

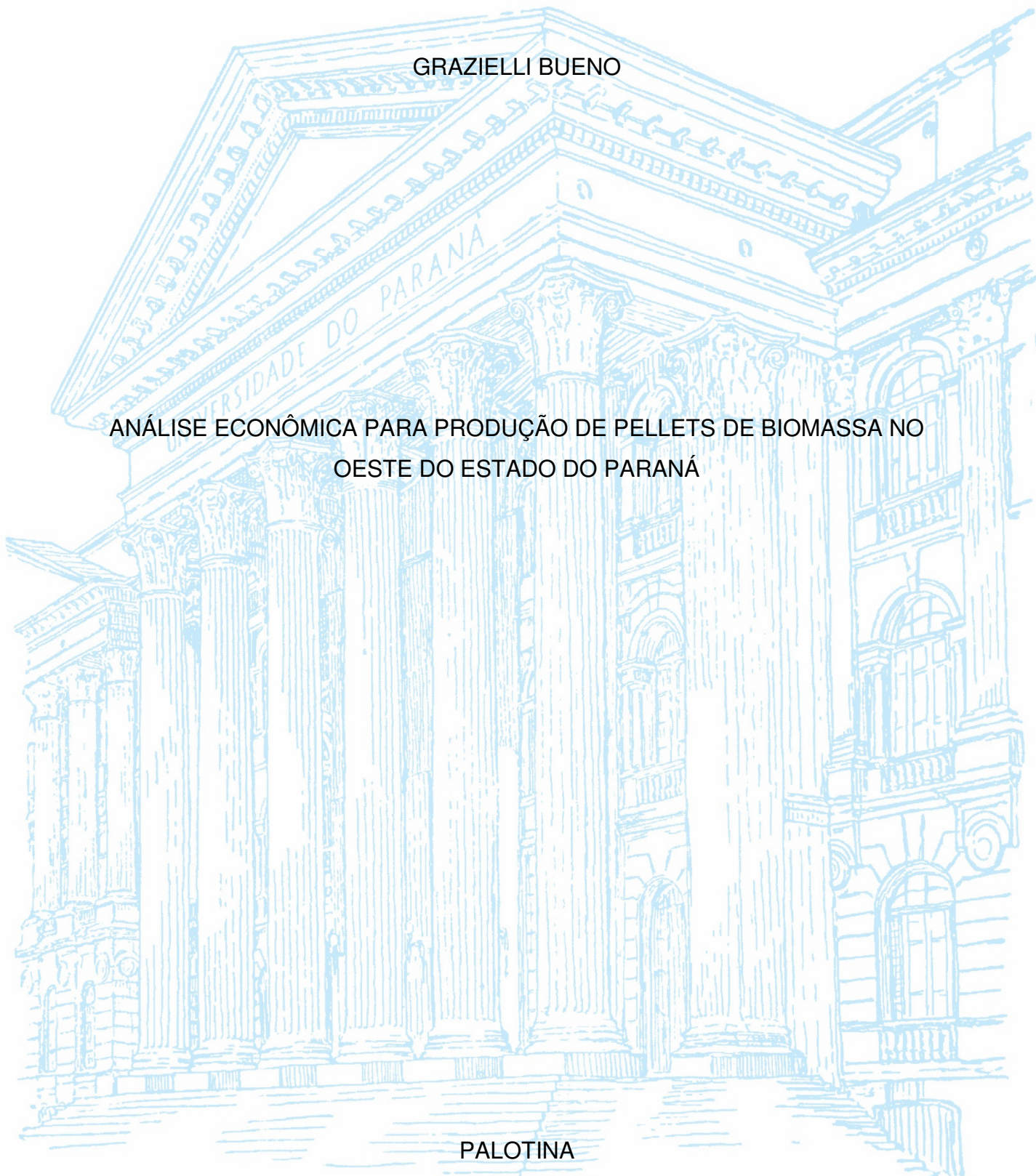
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GRAZIELLI BUENO

ANÁLISE ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DE PELLETS DE BIOMASSA NO
OESTE DO ESTADO DO PARANÁ

PALOTINA

2023



GRAZIELLI BUENO

ANÁLISE ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DE PELLETS DE BIOMASSA NO
OESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito final à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Ferla de Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. Roberto Rochadelli

PALOTINA

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

Aos dezessete dias do mês de fevereiro do ano de 2023, no horário das 09h30min às 10h45min, na sala de aula 18, Bloco Didático IV - UFPR - *Campus Palotina*, compareceram para defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso, requisito obrigatório para a obtenção do título de Engenheiro de Energia a aluna Grazielli Bueno, tendo como Título do Trabalho de Conclusão de Curso "**Análise econômica para produção de pellets de biomassa na região oeste do estado do Paraná**". Constituíram a Banca Examinadora os professores: Prof^ª. Dr^ª. Adriana Ferla de Oliveira (Orientadora e Presidente da Banca), Prof. Dr. Maurício Guy de Andrade e Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken. A orientadora e Presidente da Banca concedeu a palavra a discente, para exposição do seu trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir a discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído ao discente as seguintes notas: **Prof^ª. Dr^ª. Adriana Ferla de Oliveira, nota: 85 (oitenta e cinco)**, **Prof. Dr. Maurício Guy de Andrade, nota: 85 (oitenta e cinco)** e **Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken, nota: 85 (oitenta e cinco)**. A nota final da discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi **85 (oitenta e cinco)** considerando a discente **APROVADA**. As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pelo discente sob acompanhamento de seu orientador. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **JOEL GUSTAVO TELEKEN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/02/2023, às 14:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANA FERLA DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/02/2023, às 14:39, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **MAURICIO GUY DE ANDRADE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/02/2023, às 08:58, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5033802** e o código CRC **AA567863**.

Dedico este trabalho aos amigos que fiz durante a graduação. E em especial, a minha filha Maria Luiza.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus, por guiar os meus passos durante toda esta caminhada.

Aos meus familiares, meu marido Tiago, e a minha amiga Kátia Kobus, que dividiu seus conhecimentos profissionais, me dando força e auxiliando na continuidade deste trabalho.

Aos amigos que fiz durante a graduação, em especial Letícia Pires, Mateus Perin, Luis Henrique, Guilherme, Anna Maria e Natália.

Meus sinceros agradecimentos aos proprietários da HMbio Energias Renováveis, por aceitarem o convite para participar da pesquisa, compartilhar informações de sua empresa, tendo como objetivo comum a parceria entre universidade e indústrias.

A todos os professores com quem tive o prazer de adquirir conhecimento.

Em especial, aos meus queridos orientadores Adriana Ferla de Oliveira e Roberto Rochadelli, pela paciência e incentivo durante a orientação, que ocorreu e foi desenvolvida em um curto espaço de tempo. Posso dizer que foi um grande prazer e oportunidade poder adquirir conhecimento com esses dois seres humanos esplendidos.

Agradeço aos membros da banca pela contribuição dada para a melhora do trabalho.

A diferença entre o possível e o impossível está na vontade humana.

(PASTEUR, L.)

RESUMO

A biomassa como fonte energética pode ser utilizada na forma de pellets. O Brasil, por sua vez, ainda não tem um mercado expressivo na produção e no consumo de pellets, ainda que existam empresas que já vem fabricando esse produto para venda ou consumo próprio. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar os custos de produção dos pellets de biomassa de uma empresa localizada no Oeste do Paraná, bem como sua viabilidade econômica. Para tanto, considerou-se os custos fixos e variáveis, que foram levantados por meio de questionário, respondido pelo proprietário, e visita as instalações da fábrica, além de premissas previamente adotadas. Os resultados alcançados, para o mercado regional, tendo um custo de produção estimado de 759,48 reais por tonelada. O custo da matéria-prima representa 46,08% desse custo. Na análise econômica a produção de pellets se mostrou viável, com TIR de 22,36%, e apresentando um *payback* descontado de cerca de 8 anos, o que comprova a viabilidade da implantação da empresa ao considerar as condições descritas neste trabalho. Nesse sentido, ao avaliar o biocombustível sólido para ser comercializado por massa e não por energia, nota-se que a implantação da fábrica se apresentou favorável, embora não se encontra com facilidade a matéria-prima para produção dos pellets na região.

Palavras-chave: Biocombustível sólido. Bioenergia. Custo de produção.

ABSTRACT

Biomass as an energy source can be used in the form of pellets. Brazil, in turn, still does not have a significant commerce for the production and consumption of pellets, although there are companies that are already manufacturing this product for sale or for their own consumption. Thus, the present study aims to analyze the production costs of biomass pellets of a company located in the West of Paraná, as well as its economic viability. To this end, fixed and variable costs were considered, which were raised through follow-up, answered by the owner, and visit to the factory facilities, in addition to the assumptions previously adopted. The results achieved, for the regional market, having an estimated production cost of R\$ 759.48 per ton. The cost of raw materials represents 46.08% of this cost. In the economic analysis, the production of pellets proved to be viable, with an IRR of 22.36%, and presenting a discounted payback of about 8 years, which compared the viability of the company's implementation when considering the conditions described in this work. In this sense, when evaluating the solid biofuel to be sold by mass and not by energy, it is noted that the implementation of the factory was favorable, although the raw material for the production of pellets is not easily found in the region.

Keywords: Solid biofuel. Bioenergy. Production cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo e produção de pellets de madeira no mundo no ano de 2020	24
Figura 2: Principais etapas para obter o custo da produção e preço de venda dos pellets de madeira	36
Figura 3: Localização empresa estudada.....	37
Figura 4: Matéria-prima destinada para queima na fornalha	48
Figura 5: Resíduo de madeira não utilizado	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação da capacidade de produção e produção efetiva (biopellets e pellets)	19
Tabela 2 – Características químicas e físicas dos pellets de madeira.....	26
Tabela 3 – Normas nos principais países consumidores e exportadores de pellets.....	28
Tabela 4 – Premissas para a logística do recolhimento da matéria-prima.....	40
Tabela 5 – Premissas para a logística das entregas dos pellets de madeira ao consumidor.....	40
Tabela 6 – Vida útil dos bens fixos	41
Tabela 7 – Premissas adotadas para análise econômica.....	44
Tabela 8 – Matéria-prima utilizada para produção de pellets de madeira.....	46
Tabela 9 – Insumos variáveis coletados na fábrica estudada.....	46
Tabela 10 – Insumos fixos	47
Tabela 11 – Custo unitário do capital.....	49
Tabela 12 – Distribuição do custo total de produção por posto	50
Tabela 13 – Custo anual com transporte para recolhimento de matéria-prima	51
Tabela 14 – Custo anual com transporte para entrega do produto final ao consumidor.....	52
Tabela 15 – Cálculo da depreciação dos bens fixos.....	53
Tabela 16 – Depreciação da produção de pellets de madeira e valor residual do investimento	53
Tabela 17 – Fluxo de caixa para atender o mercado regional	54

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

- ABIB - Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa Pellets e Briquetes
- CAGR - *Compound Annual Growth Rate* (em português, “Taxa de crescimento anual composta”)
- CAPEX - *Capital Expenditure* (em português, “Despesas de Capital ou Investimentos em Bens de Capitais”)
- Cd - Cádmiio
- CIF - *Cost, Insurance and Freight* (em português, “Custo, Seguros e Frete”)
- CO₂ - Dióxido de carbono ou gás carbônico
- CT - Custo total
- CTI - *Comitato Termotecnico Italiano* (Comissão Termotécnica Italiana)
- DIN - *Deutsches Institut für Normung* (em português, “Instituto Alemão para Normatização”)
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética
- EUA - Estados Unidos da América (do inglês, “*United States of America*”)
- FAO - *Food and Agriculture Organization*
- FAOSTAT - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- FC - Fluxo de Caixa
- FOB – *Free on board* (tradução literal “livre a bordo”)
- IBC - Índice Benefício-Custo
- IEA - *International Energy Agency*
- IGP-M - Índice Geral de Preços de Mercado
- IL - Índice de Lucratividade
- IRENA - *International Renewable Energy Agency*
- ISO - *International Organization for Standardization* (em português, “Organização Internacional para Padronização”)
- MTIR - Taxa Interna de Retorno Modificada
- OMS - Organização Mundial de Saúde
- OPEX - Tem como origem o termo *operational expenditure*
- Pb - Chumbo
- PCS - Poder Calorífico Superior

PFE - Produtos florestais para energia

PFI - *Pellet Fuel Institute*

SS - *Swedish Standards* (Padrões Suecos)

TMA - Taxa mínima de atratividade

TIR - Taxa Interna de Retorno (em inglês, "*Internal rate of return*")

VLP - Valor Presente Líquido (em inglês, "*Net present value*")

VP - Valor Presente

WBA - *World Bioenergy Association*

WEO - *World Energy Outlook 2022*

Zn - Zinco (Zn)

LISTA DE SÍMBOLOS

% - porcentagem
°C – graus Celsius
≥ - maior igual
a.a. - ao ano
alq. - alqueire
h – hora
h/ano – horas por ano
h/dia – horas por dia
kg/m³ – quilograma por metro cúbico
MJ/kg – mega Joules por quilograma
kg - quilograma
km - quilômetro
km² - quilômetro quadrado
m² - metro quadrado
m³ - metro cúbico
(m/m) - porcentagem em massa
mm – milímetros
R\$ - reais
R\$/ha – reais por hectare
t – tonelada
t/ano – tonelada por ano
TWh – Tera Watts hora

Subscritos

c - Capital
eq – Equipamento
j - Enésimo período no tempo
op - Operacional
R - Recolhimento
ent - entrega

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	18
1.2 OBJETIVO.....	20
1.2.1 Objetivos específicos.....	20
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 BIOMASSA.....	21
2.1.1 Biomassa para geração de energia.....	22
2.1.2 Oferta e demanda de biomassa para geração de energia	23
2.2 PELLETS.....	25
2.2.1 Fatores que influenciam a produção dos pellets	30
2.2.2 Custos de produção dos pellets de madeira	31
2.3 ANÁLISE ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DE PELLETS	32
2.3.1 Transporte de pellets.....	32
2.3.2 Custos industriais e administrativos	33
2.3.3 Análise de investimento.....	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE ESTUDO	37
3.2 ANÁLISE DE DADOS.....	37
3.2.1 Custo com transporte (frete e impostos)	39
3.2.2 Custo da produção de pellets.....	41
3.2.3 Métodos de análise de investimentos	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 COLETA DE DADOS	45
4.2 MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE PELLETS.....	47
4.3 ANÁLISE DO CUSTO DA PRODUÇÃO.....	49
4.4 ANÁLISE ECONÔMICA	52
4.4.1 Indicadores da viabilidade financeira	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	57

1 INTRODUÇÃO

A energia é um dos elementos fundamentais para o desenvolvimento da sociedade, cuja matriz energética mundial é baseada no consumo predominante de combustível fóssil.

