

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Luiza dos Anjos Lopes Chaves
Lurian Bianca Sigolo



ESTUDO DA PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A
PRODUÇÃO DE BROMELINA A PARTIR DA CASCA DO
ABACAXI

RIO DE JANEIRO

2024

Luiza dos Anjos Lopes Chaves

Lurian Bianca Sigolo

ESTUDO DA PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A PRODUÇÃO DE
BROMELINA A PARTIR DA CASCA DO ABACAXI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheira Química para Luiza dos Anjos Lopes Chaves e Química Industrial para Lurian Bianca Sigolo.

Orientador(es): Fábio de Almeida Oroski

Ricardo Schmitz Ongaratto

Rio de Janeiro

2024

Luiza dos Anjos Lopes Chaves

Lurian Bianca Sigolo

ESTUDO DE PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A PRODUÇÃO DE
BROMELINA A PARTIR DA CASCA DO ABACAXI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Química da Universidade Federal do
Rio de Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Engenharia
Química e Química Industrial.

Aprovado em 18 de julho de 2024.

Fábio de Almeida Oroski, Doutor, UFRJ

Ricardo Schmitz Ongaratto, Doutor, UFRJ

Flavia Chaves Alves, Doutora, UFRJ

Caroline Alves Cayres, Doutora, UFRJ

Rio de Janeiro

2024

Dedicamos este trabalho a todos que nos ajudaram ao longo desta caminhada.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana.”

(Carl Jung)

AGRADECIMENTOS

Luiza dos Anjos Lopes Chaves

Primeiramente, agradeço a Deus, por ser a base de tudo e por iluminar meus caminhos, dando-me força e perseverança.

À minha querida avó, que sempre foi um pilar de sabedoria e amor. Sua vida é um exemplo de coragem e resiliência, e seu apoio foi essencial em todos os momentos.

À minha mãe, por ser minha fonte de inspiração e por todo o carinho, apoio e ensinamentos ao longo da vida. Sem seu incentivo constante e sua confiança em minhas capacidades, esta jornada teria sido muito mais difícil.

Ao meu namorado, pela paciência, compreensão e pelo amor que me manteve firme e focada mesmo nos momentos mais desafiadores. Sua presença foi um alívio e um estímulo constante para seguir em frente.

Aos professores Ricardo e Fábio, agradeço a orientação, paciência e pelos valiosos ensinamentos. Suas contribuições foram fundamentais para a construção deste trabalho e para meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos amigos do Colégio Pedro II, Instituto Federal (IF) e da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), agradeço pelas conversas, apoio e momentos de descontração que tornaram esta jornada mais leve e prazerosa. A convivência com vocês foi essencial para meu desenvolvimento e para que eu pudesse concluir esta etapa da minha formação.

À minha parceira de TCC, a quem tenho muito carinho e considero uma irmã, dedico um agradecimento especial. Seu apoio foi fundamental para que eu pudesse superar os desafios e conquistar este objetivo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse realizado, meu sincero muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

Lurian Bianca Sigolo

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus e a espiritualidade que me concedeu forças, apoio e ensinamentos e me ajudou a realizar tantos sonhos e ultrapassar momentos difíceis.

Agradeço à minha família por todo apoio em minha jornada, principalmente à minha irmã Lavínia, que me inspira todos os dias para servir de exemplo, minha mãe Shirlei, meus avós Maria do Carmo e Luis e ao meu pai Rogério, que estão sempre me apoiando, sendo fonte de amor e carinho inesgotáveis. Esforço-me todos os dias para ser exemplo de força e dedicação para vocês.

Agradeço imensamente pela vida dos meus pets que tanto amo: meus gatos, Thor e Orion, por me motivarem a ser melhor a cada dia para fornecer muitos petiscos, e meu gato Hórus e minha dog Lilica que estão no céu, mas carrego no meu coração. Vocês são o verdadeiro significado de amor incondicional.

