (Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PINPATHANAPONG, K.; MANOKHOON, P.; THIAMNGOEN, P.; RAANGSEESURIYACHAI, T. The Utilization of Cashew Shell Residues and Grease Waste for Charcoal Briquette Production. **Engineering Journal of Research and Development**, v. 31, n. 4, p. 77-86, 2020.

PERLINGEIRO, C. A. G. Engenharia de processos: Análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos. São Paulo: Blucher, 198p., 2005.

PONGTHORNPRUEK, Supaporn. A Utilização de Resíduos de Casca de Caju e Resíduos de Graxa para Produção de Briquetes de Carvão Vegetal. **Pesquisa Ambiental Aplicada** , v. 39, n. 1, pág. 33-40, 2017.

QUÉNO, L. R. M. *et al.* Aspectos técnicos da produção de *pellets* de madeira. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1478–1489, 2019.

REIPERT. Moinho de pinos (sistema em inox). Reipert equipamentos de processo. Disponível em: <<https://reipert.com.br/solucoesparatrituraremicronizarposegraos>>. Acesso em: 18 de out. de 2022.

ROCHA, A. J. F. *et al.* Destinação sustentável do resíduo da poda de arvores urbanas. In: XV Safety, Health and Environment World Congress. [S.l.: s.n.], p. 137–141. 2015.

ROCHA, J. D. Produção e caracterização de briquetes de casca de pinhão-manso. In: _____. Pinhão-manso: pesquisas, conhecimentos e práticas. Brasília, DF: Embrapa, p. 340–349. 2019.

ROSAL, M. C. F.; CIRILO, J. A.. Programação não-linear aplicada à otimização de redes pressurizadas de distribuição de água. 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SALEME, J. E. F. Estudo básico para a briquetagem de carvão vegetal. Ouro Preto: Escola de Minas e Metalurgia, 1992. p.,19

SALETNIK, A.; SALETNIK, B.; PUCHALSKI, C. Modificação de Parâmetros Energéticos em Pellets de Madeira com Uso de Resíduos de Óleo de Cozinha. **Energias** , v. 14, n. 20, pág. 6486, 2021.

SAMARASEKARA, S. A. L.; COOREY, R. V. Thermal capacity as a function of moisture content of Sri Lankan wood species: Wheatstone bridge method. In: **Proceedings of the Technical Sessions**. 2011. p. 9-16

SANTOS, M. M. N. Aproveitamento tecnológico da casca do cacau para geração de energia. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2016.

SÃO PAULO. Manual Técnico de Poda de Árvores. São Paulo, 2014.

SILLA, H. **Chemical process engineering: design and economics**. CRC Press, 2003.

SILVA, J. R. S.; SANTOS, M. D.; SILVA, J. K. S.; QUEIROGA, S. L. M.; NETO, J. C. Comparação dos combustíveis diesel S10 e S500 para resolução de problemas em motores do ciclo diesel. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia: CONTECC**. 2017. p. 1-5.

SHRIVASTAV, S.; HUSSAIN, I. Design of bagasse dryer to recover energy of water tube boiler in a sugar factory. **International Journal of Science and Research**, v. 2, n. 8, p. 356-358, 2013.

SILVA, C. A. D. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeiros para fins energéticos**. 2007. 68 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SILVA, M. G., LIRA, T. S.; ARRUDA, E. B. MURATA, V. V.; BARROZO, M. A. D. Modelling of fertilizer drying in a rotary dryer: parametric sensitivity analysis. *Brazilian Journal of Chemical Engineering, SciELO Brasil*, v. 29, n. 2, p. 359–369, 2012.

SILVA, D. P. da. **Avaliação do processo de adensamento de resíduos de poda de árvore visando ao aproveitamento energético: o caso do campus da USP na capital** [tese de doutorado]. Programa de Pós-graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente. Universidade de São Paulo, 2016a.

SILVA, L. A. D. Avaliação catalítica de ferro sobre carvão ativado oriundo da casca de amendoim na degradação do azul de metileno [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal da Bahia, 2016b.

SILVA, F. M. Análise da aplicação da biomassa residual proveniente da agroindústria da soja para produção de materiais renováveis por meio de processo pirolítico [qualificação]. Ribeirão Preto: **Doutorado em Tecnologia Ambiental**, Universidade de Ribeirão Preto, 2018.