No mundo, em 2019, os combustíveis de origem fóssil representaram uma importante parcela da matriz energética primária, ressaltando o petróleo e seus derivados com 31,1%, o carvão com 27% e o gás natural com 23% (IEA, 2021). Todavia, ao contrário da tendência mundial, o Brasil faz uso da energia renovável, evidenciando que, no ano de 2021, 48,4% da produção provém de fontes como a hidráulica, a biomassa, a eólica, a solar, entre outras (EPE, 2021).

O relatório o *World Energy Outlook 2022* (WEO) relata que, no ano de 2022, o mundo vem passando pela primeira crise global de energia – desencadeada pela invasão russa na Ucrânia. Devido à crise energética, as indústrias estão expostas aos preços globais e enfrentam ameaças reais de racionamento, dessa forma reduzindo sua produção. Conseqüentemente, os consumidores são afetados e devem ajustar seus padrões de uso de energia em resposta aos altos preços e, em alguns países, adotar as campanhas emergenciais de redução da demanda (IEA, 2022).

Como fonte renovável, a biomassa se torna uma alternativa a ser estudada. Couto *et al.* (2012) afirmam que o uso da biomassa florestal se mostra viável, tanto nos quesitos econômicos, como nos aspectos ecológicos e sociais. Ademais, Brand *et al.* (2014) descreve que o ganho social se dá pelo surgimento de empresas no setor de bioenergia, que fazem o aproveitamento de resíduos florestais, assim gerando empregos. O direcionamento dos resíduos florestais para fabricação de pellets, briquetes, entre outros propicia um ganho ambiental, desde a melhoria da qualidade do ar em sítios industriais, aumento da área de pátio e/ou armazéns, por não ter o acúmulo de sólidos no pátio da indústria, além de apresentar como vantagem a relação com a comercialização dos créditos de carbono e a geração de energia a partir de resíduos, sendo ambos geradores de receita.

A *World Bioenergy Association* (WBA, 2022) estima que a produção global de pellets de madeira foi de 44,3 milhões de toneladas de pellets no ano

de 2021, no qual destaca a Europa por representar a maior parte da produção, com uma participação de 56%, seguida pelas Américas com 30%. Ademais, a *Mordor Intelligence* (2023) relata que o mercado global de pellets de madeira deverá atingir US\$ 16,75 bilhões até 2027, com um *Compound Annual Growth Rate* (CAGR¹) de 7,28% durante 2022-2027.

O Brasil, por sua vez, se destaca devido ao potencial para produção de mais de 298 milhões de toneladas/ano de resíduos lignocelulósicos provenientes do processamento de cana-de-açúcar, milho, soja e trigo; e 6 milhões de toneladas de resíduos gerados pela colheita de eucalipto e *pinus* (BONASSA *et al.*, 2018). Além disso, a Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa Pellets e Briquetes (ABIB) relata que:

A geração de resíduo de madeira processada mecanicamente para o Brasil foi equivalente a 50.778.566,33 m³, valor correspondente a 45% de perda no processamento das toras. A região com maior geração de resíduo foi Sul com 21.188.983,25 m³ (41,7%), Sudeste (32%) e do Norte (15,3%) (ABIB, 2019, p. 47).

De acordo com Brainer (2022), no ano de 2021, países como Brasil, Estados Unidos, China, Índia, Indonésia, Federação Russa e zona do euro, que são produtores de pellets de madeira, melhoraram seu desempenho devido ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). Entretanto, quanto ao consumo de pellets, o mercado brasileiro ainda é inexpressivo, apesar de apresentar condições de crescimento, por ter excelentes condições de clima e solo, além de grande extensão territorial (PEREIRA, 2019).

Nesse contexto, estudos quanto ao uso de fontes renováveis para serem empregadas nos variados setores econômicos se torna essencial. Para a implementação de novas fontes de geração de energia, Pereira (2019) aponta que devem ser levados em consideração os aspectos vinculados à preservação do meio ambiente, à disponibilidade e qualidade da matéria-prima, bem como aos meios de produção, armazenamento, formas de utilização, mercado e tecnologias existentes.

¹ CAGR é a taxa de crescimento anual composto, isto é, a taxa de retorno necessária para um investimento crescer de seu saldo inicial para o seu saldo final. Entretanto, o CAGR não consegue dimensionar o retorno real de um determinado investimento (DARONCO, 2023).

Ademais, pesquisas como a de Sartori (2022), que analisa a indústria brasileira de pellets com intuito de comercializar os produtos nos mercados interno e externo, torna-se fundamental. O estudo se deu em uma empresa localizada no sul do Brasil, e se mostrou favorável quanto à produção de pellets de madeira sólida de reflorestamento, assim criando uma oportunidade de diversificação da matriz energética brasileira e/ou exportação dos produtos para outros países.

Diante desse cenário, o estudo propõe analisar a viabilidade econômica da produção dos pellets de madeira fabricados por uma empresa localizada no Oeste do Paraná, que tem como finalidade a geração de energia.

1.1 JUSTIFICATIVA

Desde março de 2020, o mundo vem passando por adversidades, como a relatada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), que declarou a pandemia Covid-19, afetando o preço do barril de petróleo, com queda do preço abaixo de US\$40 (INVESTING, 2022), o que impactou o setor energético mundial. Isso ocorreu devido à redução do consumo de combustíveis (gás natural, carvão, entre outros) nas indústrias e transportes que, por sua vez, pararam ou reduziram as horas diárias trabalhadas.

Além disso, o mercado mundial testemunhou uma demanda reduzida e escassez de matérias-primas, devido à pandemia do Coronavírus. À vista disso, em especial a região europeia, começa a impulsionar o mercado para aumentar a geração de energia limpa, assim elevando o consumo de demanda por pellets de madeira (MORDOR INTELLIGENCE, 2023).

Ademais, em 2022, de acordo com a EIA (2022), o conflito entre Rússia e Ucrânia mostra que há uma variação das respostas políticas quanto ao fornecimento e consumo de energia. Em alguns casos, tendem a incluir esforços para acelerar o investimento em energia limpa, com isso impulsionando a implantação das energias renováveis no setor de energia em processos industriais, veículos e aquecimento. Dessa maneira, muitas das soluções para a crise atual coincidem com as necessárias para atingir as metas climáticas globais.

Por sua vez, mesmo com a crise energética mundial, no ano de 2021, o Brasil avançou 3,5% no consumo final de energia (energético e não energético), com destaque para o setor industrial, no qual houve

O crescimento de 11,8% do uso de carvão mineral em relação a 2020 devido ao aumento na produção de aço por redução a coque de carvão mineral. Houve um avanço de 6,2% do uso da lixívia em função do aumento de 6,7% da produção de celulose. Adicionalmente, o gás natural, utilizado em diversos segmentos industriais, teve um consumo superior ao de 2020 em 20,8% (EPE, 2022).

Nesse contexto, estudos quanto ao uso de fontes renováveis para serem empregadas nos variados setores econômicos se torna essencial. Para a implementação de novas fontes de geração de energia, Pereira (2019) aponta que devem ser levados em consideração os aspectos vinculados à preservação do meio ambiente, à disponibilidade e qualidade da matéria-prima, bem como aos meios de produção, armazenamento, formas de utilização, mercado e tecnologias existentes.

O Brasil se destaca por ter fontes diversificadas, advindas da biomassa residual (proveniente do bagaço de cana-de-açúcar, resíduos florestais, resíduos sólidos urbanos, entre outros) (PACHECO, 2022). Todavia, ao analisar os dados de produção efetiva com a capacidade de produção de pellets, nota-se um percentual elevado de matéria-prima não utilizada, principalmente de madeira (Tabela 1).

Tabela 1 – Comparação da capacidade de produção e produção efetiva (biopellets e pellets)

Ano	Biopellets (cana-de-açúcar)		Pellets (madeira)	
	Capacidade de Produção (10 ³ t)	Produção efetiva (10 ³ t)	Capacidade de Produção (10 ³ t)	Produção efetiva (10 ³ t)
2015	150,75	122,00	170,75	105,00
2016	150,75	135,35	289,25	185,35
2017	150,80	140,00	696,80	470,00
2018	150,00	130,00	880,30	504,00

FONTE: Adaptado ABIB (2019)

Ademais, Orellana (2019) indica que existem poucos fabricantes brasileiros de pellets e briquetes, sendo a maioria instalada na região Sul e Sudeste. No entanto, observa-se que a quantidade de empresas produtoras de pellets é relativamente baixa, sendo apenas oito no estado do Paraná (GARCIA

et al., 2018), mesmo tendo a maior geração de resíduo de madeira processada mecanicamente.

1.2 OBJETIVO

Analisar a viabilidade econômica da produção de pellets de madeira fabricados em uma empresa instalada no Oeste do Paraná.

1.2.1 Objetivos específicos

- Determinar quais são os custos fixos e variáveis existentes na empresa;
- Avaliar o custo quanto à produção dos pellets;
- Avaliar o preço de venda dos pellets;
- Elaborar a análise econômica da fábrica.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Com fins organizacionais, este trabalho, além da Introdução, está dividido em:

Capítulo 2, apresentando a Revisão de Literatura, que aborda de forma sucinta sobre a biomassa para geração de energia, bem como sua oferta e demanda, tendo os pellets como ênfase da pesquisa. Seguidamente, apresenta os parâmetros utilizados para se fazer uma análise econômica e os custos relacionados à geração de energia utilizando pellets.

No Capítulo 3, encontra-se a Metodologia para o desenvolvimento do trabalho, que compreende as premissas adotadas. Além disso, os dados econômicos que se faz necessário para apresentar-se a viabilidade econômica quanto ao transporte (fretes) e a produção dos pellets.

O Capítulo 4 relata os principais resultados quanto aos custos para produção de pellets de madeira. Em seguida, apresenta uma análise econômica.

No Capítulo 5 estão as conclusões obtidas por meio do desenvolvimento dessa pesquisa, além de sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo é dedicado a descrever de forma sucinta os conceitos e aplicações da biomassa para a geração de energia, evidenciando os pellets. Bem como, informações quanto a viabilidade econômica para a produção de pellets.

2.1 BIOMASSA

Biomassa é todo material orgânico, não fóssil, que tenha conteúdo de energia química no seu interior, o que inclui todas as vegetações aquáticas ou terrestres, árvores, biomassa virgem, lixo orgânico, resíduos de agricultura, esterco de animais e outros tipos de restos industriais (VIDAL; HORA, 2011). Normalmente, se caracteriza a biomassa de acordo com sua origem, podendo ser florestal/lenhosa, agrícola/não lenhosa ou derivada de resíduos industriais e urbanos (EMBRAPA, 2021).

Dentre as biomassas, a de origem florestal é uma fonte de energia limpa e renovável, sendo composta por matéria orgânica vegetal originária de florestas, constituída por madeira e por resíduos florestais (AGROICONE, 2015), no qual a biomassa florestal compreende madeira, carvão vegetal, folhas, galhos, raízes, frutos, extratos, resíduos sólidos das indústrias de base florestal e licor negro das indústrias de papel e celulose (PENA-VERGANA *et al.*, 2022).

Quanto às espécies de árvores existentes, Medeiros *et al.* (2020) descrevem que, por ter características semelhantes (crescimento rápido, alta produtividade e por se adaptar a uma diversidade de ambientes), as florestas de *pinus* e eucaliptos são as mais plantadas no mundo.

Por representarem uma das principais fontes de energia nas cadeias produtivas industriais, as florestas com plantações de *pinus* e eucaliptos se destacam no Brasil (PENA-VERGANA *et al.*, 2022), sendo que parcelas consideráveis dessas plantações comerciais estão localizadas em regiões sujeitas a períodos de seca mais longos ou mais curtos, e geralmente locais em que os solos são de baixa fertilidade e com pequenas reservas nutricionais disponíveis para as plantas (OLIVEIRA, 2015).

Ademais, Santos *et al.* (2019) apontam que a bioenergia proveniente da biomassa, por ser considerada um combustível sustentável, tende a oferecer redução significativa nas emissões de carbono quando comparado aos combustíveis fósseis.

Todavia, o desperdício de resíduo de madeira é notável no Brasil, podendo ser observado pelos grandes volumes gerados na construção civil, indústrias e supressão vegetal (SANTOS *et al.*, 2019). Como exemplo, tem-se estudos como o de Oliveira *et al.* (2017) apresentando que de um montante total de madeira em massa (toras) que entra em processos de manufatura em serrarias, há um aproveitamento de apenas 41,8% do volume de madeira que entrou no processo (madeira comercial), no qual 58,2% equivalem a resíduos. Ainda, Silva *et al.* (2020) descrevem que o desperdício de madeira pode ser de até 70%, em alguns processos de manufatura madeireira, sendo comum em serrarias (quantitativo pode ser residual em serragem, maravalha e costaneiras).