Agradeço aos meus amigos pela parceria, amor, carinho, desabafos, paciência e cumplicidade. Vocês são a família que escolhi. Obrigada por estarem ao meu lado e me darem força nos momentos que mais preciso: Paloma, Thaisa, Duda, Davi, Gabriella, Amanda, Fabrícia e Rafael. E todos aqueles que de alguma forma me acompanharam em minha jornada.

À mim, por superar tantos obstáculos e me jogar na aventura de morar em outro estado, longe de minha família, para estudar na faculdade dos meus sonhos. Que eu possa lembrar da minha capacidade de resiliência e força nos momentos difíceis!

À minha parceira de TCC pela amizade, parceria, carinho e amor, você é uma irmã para mim, Luiza, amo você!

À Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a Escola de Química, um sonho que se tornou realidade e me proporcionou diversos aprendizados e experiências à qual devo a profissional que sou hoje.

Aos orientadores, Fábio e Ricardo, pelo auxílio e orientação para colocar os aprendizados em prática.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação ao longo dessa jornada, direta ou indiretamente.

RESUMO

CHAVES 1, Luiza 1; SIGOLO 2, Lurian 2. **Estudo de Pré-Viabilidade Econômica para a produção de Bromelina a partir da casca do abacaxi.** Rio de Janeiro, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química / Química Industrial) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

A crescente demanda por recursos, impulsionada pelo crescimento populacional previsto para atingir 9 bilhões até 2050, torna o uso insustentável de recursos naturais um desafio crítico. A industrialização e urbanização, embora tenham proporcionado desenvolvimento, agravaram problemas ambientais, como o aquecimento global e a escassez de recursos, aumentando a necessidade de políticas ambientais. No Brasil, a indústria de sucos de frutas, particularmente a do abacaxi, gera subprodutos consideráveis, como a casca, rica em compostos bioativos. Este estudo avalia a pré-viabilidade econômica de uma planta de produção de bromelina a partir do processamento da casca do abacaxi, visando substituir importações e valorizar resíduos da indústria de sucos. A planta, localizada na Floresta do Araguaia no Pará, próxima aos maiores produtores de suco de abacaxi do Brasil, explora a casca como fonte de bromelina, uma enzima com amplas aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. A análise econômica considerou investimento, custos operacionais, receitas projetadas e indicadores financeiros como VPL, TIR e payback. Os resultados obtidos indicam um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 1.576.506,3, uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 13,9% e um payback de 11,8 anos, sugerindo viabilidade e contribuição para a economia circular ao transformar subprodutos em valor econômico. A produção local de bromelina não só reduziria a dependência de importações, mas também promoveria o uso eficiente de recursos naturais, alinhando-se com princípios de sustentabilidade e redução de impactos ambientais.

Palavras-chave: Bromelina. Valorização de resíduos. Abacaxi.

ABSTRACT

CHAVES 1, Luiza 1; SIGOLO 2, Lurian 2. **Estudo de Pré-Viabilidade Econômica para a produção de Bromelina a partir da casca do abacaxi.** Rio de Janeiro, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química e Química Industrial) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

The growing demand for resources, driven by a projected population increase to 9 billion by 2050, makes the unsustainable use of natural resources a critical challenge. Industrialization and urbanization, although providing development, have exacerbated environmental issues such as global warming and resource scarcity, highlighting the need for environmental policies. In Brazil, the fruit juice industry, particularly pineapple juice, generates significant by-products like the peel, which is rich in bioactive compounds. This study assesses the pre-economic feasibility of a bromelain production plant from the processing of pineapple peel, aiming to replace imports and add value to juice industry residues. The plant, located in the Araguaia Forest in Pará, near Brazil's largest pineapple juice producer, utilizes the peel as a source of bromelain, an enzyme with wide applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. The economic analysis considered investment, operating costs, projected revenues, and financial indicators such as NPV, IRR, and payback period. The results indicate an NPV of 1.576.506,3, an IRR of 13,9%, and a payback period of 11,8 years, suggesting feasibility and contribution to the circular economy by transforming by-products into economic value. Local bromelain production would not only reduce import dependence but also promote efficient use of natural resources, aligning with sustainability principles and reducing environmental impacts.