SILVA, J. E.; CALIXTO, G. Q.; DE ALMEIDA, C. C.; MELO, D.; MELO, M. A.; FREITAS, J. C.; BRAGA, R. M. Energy potential and thermogravimetric study of pyrolysis kinetics of biomass wastes. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 137, n. 5, p. 1635-1643, 2019.

SILVA, J. E. D. Resíduos culturais de algodão naturalmente colorido para produção de biocombustíveis e aromáticos renováveis. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: Doutorado em Engenharia Química, 2019.

SILVA, F. M.; OLIVEIRA, L. R. A. D.; PEDROZA, M. M.; COLEN, A. G. N.; AMARAL, P. H. B. D.; MARQUES, M. S. Produção de materiais renováveis utilizando biomassa agroindustrial (soja) por meio de reator termoquímico. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 13, n. 3, p. 682-697, 2020.

SILVA, Maria Fernanda Felipe. Avaliação do Potencial Energético de Resíduos Agroindustriais. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 1, 2022.

SCHÜTZ, F. C. A.; ANAMI, M. H.; TRAVESSINI, R., Desenvolvimento e ensaio de briquetes fabricados a partir de resíduos lignocelulósicos da agroindústria. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 03-08, 2010.

SOGILUB. Gestão e processamento de óleos usados. Newsletter entidade gestora, nº 38, 2015.

SOUSA, L. M.; DO CARMO FERREIRA, M. Análise sobre a compactação gravitacional de pós de serragem de pinheiro (*Pinus elliottii*). 69ª Reunião Anual da SBPC. Belo Horizonte, 2017.

SPRINGER IMAGES. Disponível em:
<http://www.springerimages.com/Images/RSS/1-10.1007_s11661-008-9713-0-0>.
Acesso em: 01 de out. de 2022.

STEUDNER, S. H.; WIEBECK, H.; CLEMESHA, M. D. R. Aproveitamento de resíduos da rizicultura (casca do arroz) em compósitos a base de polipropileno. **ICTR/NISAM: livro de resumo**, 2004.

STIHL. Motosserra para madeira MS 881. Disponível em:
<<https://www.directindustry.com/pt/prod/stihl/product-129411-2503566.html>>.
Acesso em: 10 nov. de 2022.

SUWINARTI, W.; AMIRTA, R. Production of high-calorie energy briquettes from bark waste, plastic and oil. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, p. 012034. 2018.

TARGET. Briquetadeira de alta pressão. Disponível em: < <https://targetexpo.com/briquetadeira-de-alta-pressao/>>. Acesso em: 01 de out. de 2022.

TECNAL. Misturador MDHP. Disponível em:<<http://www.tecnal.ind.br/fabrica-de-racao/misturador-mdhp>>. Acesso em: 25 de nov. de 2022.

TUMULURU, J. S.; WRIGHt, C. T.; HESS, R.; KENNEY, K. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr**, hoboken, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011.

UÇAR, S; ÖZKAN, A. R.; KARAGÖZ, S. Co-pyrolysis of waste polyolefins with waste motor oil. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 119, p. 233-241, 2016.

UNIT OPERATIONS IN FOOD PROCESSING. Chapter 11: size reduction. Disponível em: < <https://nzifst.org.nz/resources/unitoperations/sizereduction.htm> >. Acesso em: 01 de out. de 2022.

VIEIRA, N. A. D. **Obtenção de briquetes a partir da casca do arroz e avaliação do seu potencial energético**. 2014. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES, Lajeado.

WANG, C.; WANG, F.; YANG, Q.; LIANG, R. Thermogravimetric studies of the behavior of wheat straw with added coal during combustion. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 1, p. 50-56, 2009.

ZHANG, T.; QIU, L.; WANG, Y.; ZHANG, C.; KANG, K. Comparison of bio-oil and waste cooking oil as binders during the codensification of biomass: analysis of the pellet quality. **BioEnergy Research**, v. 12, n. 3, p. 558-569, 2019.

ZHANG, Y.; GHALY, AE; LI, B. Propriedades físicas de resíduos de arroz em função da variedade e das condições climáticas e de cultivo em três continentes. **American Journal of Applied Sciences** , v. 9, n. 11, pág. 1757-1768, 2012.

ZHOU, L.; YANG, H.; WU, H.; WANG, M., CHENG, D. Catalytic pyrolysis of rice husk by mixing with zinc oxide: characterization of bio-oil and its rheological behavior. **Fuel processing technology**, v. 106, p. 385-391, 2013.