2.1.1 Biomassa para geração de energia

Mundialmente, entre os anos de 2000 a 2019, a bioenergia gerada na forma de eletricidade por meio do uso da biomassa, em especial a sólida se destacou por ter um aumento em torno de 85% (13,2 TWh para 88,8 TWh) (WBA, 2021).

A *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2022) descrevem que a produção mundial de madeira em tora (3,91 bilhões de m³ em 2020) aumentou em 12% nas últimas duas décadas. A demanda por biomassa de base florestal poderá triplicar até o ano de 2030, impulsionada principalmente por construção e produção de embalagens. Além disso, de acordo com Basso (2017), o combustível de madeira vem se tornando uma opção cada vez mais utilizada para a geração de energia e para o aquecimento doméstico nos países em desenvolvimento.

De acordo com Santos (2022) o consumo de biomassa, no mundo, em grande parte ocorre diretamente nas indústrias que produzem os resíduos, visto que são reaproveitados para a geração de calor e/ou energia elétrica.

No Brasil, a madeira plantada foi responsável por 7,8% da energia primária consumida no ano de 2016, principalmente na forma de carvão vegetal para siderurgia. Atualmente, a área de floresta plantada brasileira ocupa o 9º lugar mundial, abrangendo apenas 0,9% do território nacional, apresentando alto potencial de expansão considerando a disponibilidade de terras adequadas para a agricultura (PENA-VERGANA *et al.*, 2022).

As regiões Sudeste e Sul do Brasil tem as maiores áreas plantadas de florestas, com cerca de sete milhões de hectares, sendo 3.143.897,97 hectares no Sul. Destaca-se o Paraná, por ser o pioneiro em plantio de florestas em larga escala, com 1,17 milhão de hectares plantados com árvores para fins comerciais, e ter a maior área planta no Brasil da espécie do gênero pinus, são 713.769,48 hectares (APRE, 2022).

Além disso, Pena-Vergana *et al.*, (2022) relatam que o uso de resíduos florestais pode agregar da ordem de 20 a 30% da energia gerada no Brasil, se o manejo adequado for implementado para não reduzir a produtividade de madeira, visto que se tem a colheita repetida desses resíduos.

Ainda, a Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Florestas Plantadas (2017) brasileira apresenta alguns benefícios existentes quanto à geração de energia através da biomassa de madeira, destacando: 1. O aspecto da sustentabilidade com o uso de florestas renováveis e sequestro de CO₂, assim reduzindo o impacto em florestas nativas; 2. Geração de postos de trabalhos para a cadeia produtiva da madeira, que promove o desenvolvimento das comunidades; 3. Dispersão geográfica, visto que o plantio das florestas renováveis pode ser próximo a torres de transmissão e localidades com pouca demanda de energia; 4. Garantia do fornecimento de energia sem intermitências, com redução da utilização de térmicas movidas a combustíveis fósseis em horários de ponta, não dependendo das oscilações climáticas e ter produção sazonal e dedicada.

2.1.2 Oferta e demanda de biomassa para geração de energia

No mundo, em 2018, cerca de 55% da biomassa de madeira consumida foram a lenha ou o carvão vegetal, usados para cozimento ou aquecimento de

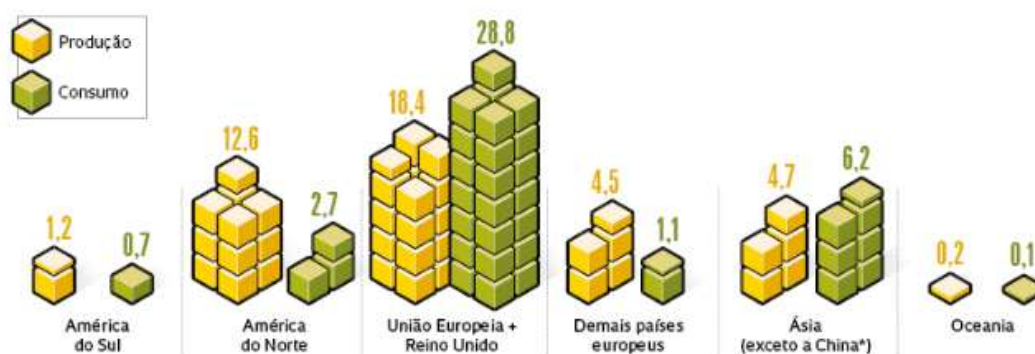
residências, principalmente nos países em desenvolvimento, cuja queima da biomassa ocorre de forma ineficiente, sem aproveitar integralmente o calor gerado. Quanto à matriz energética da Europa, observou-se que houve aumento no consumo da biomassa sólida que, geralmente, é composta por madeira - pellets, cavaco, briquete, entre outros, destacando os pellets, por ser o maior mercado consumidor e importador do mundo (QUÉNO *et al.*, 2019).

Diniz (2022) apresenta um estudo que evidencia os 10 maiores países em produção, importação, exportação e consumo aparente dos produtos florestais para energia (PFE), sendo esses a China, Índia, Brasil, Estados Unidos, Etiópia, Congo, Nigéria, Gana, Uganda e Indonésia, que somaram em 2020 uma produção de 1,3 bilhões de m³, uma representatividade de cerca de 52% no mercado global. Contudo, ao observar o ano de 2020, verifica-se que quanto à exportação de PFE o Brasil não está no *ranking*, isso devido à produção (175,32 milhões de m³) ser praticamente igual ao consumo aparente (173,44 milhões de m³).

Todavia, a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAOSTAT, 2022) relata que a exportação brasileira de pellets teve um aumento de aproximadamente 90% no ano de 2021, quando comparado ao anterior.

Ao se tratar especificamente do mercado de pellets de madeira, mundialmente nota-se que no ano de 2020, o Continente europeu teve destaque, tanto na produção quanto no consumo (Figura 1).

Figura 1: Consumo e produção de pellets de madeira no mundo no ano de 2020



Fonte: TUNES (2022)

Ademais, quanto à produção de PFE por categorias em 2020, no mercado mundial ressaltam-se os seguintes países: Índia (302,24 milhões de m³

de lenha), Brasil (18,21 milhões de m³ de carvão vegetal), China (44,38 milhões de m³ de cavaco e 104 milhões de m³ de resíduos de madeira) e Estados Unidos da América (EUA, 11,60 milhões de m³ de pellets) (DINIZ, 2022). Conquanto, no ano de 2020, em decorrência da pandemia, houve uma redução no consumo mundial de praticamente todos os produtos florestais, com exceção dos papéis, pellets e outros aglomerados (BRAINER, 2022).

A variação positiva de cerca de 0,5% no consumo de pellets em 2020 pode ser justificada devido a uma mudança mundial no comportamento dos consumidores (adotaram a medida preventiva “fique em casa”, em função do Covid-19), que fizeram uso dos pellets como energia térmica e/ou elétrica para aquecimento residencial, em usinas e indústrias (com destaque para as produtoras de alimentos) (BRAINER, 2022).

2.2 PELLETS

No que diz respeito aos combustíveis sólidos, em especial aos que têm potencial para substituir os combustíveis fósseis, surgiram diversas opções, tais como pellets de biomassa, que são produtos obtidos a partir da secagem, moagem e posterior adensamento de partículas de biomassa em agregados cilíndricos de diâmetro e comprimento variável (NUNES; MATIAS, 2020).

Os resíduos de madeira podem ser transformados em pellets, que são pequenos grânulos comprimidos cilíndricamente, com umidade geralmente abaixo de 8%, permitindo dessa forma maior densidade energética e poder calorífico (CARASCHI; GARCIA, 2011). Normalmente, os pellets têm diâmetro entre 6 e 16 mm e comprimento de 25 a 30 mm (DIAS *et al.*, 2012), densidade 650 a 700 kg/m³, Poder Calorífico Superior (PCS) na faixa de 17,64 MJ/kg (EMBRAPA, 2012).

Para que possa ser classificado como uma biomassa renovável e sustentável, não deve conter elementos considerados tóxicos em sua composição. Sua produção geralmente pode ser feita a partir de madeira limpa, limpeza de florestas ou resíduos de madeiras, contribuindo para a diminuição de resíduos gerados na indústria (CARASCHI; GARCIA, 2011).

No estudo de Santos (2022) são apresentadas as características da composição química e as propriedades físicas para a qualidade de produção dos pellets de madeira (Tabela 2).

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos pellets de madeira

Característica química		Característica físicas	
	Faixa média comercial		Faixa média comercial
Poder calorífico inferior (MJ/kg)	16 a 23 (DB ²)	Densidade a granel (kg/m ³)	560 a 690 (ARB)
Teor de voláteis (m/m)	75 a 85 (DB)		
Umidade (m/m)	5 a 10 (ARB ³)	Durabilidade mecânica (%)	80 a 100 (ARB)
Teor de carbono fixo (m/m)	14 a 25 (DB)		
Teor de cinzas (m/m)	0 a 5 (DB)	Quantidade de finos (%)	0,5 a 1,7 (ARB)
Teor de enxofre (m/m)	0 a 0,3 (DB)		
Teor de cloro (m/m)	0 a 0,15 (DB)		
Teor de nitrogênio (m/m)	0 a 1,27 (DB)		

FONTE: Adaptado SANTOS (2022)

Caso tenha algum metal pesado, como Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Cádmio (Cd), suas quantidades devem ser observadas nas emissões após a combustão e devem ser regulados, visto que se trata de elementos tóxicos para os seres humanos e meio ambiente, conforme descrito no estudo de Garcia (2010).

Além disso, Tunes (2022) relata uma das vantagens quanto a utilização dos pellets de madeira, que 3,5 m³ (menor teor de umidade, proporcionando maior densidade energética) podem substituir 7 m³ de madeira bruta, e eficiência energética de 3,5 m³ de pellets é a mesma que a de 1 m³ de óleo combustível, propiciando assim ganhos financeiros e ambientais.

Para a produção de pellets, parâmetros relacionados às matérias-primas como a umidade, composição química (lignina e extrativos), tamanho da partícula, a densidade e o teor de cinzas devem ser levados em consideração. A umidade, de acordo com Souza (2012),

² DB - Medição não inclui a quantidade total de água, do inglês *dry basis* (SANTOS, 2022).

³ ARB - Medição inclui a quantidade total de água, do inglês *received basis* (SANTOS, 2022).

Pode ser considerada uma das características mais relevantes ao se utilizar materiais lignocelulósicos para a geração de energia, tanto em processos termoquímicos, como a combustão e a pirólise, quanto em processos físicos, como a densificação para produção de pellets e briquetes, e biológicos, como a fermentação.

A presença adicional de agentes que tenham como função ligante (amido de milho, farelo de canola, matéria vegetal com capacidade de aglomeração, entre outros), somente se faz necessária quando a lignina da estrutura da madeira encontra-se abaixo do necessário para ser efetuado o adensamento dos pellets (SANTOS, 2022).

Ademais, as etapas pelas quais as matérias-primas passam desde a colheita dos insumos até o armazenamento são de suma importância, dado que durante o processo se faz necessário fazer uma avaliação da matéria-prima, para que possa ser compactada (DIAS *et al.*, 2012). De acordo com Serrano (2009), durante o processo produtivo dos pellets, 12% da biomassa são utilizadas como combustível para a secagem, 3% são perdidos no processo de fabricação, e apenas 85% da matéria-prima é efetivamente transformada em pellets, como exemplo para a produção de 1 tonelada de pellets são necessárias 1,15 toneladas de biomassa.

Entretanto, apesar do Brasil produzir pellets e briquetes, não há normas específicas consolidadas quanto à análise de suas propriedades. Dessa maneira, se torna comum a adaptação da normativa brasileira, como a NBR 6922, que trata de ensaios físicos, determinação de massa específica e densidade a granel para o carvão vegetal. Todavia, ao analisar as barreiras técnicas para exportação, os métodos utilizados não podem ser aceitos no mercado externo (RANGEL *et al.*, 2018).

Ainda, no estudo de RANGEL *et al.* (2018) são apresentadas as normativas europeias e dos EUA (Tabela 3), como a DIN EN ISO 17225 – 2 (para pellets), que foram criadas com o propósito de minimizar as barreiras encontradas no mercado internacional, com isso podendo garantir a uniformidade do produto final.

Tabela 3 – Normas nos principais países consumidores e exportadores de pellets

	Norma	
Alemanha	DINPlus	Estabelece os padrões para pellets de alta qualidade
	A ÖNORM M 7135	Determina os padrões de qualidade na produção de pellets e briquetes
Áustria	ÖNORM M 7.136	Estabelece o controle de qualidade dos processos logísticos
	ÖNORM M 7.137	Determina os critérios de qualidade para os locais de armazenamento dos pellets
Suécia	SS 187120	Estabelece padrões de qualidade para pellets e briquetes
	CTI-R04/05	Determina os parâmetros de qualidade dos pellets
Itália	CTI-R04/05	Estabelece parâmetros quanto ao poder calorífico, densidade aparente, teor de cinzas, diâmetro, teor de umidade, proibição de aditivos, dentre outros.
França	-	Não possui uma norma oficial para pellets e briquetes de madeira
Padronização Europeia	Certificação DIN Plus e/ou ENplus®	Para combustíveis sólidos: ISO 16948: Determinação do teor total de carbono, hidrogênio e nitrogênio do conteúdo; ISO 16968: Determinação de elementos menores; ISO 16994: Determinação do teor total de enxofre e cloro; ISO 17828: Determinação da densidade aparente; ISO 17829: Determinação do comprimento e diâmetro das pastilhas; ISO 17831-1: Determinação da durabilidade mecânica; ISO 18122: Determinação do conteúdo de cinzas; ISO 18125: Determinação do poder calorífico; ISO 18134: Determinação do teor de umidade; ISO 18846: Determinação de finos em quantidade de grânulos; CEN/TC 15370-1: Determinação do comportamento de fusão das cinzas.
EUA	<i>Pellet Fuel Institute (PFI)</i>	Padrões e diretrizes para combustíveis de biomassa

FONTE: Adaptado Rangel (2018)

O manual de certificação *ENplus*, publicado em agosto de 2015, descreve cada classe de qualidade dos pellets, tendo um logotipo de qualidade único que deve ser sempre usado em combinação com o Selo de Certificação, e devem aparecer nos pellets ensacados. Ademais, as classes apresentam os valores de limite dos parâmetros mais importantes dos pellets (diâmetro, comprimento, umidade, cinzas, entre outros) e os tipos de madeira permitidos na produção de pellets (ORELLANA, 2019).