Keywords: Bromelain. Valorization of Residues. Pineapple.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1 - 10 maiores produtores de Abacaxi..... | 21 |
| Figura 2 – Estrutura morfológica de diferentes espécies do fruto..... | 23 |
| Figura 3 – Fluxograma do processamento do suco de abacaxi..... | 24 |
| Figura 4 – Fluxograma de Produtos e subprodutos do abacaxi..... | 26 |
| Figura 5 – Fluxograma de uma biorrefinaria de resíduos do abacaxi..... | 27 |
| Figura 6 – Processo de extração da bromelina..... | 31 |
| Figura 7- Diagrama de blocos dos equipamentos do processo de obtenção da bromelina..... | 35 |
| Figura 8 – Valores do Fator de Localização por país..... | 39 |
| Figura 9 – Ranking de Produção de Abacaxi no Brasil..... | 52 |
| Figura 10 – Demonstrativo de Fluxo de Caixa (DFC)..... | 60 |
| Figura 11 – Demonstração de Resultado do Exercício (DRE)..... | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| Tabela 1 - Quantidade produzida de abacaxi (mil frutos) nas regiões brasileiras..... | 22 |
| Tabela 2 – Proporção do processamento do suco de abacaxi..... | 25 |
| Tabela 3 – Aplicações da bromelina por setor da indústria..... | 29 |
| Tabela 4 – Vantagens e desvantagens dos métodos de extração e purificação da bromelina..... | 33 |
| Tabela 5 – Estimativa do investimento fixo a partir do custo dos equipamentos principais..... | 38 |
| Tabela 6 – Importação da Bromelina pelo Brasil..... | 49 |
| Tabela 7 – Projeção de demanda da Bromelina por 15 anos..... | 50 |
| Tabela 8 – Capacidade da planta de Bromelina e de Suco de Abacaxi..... | 50 |
| Tabela 9 – Produção de Abacaxi na Floresta do Araguaia e Produção de Casca Anual..... | 52 |
| Tabela 10 – Quantidade de Casca necessária para a Demanda Brasileira..... | 53 |
| Tabela 11 – Equipamentos Principais e estimativa de preço..... | 54 |
| Tabela 12 – Parâmetros do Investimento Fixo..... | 55 |
| Tabela 13 – Custos de Mão de Obra..... | 56 |
| Tabela 14 – Custos necessários para o cálculo de Custo de Utilidades..... | 59 |
| Tabela 15 – Parâmetros de Viabilidade Econômica do Projeto..... | 62 |
| Tabela 16 – Sensibilização do valor do Investimento..... | 64 |
| Tabela 17 – Sensibilização do valor da Bromelina..... | 65 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ATPE | Extração Aquosa de Duas Fases |
| CAGED | Cadastro Geral de Empregados e Desempregados |
| COMEX | Comércio Exterior |
| (Cr(VI)) | Cromo Hexavalente |
| (Cr(III)) | Cromo Trivalente |
| CD | Custos Diretos |
| CI | Custos Indiretos |
| CFP | Custos Fixos de Produção; |
| CG | Capital de Giro |
| CMP | Custos com Matéria-Prima |
| CSLL | Contribuição Social sobre o Lucro Líquido |
| CTP | Custos Totais de Produção; |
| CU | Custos de Utilidades |
| CVP | Custos Variáveis de Produção; |
| DRE | Demonstrativos de Resultado em Exercício |
| DFC | Demonstrativos Fluxo de Caixa |
| FGTS | Fundo de Garantia do Tempo de Serviço |
| FL | Fator de Localização |
| FOB | Free On Board |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDH | Índice de Desenvolvimento Humano |
| IEC | Cromatografia de troca iônica |
| IF | Investimento Fixo |
| IFT | Investimento Fixo Total |
| ISBL | Inside Battery Limits Plant Cost |
| IRPJ | Imposto sobre a renda das pessoas jurídicas |
| NBR | Norma Brasileira |
| OC | Outros Custos |
| OSBL | Outside Battery Limits Plant Cost |
| P&D | Pesquisa e Desenvolvimento |
| RAA | Resíduos do Processamento do Abacaxi |