Quanto ao armazenamento, os pellets diferem das matérias-primas brutas, como a serragem e o cavaco de madeira, devido à diferença significativa do baixo teor de umidade, ventilação adequada e limpeza periódica que, de acordo com Lethikangas (2001), limita o aparecimento de micro-organismos e bolores. Ainda, Carvalho (2011) mostra que, ao armazenar os pellets, há uma elevada confiabilidade, por se tratar de um biocombustível por menor volatilidade, quando comparado aos gases e óleos, proporcionando que se reduza as chances de se ter vazamentos ou explosões.

Por sua vez, quando as temperaturas são superiores a 30 °C na Europa, os portos não podem estocar os pellets de madeira, visto que, devido ao seu baixo teor de umidade, são um material inflamável, havendo assim o risco de incêndios. Isso acarreta um aumento nos custos de frete (VIDAL; HORA, 2011).

Santos (2022), relata que os pellets de madeira podem ser estocados em silos apropriados e, comercializados a granel ou em embalagens de 5, 10, 20 e 50 kg. Para armazenar uma tonelada do produto requer cerca de uma área de 1,8 m³, sendo uma alternativa com pouca área de armazenamento.

Além disso, Quéno *et al.* (2019) relatam que a combinação entre a facilidade no transporte e alta resistência facilita o transporte dos pellets de madeira, seja em pequenos lotes, granéis, caminhões ou navios, e não afeta seu balanço energético, podendo ser armazenado por longos períodos de tempo sem perda de matéria seca e sem alterar significativamente sua eficiência térmica.

Quanto à qualidade e segurança, os pellets de madeira utilizados pela indústria para produção de energia em grande escala não precisam atingir grandes padrões de qualidade, como residencial. Com isso características como cor, geração de cinzas e possível explosões não são os principais critérios a serem inicialmente analisados (ESCOBAR, 2016). Conquanto, os pellets de madeira usados em residências, para aquecimento em pequena escala, são obrigados a cumprir padrões e são classificados de acordo com suas propriedades técnicas. Para tal finalidade, o mercado industrial e o residencial estabeleceram certificações que atestam tal conformidade (QUÉNO, 2015).

Em relação ao meio ambiente, Garcia *et al.* (2013) apontam que os pellets de madeira possuem a vantagem de ser um biocombustível neutro em

CO₂, significando que o gás carbônico liberado na combustão é recuperado no crescimento das árvores. Entretanto, deve-se considerar que há emissão de CO₂ no transporte da lenha e seus derivados para o processo de fabricação dos pellets e deslocamento do biocombustível para entrega do consumidor final. Contudo, ao ser comparado com o combustível fóssil, fica evidente que seu uso emite uma quantidade menor de gases na atmosfera.

Uma desvantagem é a falta de conhecimento dos consumidores quanto ao uso de pellets de madeira, com isso tendo uma pequena produção desse produto no Brasil. Os motivos da baixa procura no mercado nacional pelos pellets de biomassa se dá por não haver informações suficiente quanto a seu uso, características atrativas quanto a sua queima e, ainda, a falta de incentivo quanto a políticas públicas, fazendo com que a competitividade no mercado brasileiro se torne relativamente baixa (BOGDEZEVICIUS *et al.*, 2018).

2.2.1 Fatores que influenciam a produção dos pellets

Com o crescimento e a maturidade das empresas quanto à produção e comercialização dos pellets de madeira, amplia-se a competitividade, por consequência, a redução das margens de lucro na cadeia produtiva, e um cenário de insegurança dos produtores (FRITSCHÉ *et al.*, 2019). Em decorrência da expansão da produção (aumento da produção – consequentemente, se reduz o custo por unidade), os empresários tendem a fazer “*trade-offs*”⁴, visto que há a necessidade de altas quantidades de insumos, resultando em aumentos com gastos de transportes e logística (IRENA, 2018).

Uma indústria que produz pellets tem fatores que influenciam nos custos de produção, como a disponibilidade de matéria-prima e sua qualidade (tipo e sazonalidade), além do preço com ampla variação, o transporte e a logística, as tarifas de energia elétrica e, principalmente, a capacidade instalada da fábrica (SANTOS *et al.*, 2013). Pereira (2019) descreve que para que a empresa possa

⁴ *Trade-off* é um termo em inglês muito utilizado na economia e que define as situações em que existem conflitos de escolha (DICIONÁRIO FINANCEIRO, 2022). Exemplo: uma empresa tem um determinado caixa e uma quantia de funcionários limitada, ela precisa focar apenas nos projetos que são mais viáveis e que podem trazer melhores retornos de longo prazo (REIS, 2018).

ser competitiva, se torna importante otimizar esses fatores, visto que influenciam diretamente o *layout* e a localização das instalações, além da qualidade dos produtos e, principalmente no custo final de produção.

Além disso, segundo Sartori (2022), para que o preço e a oferta de pellets se mantenham estáveis (condição fundamental para que o produto seja utilizado como um recurso energético), a empresa deve analisar a possibilidade de escassez de matéria-prima, visto que representa um aumento de custos na produção e um risco para a sua continuidade.

Ademais, Fritsche *et al.* (2019) relatam que

Os preços dos Pellets de madeira (para fins industrial ou residencial), decorrem de fatores como: a variação na taxa de câmbio, alterações na temperatura ao longo do ano (uso residencial), o preço dos combustíveis (por exemplo o petróleo) e a dependência de incentivos para uso de energia de fontes renováveis. Além desses fatores, pode-se dizer que a deficiência ou escassez de outras fontes de energia podem impulsionar o consumo de Pellet em países que tenham estrutura para sua utilização.

2.2.2 Custos de produção dos pellets de madeira

Segundo Quéno (2015), o processo de agregação de valor numa cadeia de produção de pellets de madeira inicia pela aquisição de matéria-prima (50% - o custo de compra é barato, porém o investimento inicial para transformá-la será alto), e termina com a entrega do biocombustível para compradores ou comerciantes.

Os custos com a produção de pellets de madeira (aproximadamente 40%), incluem os custos fixos (o custo anual de depreciação de ativos necessários para o funcionamento da fábrica e os custos operacionais e de manutenção) e os custos variáveis (custos com matéria-prima, energia elétrica, telefonia, embalagens, entre outros) (QUÉNO, 2015).

De acordo com o estudo de Lyubov *et al.* (2022), uma maneira de reduzir os custos da produção dos pellets de madeira, visto que reduz significativamente o consumo específico de energia. Isso se dá, ao minimizar a quantidade de matéria-prima de madeira enviada para moinhos de martelos de britagem úmida, no qual deve-se ter uma classificação preliminar por tamanho de partícula. A implementação desta medida pode diminuir significativamente o consumo específico de energia para a produção de pellets.

No Brasil, ainda há o obstáculo quanto à logística para o transporte dos pellets de madeira, sendo em sua maioria transportado por caminhões, assim, agregando custos ao produto final. Além disso, para embarcar a biomassa sólida para o exterior, em algumas situações, o preço *Free on Board* (FOB⁵) pode ser acrescentado (WALTER; DOLZAN, 2011).

2.3 ANÁLISE ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DE PELLETS

Para se ter um empreendimento, a avaliação do fluxo de entrada deve ser suficiente para que seja pago o custo do investimento inicial, o custo das despesas de funcionamento e, ainda ter o retorno desejado para os investidores (QUÉNO, 2015).

Além disso, Orellana (2019) descreve que:

Ao planejar a capacidade de produção, é necessário estimar a demanda de vendas. No entanto, por se tratar de um mercado relativamente novo no Brasil, a demanda por clientela ainda é um grande desafio para os produtores, uma realidade que requer a inclusão de despesas comerciais que envolvam marketing e publicidade e propaganda para divulgação dos produtos.

2.3.1 Transporte de pellets

O transporte dos pellets de madeira, no Brasil, pode ocorrer de diversas maneiras, caminhão, trem, balsas, entre outros. Segundo Quéno (2015), o transporte rodoviário é o método comumente utilizado para entregar produtos de madeira. Entretanto, devem ser levados em consideração os impactos do caminhão quanto a emissão de gases de efeito estufa, os transtornos sobre comunidades locais, além de ter um elevado custo quando comparado a outras duas alternativas.

Ainda, Rasga (2013) relata que para as rotas consideradas curtas, o transportador não deve aguardar uma carga para retorno, visto que não é atrativo, ao se considerar a distância de 200 km (raio médio dos embarques desde a fábrica até os clientes). Esse tipo de frete, no qual são cobrados valores de deslocamento (ida e volta) são chamados frete técnico, ou seja, representam

⁵ *Free on Board* (FOB) o comprador assume todos os riscos e custos com o transporte da mercadoria (o cliente paga pelo frete e pelo seguro da mercadoria).

uma estimativa do frete teórico e, portanto, não consideram as forças de oferta e demanda de mercado.

2.3.2 Custos industriais e administrativos

No setor industrial as fábricas de pellets de madeira podem ser encontradas integradas diretamente com serrarias e carpintarias. Contudo, caso não tenha tal integração, os produtores se localizam próximos das plantas com base florestal, devido à importância dos custos logísticos, por consequência, a oferta de matéria-prima local tem uma escala limitada (VIDAL; HORA, 2011).

Para a operação de uma planta industrial, o capital de giro é um recurso que se faz necessário, por fornecer liquidez para o sistema, sendo essencial para atender o ciclo operacional que envolve a disponibilidade de caixa (compra de matéria-prima, estoque, produção, vendas a créditos e cobranças (SANTOS, 2022).

Ao tratar sobre o processo de fabricação dos pellets de madeira, como de qualquer outra atividade industrial, o custo de produção unitário diminui com o aumento das unidades produzidas (são inversamente proporcionais), em um determinado período de tempo. Esse conceito é denominado economia de escala, pelos economistas (RASGA, 2013). Dessa forma, deve ocorrer uma avaliação contínua quanto a quantidade de produto fabricado, podendo aumentar a produção. Contudo, não deixando de avaliar se os locais de compra da matéria-prima podem atender o aumento necessário dentro do setor fabril.

Durante a análise da viabilidade econômica, se torna importante avaliar os preços de vendas do produto e de subprodutos, visto que é a partir das receitas geradas de venda, que se tem a maior entrada da indústria, salvo poucas exceções (SANTOS, 2022).

Além dos custos de produção, Santos (2022) descreve que ainda existem os gastos com as despesas administrativas, comerciais, entre outros. As despesas administrativas estão relacionadas com as áreas de apoio da empresa - pagamento de salários, manutenção do terreno e escritório administrativos, recursos humanos, área de comunicação externa e interna, entre outros gastos administrativos aplicáveis ao projeto.

2.3.3 Análise de investimento

Leão (2012) descreve que os principais critérios e seus respectivos modelos matemáticos, para que se possa efetuar uma avaliação econômica de um projeto de investimento, são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o tempo de recuperação do capital (*payback*), o índice de lucratividade (IL) e a taxa interna de retorno modificada (MTIR).

No estudo de Orellana (2019) a análise econômica para produção 2 t/h de pellets se mostraram viáveis, tendo uma receita bruta de vendas de R\$ 5.207.040, VPL de R\$ 9.959.304,96 e TIR de 101%, com *payback* descontado de 7 meses.

O método VPL consiste na concentração de todos os valores esperados de um fluxo de caixa na data zero, utilizando como taxa de desconto a TMA (SOUZA; CLEMENTE, 2015). O VPL deve ser positivo para que o projeto da empresa seja viável, sendo normalmente rejeitado investimento em locais que apresentem VPL negativo. Além disso, Souza e Clemente (2015), relatam que a TIR deve ser maior que a TMA para que o projeto possa ser considerado economicamente viável (critério de Norstrom).

Quéno (2015) relata que o VPL e a TIR da empresa que opta por exportar toda a sua produção, são bem mais superiores que para a empresa focada no mercado interno.

Ainda, no estudo de Hersen (2020), são apresentados parâmetros que se fazem necessários quando se trata de pessoa jurídica, devendo levar em consideração a taxa mínima de atratividade (TMA). Essa taxa é a mínima alcançada para que se tenha retorno do capital investido, assim pode ser analisado se a implementação do projeto é viável. Ribeiro (2018) apresentam que projetos de energia costumam utilizar TMA real de 10% a 12% ao ano.

Há a possibilidade de se identificar o ganho adicional por unidade de capital investido, por meio do Índice Benefício-Custo (IBC) - razão entre o fluxo esperado de benefícios de um projeto e o fluxo esperado de investimentos necessários para realizá-lo. Trata-se de um aprimoramento da taxa média de remuneração do capital investido no projeto e uma variante do método do Valor Presente Líquido (SOUZA; CLEMENTE, 2015).

O resultado do IBC quando tiver:

Valor maior que R\$ 1,00 indica que o investimento é bom para a empresa e está gerando retorno. Quanto maior o valor, mais rentável é a aplicação;

Valor igual a R\$ 1,00: o retorno do investimento é igual ao valor investido, ou seja, a rentabilidade é 0%;

Valor menor que R\$ 1,00: nesse caso o investimento está dando prejuízo ao empreendedor, retornando menor que o capital investido (SYNERHGON, 2019).