| | |
|------|--------------------------------|
| RFAA | Resíduos do Cultivo do Abacaxi |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| TMA | Taxa Mínima de Atratividade |
| VPL | Valor Presente Líquido |

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ Somatório

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 19 |
| 2.1. | ECONOMIA CIRCULAR E A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS..... | 19 |
| 2.2. | MORFOLOGIA E PRODUÇÃO DO ABACAXI..... | 21 |
| 2.3. | SUBPRODUTOS DO PROCESSAMENTO DO SUCO DE ABACAXI..... | 23 |
| 2.4. | BROMELINA E SUAS APLICAÇÕES..... | 28 |
| 2.5. | EXTRAÇÃO DA BROMELINA..... | 30 |
| 2.5.1. | EXTRAÇÃO DA BROMELINA A PARTIR DA CASCA..... | 34 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 36 |
| 3.1. | ESTIMATIVA DO INVESTIMENTO TOTAL..... | 36 |
| 3.2. | ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO..... | 39 |
| 3.3. | DEMANDA BRASILEIRA DE BROMELINA..... | 40 |
| 3.4. | GASTOS DE PRODUÇÃO..... | 41 |
| 3.4.1. | CUSTO FIXO | 41 |
| 3.4.2. | CUSTO VARIÁVEL..... | 43 |
| 3.4.3. | IMPOSTO DE RENDA..... | 43 |
| 3.4.4. | DEPRECIÇÃO..... | 44 |
| 3.5. | ELABORAÇÃO DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS..... | 44 |
| 3.6. | VIABILIDADE ECONÔMICA..... | 45 |
| 3.6.1. | FLUXOS DE CAIXA..... | 45 |
| 3.6.2. | VALOR PRESENTE LÍQUIDO..... | 46 |
| 3.6.3. | PAYBACK DESCONTADO..... | 46 |
| 3.6.4. | TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)..... | 47 |
| 3.6.5. | TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)..... | 47 |
| 3.7. | ANÁLISE DE SENSIBILIDADE..... | 48 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE ECONÔMICA..... | 49 |
| 4.1. | ESTIMATIVA DA DEMANDA NACIONAL DE BROMELINA..... | 49 |
| 4.2. | LOCALIZAÇÃO DA PLANTA..... | 51 |
| 4.3. | QUANTIDADE DE BROMELINA GERADA..... | 52 |
| 4.4. | RESULTADOS DA VIABILIDADE ECONÔMICA..... | 53 |
| 4.4.1. | PREMISSAS..... | 53 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.2. INVESTIMENTO FIXO..... | 54 |
| 4.4.3. CUSTO DE PRODUÇÃO..... | 55 |
| 4.4.3.1. CUSTO FIXOS DE PRODUÇÃO..... | 55 |
| 4.4.3.1.1. CUSTO DE MÃO DE OBRA..... | 55 |
| 4.4.3.1.2. CUSTO DE MANUTENÇÃO..... | 57 |
| 4.4.3.1.3. CUSTO DE SEGURO..... | 57 |
| 4.4.3.1.4. CUSTOS GERAIS..... | 57 |
| 4.4.3.1.5. DESPESAS OPERACIONAIS..... | 57 |
| 4.4.3.2. CUSTOS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO..... | 58 |
| 4.4.3.2.1. CUSTOS DE MATÉRIA-PRIMA..... | 58 |
| 4.4.3.2.2. CUSTOS DE UTILIDADES..... | 58 |
| 4.5. ELABORAÇÃO DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS..... | 59 |
| 4.6. CÁLCULO DOS INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA..... | 62 |
| 4.6.1. FATORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO..... | 62 |
| 4.6.2. CÁLCULO DOS INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA..... | 62 |
| 4.6.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE..... | 64 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 67 |
| 6 REFERÊNCIAS..... | 69 |

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que até 2050 a população mundial atingirá 9 bilhões o que levará a um cenário crítico de limitação de recursos naturais. Devido ao crescimento econômico e à mudança nos padrões de consumo, o uso de recursos globais aumentou consideravelmente, tornando o modelo atual de crescimento econômico insustentável do ponto de vista ambiental. Deste modo, as indústrias extrativas são responsáveis pelas principais emissões globais de carbono, extração de recursos, consequente perda de biodiversidade e sistemas naturais (HAMAM et al., 2021). A aceleração da industrialização e da urbanização gerou oportunidades de desenvolvimento socioeconômico sem precedentes em países ao redor do mundo, mas também provocou sérios problemas ambientais, aumentando o aquecimento global e os desafios relacionados a restrições de recursos e ambientais. Gradualmente, a importância por políticas ambientais cresce (RICCIARDI et al., 2020).

Além disso, o crescimento econômico acelerado em alguns países está contribuindo para o aumento do consumo, o que resulta em impactos ambientais mais significativos, especialmente no que se refere à geração de resíduos sólidos, dada a considerável industrialização da produção (RICCIARDI et al., 2020). A produção de resíduos agrícolas, por exemplo, é diretamente proporcional à produção agrícola, sendo estes resíduos potencialmente impactantes ao meio ambiente, caso não sejam devidamente tratados. As indústrias alimentícias que se baseiam no processamento úmido de frutas, vegetais e carne são os principais geradores de resíduos na agroindústria (BIRANIA et al., 2023). As quantidades de resíduos provenientes do processamento industrial de produtos agroindustriais representam um desafio para os países produtores, uma vez que seu descarte é dispendioso e pode impactar severamente o meio ambiente. Os impactos ambientais relacionados aos resíduos derivam tanto da alta produção quanto da degradação lenta em certos casos, além da geração de subprodutos que podem ser tóxicos, acumulativos ou de difícil degradação (IPEA, 2012).

Em geral, os resíduos provenientes de campos agrícolas e indústrias de alimentos são ricos em nutrientes e não deveriam ser deixados sem processamento ou tratamento. Esses resíduos podem ser utilizados como matéria-prima para o desenvolvimento de produtos de valor agregado, geração de energia renovável, extração de compostos alimentícios e fabricação de materiais de embalagem. (BIRANIA et al., 2023).

A reutilização e a reciclagem surgem como as opções promissoras, transformando resíduos em novos recursos e exemplificando uma transição para a economia circular. A busca

por novas aplicações para resíduos agroindustriais não apenas aborda uma preocupação ambiental, já que seu descarte inadequado contribui para a poluição, mas também representa uma oportunidade para explorar novas matérias-primas de baixo custo (RICCIARDI et al., 2020). Se esses resíduos puderem ser transformados em outros produtos úteis, a poluição pode ser reduzida significativamente (BIRANIA et al., 2023).

A indústria de sucos de frutas é uma das maiores indústrias agroalimentares em todo o mundo, utilizando diversas frutas como maçãs, laranjas, pêssegos e abacaxis para a produção de sucos, o que gera uma quantidade considerável de resíduos, como cascas, frações de sementes, polpa, bagaço, caule e caroços (KANDEMIR et al., 2022). No Brasil, a indústria do abacaxi possui relevância no setor, com o país destacando-se como um dos maiores produtores mundiais da fruta, especialmente nos estados do Norte, Nordeste e Sudeste (IBGE, 2019). O processamento industrial do suco de abacaxi gera uma quantidade significativa de subprodutos, como o miolo e a casca, que geralmente representam mais de 20% da fruta, podendo corresponder a 25-35% do abacaxi, sendo a casca o subproduto predominante (KANDEMIR et al., 2022).