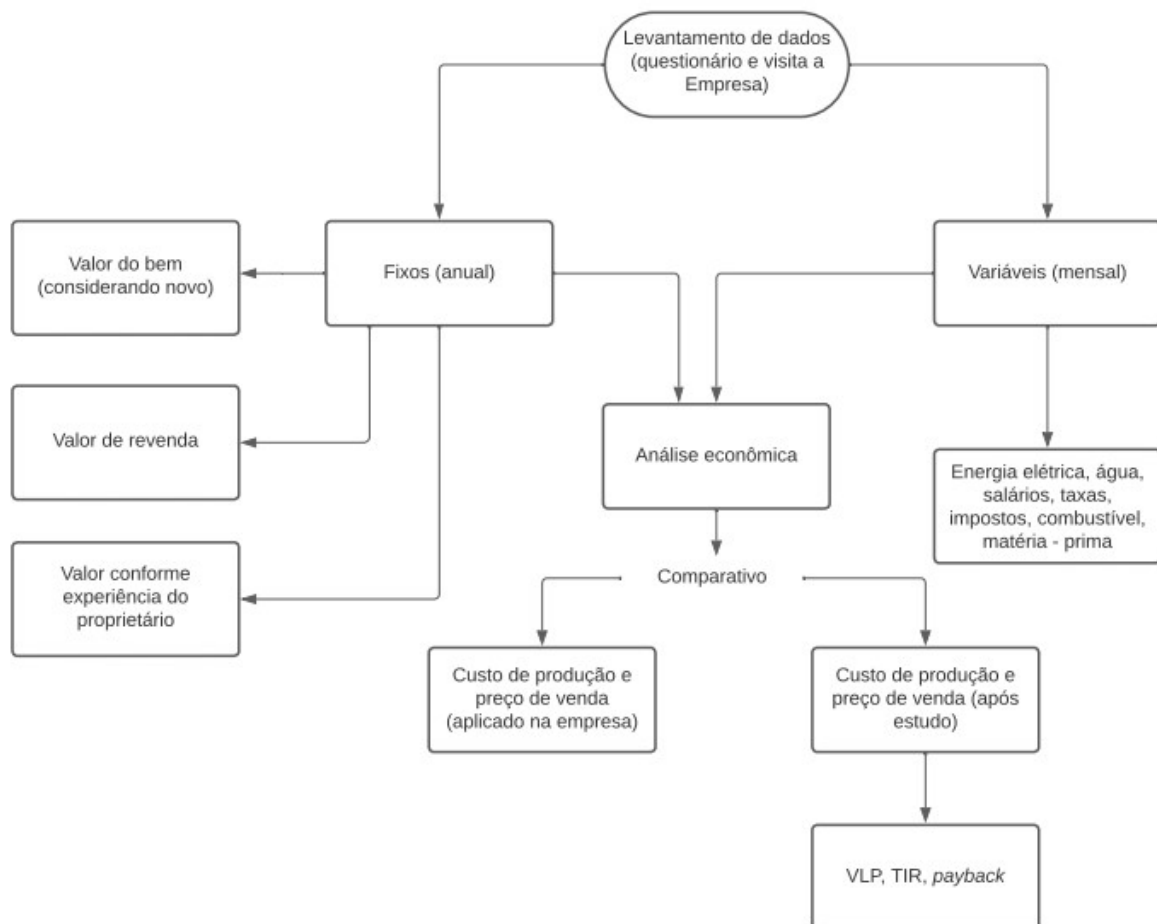
Ademais, de acordo com Souza e Clemente (2015), o Período de Recuperação do Investimento (*payback*) corresponde ao tempo necessário para se recuperar o investimento realizado, podendo ser o *payback* simples ou descontando. Para obter o *payback* simples, leva-se apenas em consideração o custo e o benefício que o investimento irá trazer, não sendo considerado o custo do dinheiro no tempo. Por sua vez, o *payback* descontado considera o custo do dinheiro no tempo.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida e a abordagem selecionada para realização deste estudo.

O desenvolvimento do trabalho se deu primeiramente pelo levantamento dos dados da empresa (custos fixos e variáveis). Em seguida, a análise econômica quanto a produção e venda do produto final (pellets de madeira), conforme visão geral da metodologia apresentada na Figura 2.

Figura 2: Principais etapas para obter o custo da produção e preço de venda dos pellets de madeira



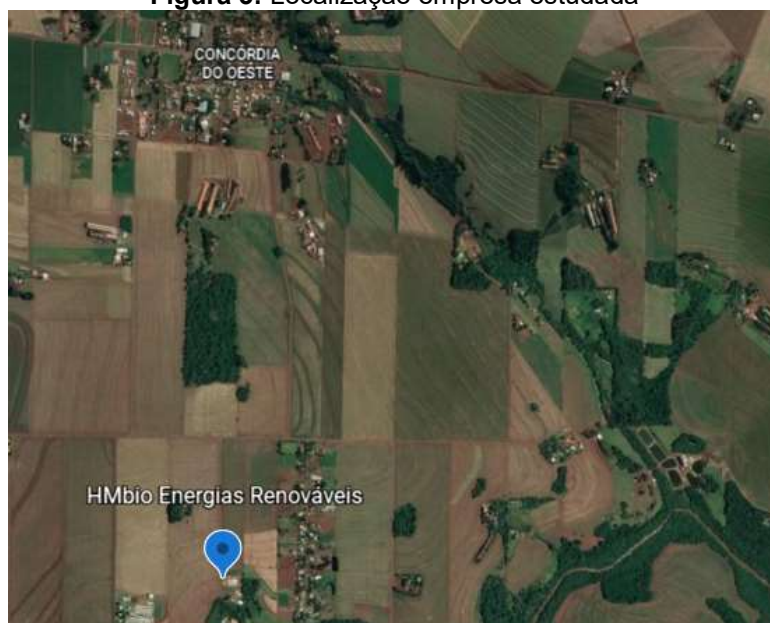
FONTE: Autoria Própria (2023)

3.1 DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE ESTUDO

Ainda que os combustíveis sólidos sejam vendidos por massa, Orellana (2019) relata que a quantidade de energia gerado pelo produto adquirido é uma das vantagens em utilizar os pellets, visto que as biomassas secas possuem maior calor disponível e as úmidas menores, ainda que tenham a mesma massa.

Dessa maneira, o estudo foi desenvolvido na empresa HMBio Energias Renováveis (em funcionamento a quatro anos), que fabrica pellets. A planta está localizada no distrito de Concórdia do Oeste, município de Toledo, na região Oeste do Paraná (Figura 3), tem uma área fabril de 500 m². Outras três produtoras de biocombustíveis pellets são encontradas próximas a Toledo, instaladas na cidade de Matelândia a uma distância de 100 km, Janiópolis a 170 km e Quedas do Iguaçu a 180 km (GARCIA *et al.*, 2018).

Figura 3: Localização empresa estudada



FONTE: Google Earth (2023)

3.2 ANÁLISE DE DADOS

Para o preço de venda da área da propriedade, foi utilizado o valor médio referente a classe de capacidade A-I⁶, localizada no município de Toledo - PR,

⁶ Grupo A- Classe I: terras cultiváveis, aparentemente sem problemas especiais de conservação. Ocupação mais comum no Paraná: Grãos, com altas produtividades (PARANÁ, 2023).

com preço de 163.100,00 reais por hectare (R\$/ha) (PARANÁ, 2023). Assim, o preço por alqueire paulista (24.200 m² de terra) é de 394.702,00 reais. Ademais, arbitrou-se a valorização da Terra Roxa de 13% a.a. acima da inflação (HACHMANN, 2021).

Desse modo, para facilitar a análise econômica foram adotadas premissas técnicas que permitem visualizar algumas possibilidades tangíveis quanto ao custo da produção:

- A análise foi elaborada assumindo-se que não há dívida ativa;
- Não foram considerados valores para publicidade e *marketing* da empresa;
- A venda de pellets é para atender o mercado regional;
- Inflação de 5,79% a.a., acumulado de janeiro a dezembro de 2022 (IBGE, 2023);
- Para a quantidade de matéria-prima utilizada para produzir 5.040 t/ano de pellets de madeira: 85% da matéria-prima é transformada em pellets, segundo Serrano (2009). Além disso, observou-se no local que há perdas, adotando 5% (QUÉNO, 2015) e um percentual que fazem uso na fornalha (queima de 5%). Com isso, são utilizadas efetivamente 75% da matéria-prima comprada;
- O transporte de matéria-prima até a fábrica terá a distância máxima de 150 km, visto que é considerada economicamente viável (PEREIRA, 2019);
 - Valor venda pellets no primeiro e segundo anos: adotou-se o valor de 600 R\$/t para pellets retirados diretamente na fábrica (por (GARCIA *et al.*, 2017);
- A capacidade nominal instalada do ano 5 em diante: 5.040 toneladas de pellets de madeira por ano;
- A venda e o transporte dos pellets de madeira são feitos diretamente para o consumidor final: distância máxima do transporte de 100 km, o valor de comercialização é integralmente de vendas a granel (PEREIRA, 2019);
- Não foram levantadas informações quanto a certificação internacional ou se está em andamento, e também sobre a realização interna de

controles regulares de qualidade durante a fabricação. Assim, adotando que os pellets de madeira não são fabricados para exportação, visto que Quéno (2015) destaca que para um exportador de pellets, a logística e a distância entre a localização da fábrica e o porto podem ter a mesma importância estratégica como a proximidade de fontes de biomassa;

3.2.1 Custo com transporte (frete e impostos)

Para a determinação do custo anual com frete e impostos, ou seja, o custo para transportar a matéria-prima até a fábrica e o produto da fábrica até o comprador. Para recolher a matéria-prima os cálculos foram obtidos por meio da equação matemática (Equação 1), e a entrega de 100% do produto final ao consumidor se dá pela Equação 2 (PEREIRA, 2019).

$$ct_R = (MP * F) + (I * D) \quad (1)$$

Onde:

ct_R é o custo do transporte para recolher a matéria-prima [R\$/ano];

MP é a quantidade de matéria-prima a ser transportada [t/ano];

F é o frete [R\$/t];

I são os impostos sobre o frete [R\$/km];

D é a distância do deslocamento (ida e volta) [km].

$$ct_{ent} = (PF * F) + (I * D) \quad (2)$$

Onde:

ct_{ent} é o custo do transporte para entrega do produto final (pellets de madeira) [R\$/ano];

PF é a quantidade de pellets de madeira a ser entregue [t/ano].

Para tanto, adotou-se as premissas técnicas que possibilitaram obter os custos com fretes e impostos quantos ao deslocamento de caminhões:

- Veículos: 2 caminhões, sendo um de porte médio (capacidade de carga de 11 toneladas) e o outro pesado (capacidade de carga de 23 toneladas);

- Para a logística (Tabelas 4 e 5) o caminhão médio transporta até 11 toneladas, e o caminhão pesado até 23 toneladas (DER, 2018). Além disso, utilizou-se o frete técnico da ida e da volta, adotando o pagamento de frete FOB para o recolhimento da matéria-prima e para a entrega do produto final, o *Cost, Insurance and Freight* (CIF⁷);
- 100% da matéria-prima é recolhida pela empresa;
- 100% dos pellets produzidos são entregues ao consumidor pela empresa (não se considerou retirada no local);

Tabela 4 – Premissas para a logística do recolhimento da matéria-prima

Categoria	Item	Descrição	Valor	Unidade
Logística	Rota máxima até os clientes	Distância máxima percorrida para ida e volta	300	km
	Frete Médio (Ida e retorno)	Caminhão pesado ¹	44,02	R\$/t
	Frete Médio (Ida e retorno)	Caminhão médio ¹	93,90	R\$/t
	Frete Médio líquido de impostos diretos	Caminhão pesado (9,57% por km) ²	0,32	R\$/km
	Frete Médio líquido de impostos diretos	Caminhão médio (9,57% por km) ²	0,33	R\$/km

Fonte: Autoria Própria (2023); ¹ (Guia do Transportador, 2023); ² (GUIA TRC, 2022)

Tabela 5 – Premissas para a logística das entregas dos pellets de madeira ao consumidor

Categoria	Item	Descrição	Valor	Unidade
Logística	Rota máxima até os clientes	Distância máxima percorrida (ida e volta)	200	km
	Frete Médio (Ida e retorno)	Caminhão pesado ¹	31,30	R\$/t
	Frete Médio (Ida e retorno)	Caminhão médio ¹	65,86	R\$/t
	Frete Médio líquido de impostos diretos	Caminhão pesado (9,57% por km) ²	0,34	R\$/km
	Frete Médio líquido de impostos diretos	Caminhão médio (9,57% por km) ²	0,35	R\$/km

Fonte: Autoria Própria (2023); ¹ (Guia do Transportador, 2023); ² (GUIA TRC, 2022)

⁷ CIF – é um tipo de frete, no qual o fornecedor é responsável por todos os custos e riscos com a entrega da mercadoria.

3.2.2 Custo da produção de pellets

O presente estudo elaborou a análise de custo de produção dos pellets de madeira, conforme metodologia de Mani *et al.* (2006). Assim, o custo total fixo (C_c do capital) se dá pela Equação 3:

$$C_c = (e \cdot C_{eq}) \quad (3)$$

Onde:

e é o fator de recuperação do capital (*Capital Recovery Factor*), dado pela Equação 4;

C_{eq} é o custo do equipamento [R\$].

$$e = \frac{i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4)$$

Onde:

i é a taxa de juros [%];

N é o tempo de amortecimento dos equipamentos [anos].