Esses subprodutos do abacaxi são ricos em vários compostos bioativos de importância nutricional e terapêutica. Enzimas como a bromelina, pectinase e xilanase, fibras dietéticas, ácidos orgânicos e antioxidantes fenólicos podem ser extraídas dos resíduos do abacaxi (MEENA et al., 2021). A bromelina, em particular, possui um grande potencial, sendo utilizada nas indústrias alimentícias como amaciante de carne, na clarificação de cerveja, na produção de hidrolisados de proteínas e na prevenção do escurecimento do suco de maçã (MEENA et al., 2021). Além disso, no setor farmacêutico, a bromelina oferece benefícios médicos, como propriedades anti-trombóticas e fibrinolíticas, melhora a absorção de medicamentos, modula o crescimento tumoral e auxilia no tratamento de queimaduras de terceiro grau (KETNAWA; RAWDKUEN; CHAIWUT, 2010). Na indústria cosmética, a bromelina é utilizada como ingrediente de efeito de *peeling* e tem aplicação no amaciamento e curtimento na indústria de couro e tingimento de fibras proteicas (KETNAWA; RAWDKUEN; CHAIWUT, 2010).

Entre as diversas opções para a valorização dos resíduos do abacaxi, este estudo focará a produção da bromelina. A viabilização econômica da produção de bromelina no Brasil ganha relevância diante da dependência significativa de importações dessa importante enzima. Diversos setores industriais, como alimentos, farmacêutico, cosmético e têxtil, demandam a bromelina para diversas aplicações, desde o amaciamento de carnes até a produção de produtos de cuidados com a pele. A busca por uma produção local e sustentável dessa enzima não apenas

reduziria a dependência externa, mas também contribuiria para a economia nacional, promovendo a autossuficiência na oferta desse insumo. Essa aplicação no contexto nacional resulta na importação anual de 4 toneladas de bromelina, que representa o consumo total da enzima em território brasileiro. Além disso, uma produção local poderia explorar de maneira mais eficaz os resíduos da agroindústria do abacaxi, aproveitando seu potencial econômico. Portanto, a viabilização econômica da bromelina nacional não apenas fortaleceria a indústria brasileira, mas também abriria caminho para inovações e desenvolvimentos sustentáveis em diversas áreas.

A partir dos dados extraídos, será conduzida uma análise de pré-viabilidade econômica para estimar se o projeto de uma planta de produção de bromelina a partir da casca do abacaxi será rentável. Nesse sentido, diversos aspectos devem ser considerados, incluindo o investimento necessário, através de cálculos dos custos, despesas e receitas que serão parâmetros além dos indicadores de viabilidade que serão calculados a partir destes demonstrativos como o VPL, a TIR e o payback.

Assim, essa pesquisa teve por objetivo principal avaliar as condições de viabilidade econômica da instalação e operação de uma planta industrial para produção de bromelina no Brasil a partir da casca do abacaxi, a fim de entender as potencialidades, bem como as particularidades locais deste tipo de projeto. A partir disso, surgem os objetivos específicos:

- Estimar a demanda e por conseguinte, a escala da planta industrial;
- Definir a rota tecnológica para obtenção de bromelina;
- Definir localização do projeto;
- Estimar os investimentos, custos e despesas envolvidos no projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ECONOMIA CIRCULAR E A INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

No contexto da Economia Circular, tem crescido a atenção para a utilização de subprodutos ou coprodutos. Na indústria de alimentos, o objetivo é a utilização dos resíduos como matéria-prima e a minimização dos problemas gerados com a destinação final desses materiais. Com o aumento da população mundial e a escassez existente de alimentos de alta qualidade e baixo custo, a recuperação de nutrientes de fontes atualmente desperdiçadas e sua valorização ajudarão a conter o perigo de aumentar a lacuna entre a população mundial e os suprimentos mundiais de alimentos (GÓMEZ-GARCÍA et al., 2021).

A variedade de resíduos produzidos por diferentes setores da indústria de alimentos pode ser quantificada com base na escala de produção de cada setor. O aproveitamento desses resíduos pode ser considerado complexo devido à sua instabilidade biológica, seu potencial caráter patogênico, seu elevado teor de umidade, sua propensão à rápida oxidação e ao seu elevado nível de atividade enzimática (OREOPOULOU e RUSS, 2006).

Diferentes tecnologias têm sido implementadas para a valorização de subprodutos alimentares, destacando-os como potenciais bio-recursos, pois ainda apresentam alto valor composicional e nutricional, devido à sua riqueza em moléculas funcionais e bioativas com benefícios para a saúde humana. Os subprodutos alimentares podem ser utilizados para o desenvolvimento de novos ingredientes ou produtos alimentares para consumo humano, promovendo sua valorização integral e reincorporação à cadeia de abastecimento de alimentos dentro do conceito de economia circular, criando fluxos de receita e negócios (GÓMEZ-GARCÍA et al., 2021).

A Economia Circular é definida como "um modelo de produção e consumo que envolve compartilhamento, reutilização, reparo, renovação e reciclagem de materiais e produtos existentes e a redução mínima de resíduos", contrapondo o modelo atual de desenvolvimento econômico de "pegar e descartar" com vista à sustentabilidade econômica, ambiental e social (HAMAM et al., 2021).

Uma economia circular permite superar desafios do século XXI como perda de biodiversidade, esgotamento de recursos, crescimento populacional por meio do desenvolvimento econômico e ambiental que preserva e aprimora os recursos naturais. As vantagens de uma economia circular são consequências da redução do impacto ambiental

mediante a minimização de resíduos, reformulação de produtos e escolha de materiais (HAMAM et al., 2021).

Os resíduos orgânicos e outros materiais residuais provenientes de indústrias e de residências estão adquirindo crescente importância na economia atual. Esses resíduos que já foram considerados apenas um custo estão se tornando agora um recurso valioso. Explorar todo o potencial desses recursos requer inovação e mudança sistêmica, bem como uma regulamentação e governança mais eficazes, ou seja, uma transição para uma bioeconomia sustentável (KLITKOU et al., 2019).

Na busca por um desenvolvimento econômico ambientalmente responsável, as biorrefinarias desempenham um papel crucial, oferecendo uma alternativa significativa no aproveitamento de recursos orgânicos. Uma biorrefinaria é uma instalação ou uma rede de instalações que converte biomassa, resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais em produtos de valor, contribuindo para a oferta de alternativas mais sustentáveis aos produtos convencionais, evitando a acumulação de resíduos e promovendo a economia circular (CLARK; DESWARTE, 2014).

As biorrefinarias representam uma via importante para a conversão abrangente de recursos renováveis, visando à minimização dos impactos ambientais e considerando o ciclo de vida dos produtos obtidos. Elas classificam-se de acordo com as matérias-primas utilizadas, como resíduos agroindustriais, e baseiam-se em rotas tecnológicas que fracionam, extraem, separam e convertem a matéria-prima em diversos produtos intermediários ou finais, como alimentos, produtos químicos, biomateriais e energia. Esse processo maximiza os ganhos econômicos, reduz os impactos ambientais negativos e aprimora a eficácia e a sustentabilidade das cadeias agroindustriais (CORTEZ, 2010).