Para o custo estimado da instalação da peletizadora é de 40% do valor de compra. Ainda a Tabela 6 descreve a vida útil dos bens fixos.

Tabela 6 – Vida útil dos bens fixos

	Vida Útil (Anos)
Peletizadora	12
Terreno	25
Construção	20
Trator	10
Móveis	10
Secador/fornalha	12

Fonte: Adaptado QUÉNO (2015)

Dessa maneira, o custo total (CT) para produção dos pellets de madeira, corresponde a Equação 5:

$$C_T = (C_c + C_{op}) \quad (5)$$

Onde:

C_{op} é o custo variável operacional (R\$/ano), ou seja, custo variável inclui o custo da matéria-prima, energia elétrica, telefonia e internet, funcionários (produção, administração e venda).

Quanto ao custo fixo total, incorpora-se o custo da terra do local de instalação da fábrica, a compra, a instalação e a manutenção dos equipamentos (secador, peletizadora e outros) e das máquinas (caminhões, tratores). Assim obtendo a distribuição dos custos da fábrica (MANI *et al.*, 2006).

3.2.3 Métodos de análise de investimentos

A utilização de Fluxo de Caixa (FC) funciona como uma ferramenta de organização do caixa por meio do resultado entre o montante gerado e os gastos consumidos. Se faz necessário definir um período de tempo para análise sobre como se comporta o fluxo de caixa. Geralmente são analisados anualmente, condensando todas as entradas e saídas ao final dos anos (OLIVEIRA, 2008).

Para que se contabilize adequadamente o tempo de ocorrência das receitas e despesas, utiliza-se a análise do valor presente (VP), dada pela Equação 6 (BAYE, 2010).

$$VP = \frac{FV}{(1+i)^n} \quad (6)$$

Onde:

FV é o valor futuro a receber [R\$];

n são os anos do investimento [anos].

O cálculo utilizado para depreciação foi o linear, aplicado por regime de caixa, não de competência, conforme Timofeiczky Junior (2004) é dado pela Equação 7.

$$D_e = \frac{(VA-V)}{V_u} \quad (7)$$

Em que:

D_e é a depreciação [R\$/ano];

VA é o valor de Aquisição [R\$];

VR é o valor Residual [R\$];

V_u é a vida útil [anos].

Para obter o valor residual, ou seja, o valor pelo qual o investimento pode ser revendido ao final de sua vida útil, o cálculo é dado pelo Equação 8 (REIS, 2019).

$$VR = Valor\ inicial - (D_e \cdot V_u) \quad (8)$$

Onde:

VR é o valor residual do investimento e/ou bem [R\$];

$Valor\ inicial$ é o valor pelo qual o bem foi adquirido [R\$].

A depreciação quanto ao valor residual do investimento se dá pelo tempo de uso, os equipamentos ficarem obsoletos e por ter o desgaste natural, sendo que o bem nunca será vendido com valor maior que o pago (REIS, 2018).

Após obter as entradas e saídas monetárias, procedeu-se à avaliação da atratividade econômica da fábrica, calculando-se os indicadores VLP e TIR, descritos pelas Equações 7 e 8, respectivamente (SOUZA; CLEMENTE, 2015).

$$VPL = \sum_{j=0}^n FC(1 + TMA)^{-j} \quad (7)$$

$$0 = VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+TIR)^j} \quad (8)$$

Onde:

FC é o fluxo de caixa a valor presente [R\$];

j é o enésimo período no tempo [ano];

n representa o número de períodos [anos];

TMA é a taxa mínima de atratividade [%];

TIR é a taxa de desconto que zera a VPL (a condição $TIR \geq TMA$ classifica claramente o projeto como aceitável).

As premissas adotadas em relação a análise do investimento, tal como a *Operational Expenditure* (OPEX) é de 1% do custo de capital, são mostradas na Tabela 7. A taxa mínima de atratividade (TMA) do investimento foi fixada em 12% (estabelece um limite para os investidores) e a vida útil da planta de 25 anos (RIBEIRO, 2018).

Tabela 7 – Premissas adotadas para análise econômica

Parâmetro	Valor	Unidade
TMA	12	%
VLP	25	anos
OPEX	1 ¹	% do CAPEX

Fonte: Autoria Própria (2023); ¹ Hersen (2020)

Em seguida, identificou-se a grandeza do IBC (deve ser maior que 1), dado pela Equação 9 (SOUZA; CLEMENTE, 2015).

$$IBC = \frac{\sum_{j=0}^n FC(1+TM)^{-j}}{FC_0} \quad (9)$$

Onde:

FC_0 é o fluxo de caixa na data zero (inicial).

Ademais, para fins dessa pesquisa considerou-se o *payback* descontado, que representa a soma dos valores dos benefícios já descontados a uma taxa de desconto igual à TMA. Dessa forma, foi possível identificar o tempo que o projeto leva para retornar o investimento inicial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo descreve os resultados alcançados neste trabalho, apresentando os custos que envolvem a fabricação dos pellets.

4.1 COLETA DE DADOS

A coleta das informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa, se deu por meio de um questionário e levantamento de campo (visita na empresa, no dia 30 de janeiro de 2023), no qual o proprietário descreveu sobre os bens fixos e variáveis encontrados na fábrica, levando em consideração desde a saída da matéria-prima do fornecedor até o preço final de venda dos pellets.

Os custos fixos fornecidos pelo proprietário da fábrica de pellets de madeira foi de 3.270.000,00 de reais, referente ao capital investido na abertura da empresa.

O cenário base para estudo, conforme as informações coletadas são:

- Funcionários: 7
- Horário de fabricação: de segunda-feira a sábado, das 8h às 18h, com intervalo de uma hora, sendo trabalhadas nove horas diárias (h/dia);
- Quantidade de dias que a planta opera: 288 dias no ano (foram desconsiderados os feriados);
- Horas totais de operação da planta: 2.592 h/ano;
- Para a tecnologia de fabricação de pellets de madeira disponível na fábrica, a matéria-prima utilizada são a maravalha e a serragem, geralmente de *pinus*, advindos da coletada de serrarias, beneficiamento de madeira para a fabricação de tábuas, forros, entre outros. Eventualmente utiliza-se o eucalipto como matéria-prima, sendo em menor proporção;
- O valor médio de compra da matéria-prima: R\$ 350 a tonelada;
- A capacidade nominal anual para avaliar a produção de pellets é mostrada na Tabela 8. Ao visitar o local, verificou-se que as perdas de matéria-prima podem ser reduzidas ao implantar um

gerenciamento desde o recebimento da maravalha e/ou serragem até a produção do produto final, conseqüentemente, minimizando a quantidade de matéria-prima a ser comprada.

Tabela 8 – Matéria-prima utilizada para produção de pellets de madeira

Ano	Matéria-prima consumida (t/ano)	Perdas de matéria-prima (t/ano)	Queima na fornalha (t/ano)	Pellets produzido (t/ano)
1	745,41	37,27	37,27	576
2	2236,24	111,81	111,81	1728
3 a 25	6523,00	296,50	296,50	5040

Fonte: Autoria Própria (2023)

- Volume de vendas igual ao volume de produção (não há formação de estoques);
- O valor de venda do produto final (pellets de madeira) é de R\$ 1.100 a tonelada. Em uma pesquisa no site MF Rural é possível encontrar, por exemplo, pellets de derivados da madeira, desde *pinus* a provenientes da fabricação de móveis, sendo vendidos de 600,00 R\$/t (região de Santa Catarina) a cerca de 1230,00 reais a tonelada, na região de São Paulo.
- A Tabela 9 mostra as informações coletadas na empresa (insumos variáveis), referente aos doze meses de 2022, no qual as embalagens para ensacar os pellets de madeira têm o valor de 50,00 reais por tonelada, e o amido 500 reais por mês.

Tabela 9 – Insumos variáveis coletados na fábrica estudada

Categoria	Item	Descrição	Valor (R\$)
Variáveis	Energia elétrica	Valor de 12 meses	336.000,00
	Administrativos	Salários e pró-labores, contador e taxas e impostos	263.128,98
	Internet	Valor de 12 meses	1.200,00
	Matéria-prima	Resíduos de madeira	2.075.000,5
	Embalagens	Embalagens para ensacar os pellets	252.000,00
	Combustível	Gasolina e diesel	360.000,00
	Ligante	Amido	6.000,00
Total			3.293.828,98

FONTE: Autoria Própria (2023)

- O capital investido analisado foi de 4.955.024,23 reais, dado pelos insumos fixos descritos pelo proprietário e trazidos a valor presente, assim os custos da produção se aproxima o máximo possível do praticado na empresa. Ainda, durante o levantamento *in loco*, notou-se a existência de mais um trator, peneira de separação, computadores e mobília para escritório, além de detalhes quanto ao custo da construção, que foram adicionados aos custos fixos (Tabela 10);

Tabela 10 – Insumos fixos

Categoria	Item	Descrição	Valor de compra (R\$)
Fixo	Terreno	Área da propriedade	1.973.510,00 ¹
	Ferramentas	Ferramental para funcionamento e manutenção dos equipamentos ⁸	30.000,00 ²
	Veículos	Carro funcional (1 unidade), Trator (1 unidade) e caminhão (2 unidades)	1.080.448,00 ³
	Peletização	Peletizadora (2 unidades)	990.000,00 ²
	Secador/fornalha	Secador	435.000,00 ²
	Fábrica (construção)	Área da fábrica (500 m ²)	250.000,00 ²
	Móveis e computadores	Área administrativa	15.000,00 ⁴
	Peneira	Equipamento	36.000,00 ¹
	Veículo	Trator	150.000,00 ¹

FONTE: Aatoria Própria (2023); ¹Paraná (2023), ²Cotação, ³Tabela Fipe (2023), ⁴ Estimativa

4.2 MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE PELLETS

Durante a visita à fábrica, observou-se que parte da matéria-prima que não pode ser utilizada na produção de pellets (Figura 4), devido ao seu tamanho ao passar pela peneira, é destinada para consumo interno (queimada na fornalha). Isso faz com que o custo com a compra de combustível para a queima seja reduzido, visto que o material que seria descartado é reaproveitado.

⁸ Materiais descritos pelo proprietário: alicates, diversas tipos de chaves (fenda, boca, philips, estrela), martelos, motosserras, soprador de folhas, furadeiras, compressor de ar, empilhadeira, seladora.

Figura 4: Matéria-prima destinada para queima na fornalha



FONTE: Aatoria Própria (2023)

Por sua vez, há o resíduo de madeira que ainda não tem a destinação correta, sendo armazenado ao lado da fábrica (Figura 5), o que propicia que futuramente venha a ter custos não previstos, como a sua destinação correta (custo do deslocamento, caso não tenha uma empresa que recolha) e limpeza do local (remanejamento de máquinas e funcionários para essa atividade). Além disso, por estar a céu aberto, ocorre a decomposição natural do resíduo que causa mal cheiro e, segundo Hartmann (2017), há possibilidade de vir a causar contaminação do meio ambiente.

Figura 5: Resíduo de madeira não utilizado



FONTE: Aatoria Própria (2023)

Logo, nota-se que pode ser feita uma avaliação quanto as propriedades químicas e físicas do resíduo que está sendo depositado no pátio da empresa. Em seguida, caso a matéria-prima esteja com características em que possa ser utilizada na produção dos pellets, esta passa pela moagem e é adicionada ao produto final. Com isso, há possibilidade de reduzir as perdas de matéria-prima, por consequência, reduz o custo da produção.

Além disso, uma vantagem que o produtor de pellets pode ter, é obter a certificação ENplus® ou realizar uma análise realizada por um laboratório credenciado, fazendo com que se tenha a valorização e a possibilidade de exportar os pellets.

4.3 ANÁLISE DO CUSTO DA PRODUÇÃO

Conhecidas as questões de capacidade de suprimento (processo produtivo e mercado), foram avaliados os aspectos econômicos relacionados a planta da fábrica.

A baixa produção nos dois primeiros anos de funcionamento da empresa se deu por estarem aprendendo a utilizar os equipamentos, e definindo a matéria-prima a ser utilizada. Seguidamente, a capacidade de produção da fábrica é de 2 t/h de pellets (5.040 toneladas por ano).

O custo unitário do capital por unidade de produção (Tabela 12), mostra que mesmo não tendo formação de estoque, o impacto sobre o custo final de produção se torna elevado.

Tabela 11 – Custo unitário do capital

	Custo de compra (R\$)	Custo de Instalação (R\$)	Vida Útil (Anos)	Fator de recuperação do capital	Custo anual do Capital (R\$)	Custo unitário do Capital (R\$/t)
Peletizadora	990.000,00	396.000,00	12	0,16	223.751,42	44,40
Fábrica (construção)	250.000,00		25	0,13	31.874,99	6,32
Veículos	1.080.448,00		10	0,18	191.222,19	37,94
Peneira	36.000,00		10	0,18	6.371,43	1,26
Secador/fornalha	435.000,00		12	0,16	70.225,01	13,93
Total	2.791.448,00				523.445,04	103,86
Total instalado		3.187.448,00				

Fonte: Autoria Própria (2023)

Contudo, observou-se que a empresa estudada pode avaliar se há possibilidade de aumentar a produção de pellets, uma vez que existe uma peletizadora que não se encontra em funcionamento, assim não deixando o equipamento ocioso, sabendo que os custos fixos de produção são consideravelmente altos.

Ademais, a Tabela 13 mostra a distribuição do custo final da produção de pellets na fábrica estudada, sem considerar o frete. Nota-se que a matéria-prima tem um custo elevado (46%), isso ocorre devido não se encontrar nas proximidades da empresa com facilidade. No estudo de Quéno (2015), o com a maravalha foi de 54,67% do custo total. Assim, observando que a matéria-prima tem um elevado custo no custo final de produção.

Tabela 12 – Distribuição do custo total de produção por posto

Etapas do processo de peletização	Custo do Capital (R\$/t)	Custo operacional (R\$/t)	Custo total (R\$/t)	Distribuição dos Custos
Matéria-prima		350,00	350,00	46,08%
Secador/fornalha	13,93	0,86	14,80	1,95%
Veículos	37,94	2,44	40,38	5,32%
Peletizadora	44,40	1,96	46,36	6,10%
Peneira	1,26	0,07	1,34	0,18%
Ensacamento		50,00	50,00	6,58%
Armazenagem		1,21	1,21	0,16%
Material diverso		8,93	8,93	1,18%
Funcionários		29,32	29,32	3,86%
Fábrica (construção)	6,32	49,60	55,93	7,36%
Impostos		22,89	22,89	3,01%
Energia Elétrica		66,67	66,67	8,78%
Combustível		71,43	71,43	9,40%
Internet		0,24	0,24	0,03%
Custo total			759,48	100%

Fonte: Autoria Própria (2023)

Para que a empresa possa maximizar os seus resultados, uma das formas é a minimização do custo total para a produção. Uma alternativa para que se tenha economia, são os estudos quanto à eficiência energética no consumo de energia elétrica e combustível (18,18% do custo total), com isso reduzindo o consumo. No estudo de Passos e Claudino (2021), em uma indústria localizada no estado de Santa Catarina, em se analisou a possibilidade de

redução do consumo de energia elétrica, houve uma redução significativa no decorrer de 25 anos de seu funcionamento.

Uma vez que, a empresa se encontra instalada em uma localidade distante da malha logística, visto que a distância percorrida até os fornecedores (polos industriais, fábricas de papel e celulose, entre outros), e portos (no caso de exportadores), o que contribui para aumentar o custo de transporte. Assim, o custo dos fretes e impostos para recolhimento da matéria-prima (Tabela 14) deve ser considerado ao elaborar o estudo financeiro. Para tanto, nota-se que o menor custo ocorre ao transportar a carga com o caminhão pesado (não sendo levado em consideração a manutenção, desgaste de peças e consumo de combustível).

Tabela 13 – Custo anual com transporte para recolhimento de matéria-prima

	Tipo caminhão	Distância (km)	Matéria-prima a ser transportada (t/ano)	Frete + impostos (R\$/ano)
Matéria-prima a ser recolhida	Caminhão médio	300	539,09	50.719,48
	Caminhão pesado	300	257,83	11.446,40

FONTE: Autoria Própria (2023)

Dessa maneira, observa-se que deve ser acrescido no custo total o valor do frete de 2,27 reais por tonelada, para o caminhão pesado, tendo o valor final de R\$ 761,75 por tonelada.

Caso a empresa faça a opção de utilizar o caminhão do tipo médio para transportar a carga de matéria-prima, o custo total final passa a ser de 769,55 reais por tonelada. Hersen (2020) apresenta um custo de aproximadamente 10 mil reais, para o transporte de cavaco, sendo que são considerados três caminhões com capacidade de 15 toneladas cada.

Ademais, se torna de suma importância que o frete para entrega do produto final para o consumidor (Tabela 15) seja considerado na composição do preço de venda dos pellets de madeira, uma vez que o comprador recebe o produto em sua na porta. Nesse sentido, torna-se relevante determinar o tipo de caminhão a ser utilizado, visto que há uma elevada diferença entre os valores de frete. Sugere, ainda, a observação da quantidade de produto adquirido, bem como a distância de entrega.

Tabela 14 – Custo anual com transporte para entrega do produto final ao consumidor

	Tipo caminhão	Distância (km)	Produto final (t/ano)	Frete + impostos (R\$/ano)
Pellets de madeira da fábrica até consumidor	Caminhão médio	200	458,18	30.175,85
	Caminhão pesado	200	219,13	6.927,68

FONTE: Autoria Própria (2023)

Por fim, além dos fretes e impostos, Quéno (2015) salienta que ainda há a dificuldade quanto à infraestrutura existente para o transporte. Ao deslocar os veículos por rodovias pode ocorrer danos que aumentam os custos de manutenção.

4.4 ANÁLISE ECONÔMICA

A Tabela 16 mostra os cálculos que foram realizados em função da realidade da vida contável da fábrica, desde o primeiro ano de funcionamento até os 25 anos. Para tanto, a depreciação foi corrigida em função da inflação e o fluxo de caixa, para atender o mercado regional, calculado em moeda constante (Tabela 18). Para o preço de venda os custos se mantiveram constantes a partir do terceiro ano, ajustando apenas a depreciação conforme a inflação, isso porque há uma queda no seu valor real com o tempo.

4.4.1 Indicadores da viabilidade financeira

Quéno (2015) relata que a depreciação é estimada pela amortização do custo de capital do projeto inicial sob uma taxa de desconto. Dessa forma, estimou-se que o custo de depreciação da produção de pellets está em torno de 40,43 R\$/t por ano (Tabela 17).

Tabela 15 – Cálculo da depreciação dos bens fixos

	Investimento (R\$)	Vidal Útil (Anos)	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12 ao 24	Desinvestimento (R\$)	
Peletizadora	990.000,00	12	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00	66.000,00		792.000,00	
Fábrica (construção)	250.000,00	25	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	96.000,00	192.000,00
Veículos	1.230.448,00	10	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80	99.444,80		994.448,00	
Peneira	36.000,00	10	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00		6.000,00	
Móveis	15.000,00	10	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00		7.000,00	
Secador/fornalha	435.000,00	12	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00	29.000,00		348.000,00	
Depreciação nominal e linear (R\$)			203.744,80	203.744,80	203.744,80	203.744,80	203.744,80	203.744,80	203.744,80	203.744,80	203.744,80	203.744,80	203.744,80	103.000,00	103.000,00	96.000,00	
Inflação projetada				5,79%	5,79%	5,79%	5,79%	5,79%	5,79%	5,79%	5,79%	5,79%	5,79%				
Depreciação corrigida pela inflação (R\$)			203.744,80	191.947,98	180.834,19	170.363,89	160.499,82	151.206,88	142.452,00	134.204,03	126.433,62	119.113,11					

FONTE: Autoria Própria (2023)

Tabela 16 – Depreciação da produção de pellets de madeira e valor residual do investimento

Item	Investimento (R\$)	Vidal Útil (Anos)	Depreciação Anual	Depreciação Anual (R\$)	Depreciação após vida útil do bem (R\$)	Custo depreciação da produção anual (R\$/t)	Valor residual (R\$)
Peletizadora	990.000,00	12	6,67%	66.000,00	792.000,00	13,10	198.000,00
Fábrica (construção)	250.000,00	25	3,20%	8.000,00	192.000,00	1,59	58.000,00
Veículos	1.230.448,00	10	8,08%	99.444,80	994.448,00	19,73	236.000,00
Peneira	36.000,00	10	1,67%	600,00	6.000,00	0,12	30.000,00
Móveis	15.000,00	10	4,67%	700,00	7.000,00	0,14	8.000,00
Secador/fornalha	435.000,00	12	6,67%	29.000,00	348.000,00	5,75	87.000,00
Depreciação (R\$)				203.744,80	2.339.448,00	40,43	617.000,00

FONTE: Autoria Própria (2023)

Tabela 17 – Fluxo de caixa para atender o mercado regional

	Descrição	Investimento (R\$)	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12 ao 24
Fixo	Área da propriedade	1.973.510,00		236.821,20	236.821,20	236.821,20	236.821,20	236.821,20	236.821,20	236.821,20	236.821,20	236.821,20	236.821,20	236.821,20	3.078.675,60
	Pelletizadora	990.000,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	59.400,00	
	Fábrica (construção)	250.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	15.000,00	195.000,00
	Veículos	1.230.448,00	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	73.826,88	
	Peneira	36.000,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	2.160,00	
	Móveis	15.000,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00	
	Secador/fornalha	435.000,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	26.100,00	
Variáveis	Energia Elétrica		38.400,00	115.200,00	336.000,00	336.000,00	336.000,00	336.000,00	336.000,00	336.000,00	336.000,00	336.000,00	336.000,00	336.000,00	4.368.000,00
	Funcionários		147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	147.750,00	1.920.750,00
	Impostos e taxas		115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	115.378,98	1.499.926,74
	Internet		1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	15.600,00
	Embalagens		28.800,00	86.400,00	252.000,00	252.000,00	252.000,00	252.000,00	252.000,00	252.000,00	252.000,00	252.000,00	252.000,00	252.000,00	3.276.000,00
	Matéria-prima		261.579,83	784.739,49	2.081.500,00	2.081.500,00	2.081.500,00	2.081.500,00	2.081.500,00	2.081.500,00	2.081.500,00	2.081.500,00	2.081.500,00	2.081.500,00	27.059.500,00
	Combustível		360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	360.000,00	4.680.000,00
	OPEX		29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	29.864,48	388.238,24
	Custo		1.160.360,17	2.054.741,03	3.737.901,54	3.737.901,54	3.737.901,54	3.737.901,54	3.737.901,54	3.737.901,54	3.737.901,54	3.737.901,54	3.661.014,66	3.661.014,66	46.481.690,58
	Receita			345.600,00	1.036.800,00	5.544.000,00	5.544.000,00	5.544.000,00	5.544.000,00	5.544.000,00	5.544.000,00	5.544.000,00	5.544.000,00	5.544.000,00	72.072.000,00
	Fluxo de caixa		-1.160.360,17	-1.709.141,03	-2.701.101,54	1.806.098,46	1.806.098,46	1.806.098,46	1.806.098,46	1.806.098,46	1.806.098,46	1.806.098,46	1.882.985,34	1.882.985,34	25.590.309,42
	Custo descontado		1.160.360,17	1.834.590,21	2.979.832,22	2.660.564,48	2.375.504,00	2.120.985,72	1.893.737,25	1.690.836,83	1.509.675,74	1.347.924,77	1.178.748,74	1.052.454,23	46.481.690,58
	Receita descontado			308.571,43	826.530,61	3.946.109,69	3.523.312,23	3.145.814,49	2.808.762,94	2.507.824,05	2.239.128,62	1.999.221,98	1.785.019,62	1.593.767,52	10.237.642,84
	Fluxo de caixa descontado		-1.160.360,17	-1.526.018,78	-2.153.301,61	1.285.545,21	1.147.808,22	1.024.828,77	915.025,69	816.987,22	729.452,88	651.297,21	606.270,88	541.313,29	3.635.037,85

FONTE: Autoria Própria (2023)

Além disso, após 25 anos será de aproximadamente 20% do valor de investimento inicial, sendo de 617.000,00 reais. Considerando a produção média de 5.040 toneladas de pellets de madeira por ano, sendo comercializado ao valor de R\$ 1.100,00 (a partir do ano 3, observa-se que a receita bruta anual de vendas é de 5.544,00 milhões de reais).

Entretanto, a partir do ano 10, pode haver uma redução da receita bruta, quando se observa somente a receita bruta de vendas (ORELLENA, 2019), visto que a empresa iniciará novos investimentos em equipamentos que possam estar obsoletos, e/ou não estar mais sendo utilizados (com possíveis danos, falhas mecânicas, entre outros), e ainda atingiram a sua vida útil. Além disso, Reis (2018) relata que a obsolescência pode ser causada pelo número de turnos em que os ativos estão sendo utilizados.

Com base nas análises de despesas e receitas necessárias para atender a produção de pellets, pode-se gerar indicativos econômicos, sendo o VLP de 6.582.427,07 reais e TIR de 22,36%, para o capital investido de R\$ 2.986.448,00, com base na taxa mínima de atratividade escolhida. Dessa maneira, o valor da TIR foi maior que a TMA, o que torna o projeto da empresa é viável. Além disso, o tempo necessário para a recuperação do investimento, utilizando o *payback* descontado são de 8 anos e 1 mês. Orellana (2019) apresenta um *payback* de sete meses e TIR de 101%, para o estudo do cenário 3, que produz 2 t/h, de pellets na região do Distrito Federal, com produção anual de 9216 toneladas de pellets, sendo a mesma produção por hora, contudo quase o dobro durante o ano, quando comparado ao descrito neste estudo.

Ao avaliar o índice benefício-custo, obteve-se o valor de 1,12, ou seja, apresenta um valor acima da unidade, constatando que os benefícios são maiores do que os custos inerentes ao investimento, com isso comprova a viabilidade da produção de pellets na empresa, conforme descrito por SYNERHGON (2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os custos quanto a produção de pellets de madeira, com intuito de utilizar informações fornecidas pelo proprietário e premissas adotadas (frete, distância quanto a coleta da matéria-prima e entrega dos pellets, entre outros), verificando que os custos variáveis que tem mais influência no custo de produção, destacando os custos com matéria-prima.

Assim, concluiu-se que para a planta estudada, existe um investimento inicial alto. A partir do oitavo ano de produção de pellets é possível ter um saldo positivo, com isso obtendo resultados que se mostram economicamente viáveis, recuperado por meio das receitas das vendas.

Por outro lado, a região no qual a empresa encontra-se instalada ainda não tem a matéria-prima suficiente para atender a demanda de consumo, sendo necessária a busca em distâncias maiores que 100 km. Com isso, aumentando o custo da produção. Faz-se necessário uma análise das distâncias percorridas para buscar a matéria-prima, valores de fretes e seus os custos atribuídos ao deslocamento.

Contudo, a taxa interna de retorno que se manteve acima da taxa mínima de atratividade estipulada. Dessa forma, os valores quanto ao custo de produção apresentados são viáveis para a empresa que atenda as proposições descritas no estudo.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este tópico apresenta sugestões quanto a possíveis trabalhos futuros:

- Uma análise dos custos e lucros quanto ao aumento da produção, em t/h.
- Uma análise quanto a região Oeste do Paraná, e se há possibilidade de recolhimento de matéria-prima, assim reduzindo o custo de produção.
- Um estudo quanto as características físicas e químicas dos pellets produzidos, para melhoria do produto entregue ao consumidor.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGROICONE. Oportunidades para florestas energéticas na geração de energia no Brasil. **Agroicone**, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BIOMASSA PELLETS E BRIQUETES E BRASIL BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL (ABIBI). **Conjuntura nacional e internacional – setor industrial de biomassa pellets briquetes**. ABIB, 2019.

ASSOCIAÇÃO PARANAENSE DE EMPRESAS DE BASE FLORESTAL (APRE). **Estudo Setorial APRE 2022**. APRE Florestas, Curitiba, 2022.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/>. Acesso em 18 jan. 2023.

BARCELLOS, G. J. L.; FAGUNDES, M. (Org.) **Policultivo de jundiás, tilápias e carpas: uma alternativa de produção para a piscicultura rio-grandense**. 2 ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2012.

BASSO, S. **Análise do carvão vegetal para uso doméstico**. 2017. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

BAYE, M. R. **Economia de empresas e estratégias de negócios**. Editora: AMGH, 6 ed., 2010.

BOGDEZEVICIUS, C. R., *et al.* Percepção quanto ao uso e atributos dos pellets de biomassa como fonte geradora de energia. **Revista de Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 4, p. 515 - 539, 2018.

BONASSA, G.; Schneider, L. T.; Canever, V. B.; Cremonez, P. A.; Frigo, E. P.; Dieter, J.; Teleken, J. G. Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2365-2378, Paraná/Brasil, 2018.

BRAINER, M. S. de C. P. **Produtos Florestais**. Caderno Setorial ETENE, ano 7, n. 213, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, 2022.

BRAND, M. A. et al. Produção de Biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 353–360, 2014.

CÂMARA SETORIAL DA CADEIA PRODUTIVA DE FLORESTAS PLANTADAS. **Produção de energia a partir da biomassa de madeira**. Brasília, 2017.

CARASCHI, J.; GARCIA, D. Pellets de madeira – Expansão e Diversificação. **Revista da Madeira**. 127. ed. Rio Grande do Sul, março, 2011.

CARVALHO, N.P.R. **Implementação do plano de controlo, inspeção e ensaio na produção de pellets de madeira**. 43 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Instituto Politécnico de Viseu, 1 ed., Portugal, 2011.

COUTO, L. C.; ABRAHÃO, C. P.; FARIA E. R.; COUTO, L. M. F. Utilizações Energéticas da Biomassa Vegetal. **Revista Biomassa & Energia**, Viçosa, Minas Gerais, v. 5, n. 1, 2012.

DARONCO, J. E. **CAGR: o que é? Qual sua importância nos investimentos?** Suno, 2023. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/cagr/>. Acesso em: 28 jan. 2023.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER). Tabela oficial de peso 2018 – atualizado 2-2018. **DER SP**, 2018. Disponível em: http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/peso/TABELA_OFICIAL_PESO.pdf. Acesso em: 27 jan. 2023.

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

DICIONÁRIO FINANCEIRO. **O que é trade-off**. Disponível em: <https://www.dicionariofinanceiro.com/trade-off/>. Acesso em: 13 jan. 2023.

DINIZ, F. F. **Ecoeficiência e estrutura de mercado internacional dos produtos florestais para energia**. 2022. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 2022.

EMBRAPA FLORESTAS. **Oferta e demanda de madeira para energia térmica na região oeste paranaense: Fase I: municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina**. Corradi, Giordano Marques; et al. Embrapa Florestas, Colombo-PR, 2021.

EMBRAPA. Briquetagem e Peletização de Resíduos Agrícolas e Florestais: 1. **Embrapa**, Brasília - DF, 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/932713/1/FOLDERBriquetagem22012.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Relatório Síntese 2022: Ano Base 2021**. Rio de Janeiro, 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Relatório Síntese 2021: Ano Base 2020**. Rio de Janeiro, 2021.

ESCOBAR, J.F.A. **Produção sustentável de biomassa florestal para energia no Brasil: o caso dos Pellet de madeira**. 2016. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **In Brief to The State of the World's Forests 2022**. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. Roma, 2022.

GARCIA, D. P. **Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Guaratinguetá, 2010.

GARCIA, D. P. *et al.* **Mapa dos produtores brasileiros de biocombustíveis pellets**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v. 12, n. 4, p. 333–339, 2018. [Updated 12/01/2022]. Acesso em: 30 jan. 2023.

GUIA DO TRANSPORTADOR. **Tabelas referenciais de Fretes**. 2023. Disponível em: http://www.guiadotrc.com.br/truckinfo/lista_tabelas.asp. Acesso em: 26 jan. 2023.

GUIA TRC. **Preço médio do frete por km aumentou 11%**. 2022. Disponível em: <http://www.guiadotrc.com.br/noticias/noticialD.asp?id=37629> Acesso em: 25 jan. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAOSTAT). **Forestry Production and Trade**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: 05 jan. 2023.

FRITSCHÉ, U. R.; *et al.* Margin potential for a long-term sustainable wood pellet supply chain. Task 40: New Publication, **IEA**, 2019.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**, v. 135, n. 2, p. 14–18, 2013.

GARCIA, D. P.; CARASCHIL, J.C.; VENTORIM, G. O setor de pellets de madeira no Brasil. **Revista ciência da madeira**, v. 8, n. 1, 2017c. Disponível em: DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v8n1p21-28.

HACHMANN, F. J. **Análise do comportamento dos preços de terras mecanizadas nos municípios com maior volume de produção de soja, milho e trigo do Paraná**. 2021. 35f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal do Paraná, 2021.

HARTMANN, A. de A. **A gestão dos resíduos de madeira: estudo em uma madeireira no município de Salvador das Missões**. 2017. 68 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal Fronteira Sul, Cerro Largo, RS, 2017.

HERSEN, A. **Viabilidade econômica da geração distribuída e compartilhada de energia elétrica proveniente da biomassa florestal no município de Guarapuava, PR**. 2020. 148 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Inflação**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em: 30 jan. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Solid biomass supply for heat and power: Technology brief. **International Renewable Energy Agency**, Abu Dhabi, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2022**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em: 18 nov. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Data and Statistics**. 2021.

INVESTING. **Petróleo Brent Futuros Dados Históricos**. Disponível em: <https://br.investing.com/commodities/brent-oil-historical-data>. Acesso: 17 nov. 2022.

LEÃO. A. G. de. **Engenharia econômica avançada: tópicos avançados – material de apoio**. 2012. Disponível em: https://www.politecnica.pucrs.br/professores/alvaro/Engenharia_Economica_Avancada/Topicos_Avancados.pdf. Acesso em: 20 dez. 2022.

LETHIKANGAS, P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. **Biomass and Bioenergy**, v.19, n.20, p.351-360, 2001.

LYUBOV, V.K.; POPOV, A.N.; ALEKSEEV, P.D. Efficiency of the Production of Wood Pellet Fuel. **Solid Fuel Chem.** 56, p. 368–379, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3103/S036152192205007X>.

MANI, S., SOKHANSANJ, S., BI, X., TURHOLLOW, A. Economics of producing fuel pellets from biomass. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 22, n.3, p. 421-426, 2006.

MAIS FLORESTA. **Comércio global de pellets de madeira atingiu recorde de 29 milhões de toneladas em 2021**. 2022. Disponível em: <https://www.maisfloresta.com.br/comercio-global-de-pellets-de-madeira-atingiu-recorde-de-29-milhoes-de-toneladas-em-2021/>. Acesso em: 04 nov. 2022.

MEDEIROS, G.; FLORINDO, T.; TALAMINI, E.; FETT NETO, A.; RUVIARO, C. Optimising Tree Plantation Land Use in Brazil by Analysing Trade-Offs between Economic and Environmental Factors Using Multi-Objective Programming. **Forests**, 2020. Doi:10.3390/f11070723.

MORDOR INTELLIGENCE. **Wood pellet market - growth, trends, Covid-19 impact, and forecasts (2023 - 2028)**. 2023. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/wood-pellet-market>. Acesso em: 29 jan. 2023.

NOGUEIRA, L.A.H e LORA, E.E.S. **Dendroenergia**: fundamentos e aplicações – 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2003.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O. Biomass torrefaction as a key driver for the sustainable development and decarbonization of energy production.

Sustainability, v. 12, n. 3, 2020.

OLIVEIRA, L. H. et al. Aproveitamento de resíduos madeireiros de *Pinus sp.* com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 683-691, 2017.

OLIVEIRA, R. M. **Espaçamento e adubação na produtividade de *Eucalyptus* no Sudoeste da Bahia**. 2015. 55 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2015.

ORELLANA, B.B.M.A. **Utilização de resíduos de biomassa do Distrito Federal para fins energéticos**. 202 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. **Preços de Terras**. 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/terras>. Acesso em: 01 fev. 2023.

PASSOS, F.; CLAUDINO, W. **Consultoria**: viabilidade e adequação do consumo de energia elétrica, aplicando técnicas de eficiência energética na indústria. 2021. 141 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação). Universidade do Sul de Santa Catarina, 2021.

PENA-VERGANA, G.; CASTRO, L. R.; GASPARETTO, C. A.; BIZZO, W. A. Energy from planted forest and its residues characterization in Brazil. **Energy**, v. 239, 2022.

PEREIRA, A. S. **Uso de Pellets de madeira para fins energéticos**: pesquisa de mercado. V Prêmio SFB em Estudos de Economia e Mercado Florestal, 2019.

QUÉNO, L. R. M.; *et al.* Aspectos técnicos da produção de pellets de madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1478-1489, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509820606>.

QUÉNO, L.R.M. **Produção de Pellet de madeira no brasil**: estratégia, custo e risco do investimento. 2015. 162 f. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2015.

RANGEL, I. C.; *et al.* Normas e padrões para produção de biomassa compactada no mundo: em breve o Brasil terá a sua? **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 1, 2018.

RASGA, R. O. S. **Pellets de madeira e sua viabilidade econômico-financeira na substituição do óleo BPF-A1 em pequenos e médios consumidores no Estado de São Paulo**. 2013. 165 f. Dissertação (Mestrado). Fundação Getúlio Vargas, Escola de Economia de São Paulo, 2013.

REIS, T. **Valor residual**: quanto vale um bem após muitos anos de uso? Suno, 2019. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/valor-residual/>. Acesso em: 01 fev. 2023.

REIS, T. **Trade off**: o que é? Entenda esse importante conceito econômico. Suno, 2018. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/trade-off/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

REIS, T. **Depreciação de um bem**: a perda de valor de um ativo. Suno, 2018. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/depreciacao-de-um-bem/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

RIBEIRO, G. B. D. **Análise técnica e econômica da produção de energia termelétrica a partir da biomassa florestal**. 2018. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

SANTOS, A. A. C. **Análise de pré-viabilidade técnico-econômica da produção de pellets de madeira no Brasil**. 2022. 109 F. Projeto Final (Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2022.

SANTOS, A. M. DOS, MELO, A. A., QUEIROZ, A., GUIMARÃES, L., CONSOLARO, H. N., SARMENTO, A. P. Aproveitamento dos Resíduos de Madeira para Geração de Bioenergia. **Revista Processos Químicos**, v. 13, n. 26, p. 51-56, 2019.

SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. DE. **Bioenergia e Biorrefinaria** - Cana-de-açúcar & Espécies Florestais. Universidade Federal de Viçosa, 2013.

SCAFF, A. Preço do imóvel cresce acima da inflação em 2022. **Estadão**, 2023. Disponível em: <https://einvestidor.estadao.com.br/mercado/precos-imoveis-sobe-acima-inflacao-2022/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

SARTORI, R. S. **A indústria de Pellet de madeira para uso interno e exportação no Brasil**. 2022. 119 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, 2022.

SERRANO, D. M. C. **Avaliação do Potencial de Produção e Exportação de Pellets Combustível no Polo Florestal da Região Sul do Brasil**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, 2009.

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

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos**: fundamentos, técnicas e aplicações. São Paulo: Atlas, 2015.

SOUZA, M. M. de *et al.* Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 325-334, 2012.

SYNERHGON. **Análise a rentabilidade do seu investimento usando o Índice Benefício/Custo**. 2019. Disponível em: <http://synerhgon.com.br/analise-a-rentabilidade-do-seu-investimento-usando-o-indice-beneficio-custo/#:~:text=Como%20Analisar%20o%20IBC&text=Valor%20maior%20que%20R%24%201,empresa%20e%20est%C3%A1%20gerando%20retorno>. Acesso em: 03 fev. 2023.

TIMOFEICZYK JUNIOR, R. **Análise econômica do manejo de baixo impacto em florestas tropicais** – um estudo de caso. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

TOWLER, Gavin; SINNOTT, Ray. *Chemical Engineering Design: principles, practice, economics of plant and process design*. [s.l.]: **Elsevier**, 2008.

TUNES, S. O potencial inexplorado dos pellets. **Revista Pesquisa Fapesp**, ed. 320, 2022. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-potencial-inexplorado-dos-pellets/>. Acesso em: 17 jan. 2023.

VIDAL, A.C.F.; HORA, A.B. Papel e Celulose. In: *Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia*. **BNDES Setorial**, v.33, p. 261-314. 2011.

WORLD BIOENERGY ASSOCIATION (WBA). *Global bioenergy statistics 2022*. **WBA**, 2022. Disponível em: <https://www.worldbioenergy.org/uploads/221223%20WBA%20GBS%202022.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2023.

WORLD BIOENERGY ASSOCIATION (WBA). *Global Bioenergy Statistics 2021*. **WBA**, 2021. Disponível em: <https://www.worldbioenergy.org/global-bioenergy-statistics/>.