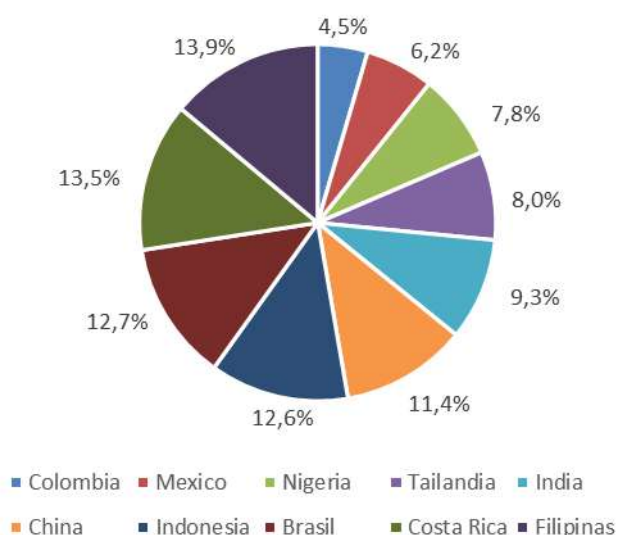
Além disso, as biorrefinarias viabilizam a substituição de recursos fósseis por recursos orgânicos renováveis na produção de materiais, possibilitando a fabricação de novos materiais com características distintas daqueles derivados de fontes fósseis. Assim, elas desempenham um papel vital na transição para uma economia sustentável, integrando princípios de eficiência de recursos, uso de biomassa renovável e redução do impacto ambiental (KLITKOU et al., 2019).

2.2. MORFOLOGIA E PRODUÇÃO DO ABACAXI

O abacaxi, do gênero *Ananas*, pertence à família Bromeliaceae, sendo cultivado em áreas tropicais e subtropicais e é amplamente consumido globalmente (LAHIRI et al., 2023; RANJAN et al., 2022).

O Brasil é um dos principais produtores globais dessa fruta, sendo considerado um dos cinco maiores produtores devido ao seu cultivo em grande escala (LAHIRI et al., 2023; RANJAN et al., 2022), embora sua participação no mercado internacional seja limitada (NETO, 2020). A Figura 1 apresenta os 10 maiores produtores do mundo, em destaque para Costa Rica, Indonésia e Filipinas.

Figura 1: Principais produtores de Abacaxi



Fonte: (FAOSTAT, 2023)

A Figura 1 apresenta os 10 maiores produtores do mundo, considerando uma produção mundial em 2023 de 19401,101 toneladas. Neste cenário, Costa Rica, Indonésia e Filipinas têm destaque (FAOSTAT, 2023). As porcentagens do gráfico para os países são corrigidas considerando 19401,101 o volume de 100%.

O Brasil possui condições ambientais e tecnológicas favoráveis que criam oportunidades significativas no setor de fruticultura, tornando-o um investimento relevante para a economia do país. Há espaço para expandir a produção de frutas internamente e aumentar nossa participação no mercado global, em destaque ao abacaxi que desempenha um papel

importante para geração de emprego, além de ser uma fonte de nutrientes e saúde para a população (NETO, 2020).

A produção de abacaxi ocorre em diversas regiões do território nacional, principalmente Norte, Nordeste e Sudeste (NETO, 2020). A cadeia produtiva do abacaxi abrange desde a plantação e colheita até o processamento e a comercialização, envolvendo, segundo dados do IBGE, 53.128 unidades de cultivo (dados de 2017) e 2.758.106 mil reais arrecadados (dados de 2022). Esse complexo sistema de produção gera empregos e estimula o desenvolvimento regional. A Tabela 1 mostra a quantidade produzida por região no país.

Tabela 1: Quantidade produzida de abacaxi (mil frutos) nas regiões brasileiras em 2021

| | Brasil (total) | Norte | Nordeste | Sudeste | Sul | Centro-Oeste |
|--------------|-----------------------|--------------|-----------------|----------------|------------|---------------------|
| Média | 1.545.036 | 535.282 | 522.721 | 387.660 | 18.602 | 80.771 |

Fonte: IBGE,2021.

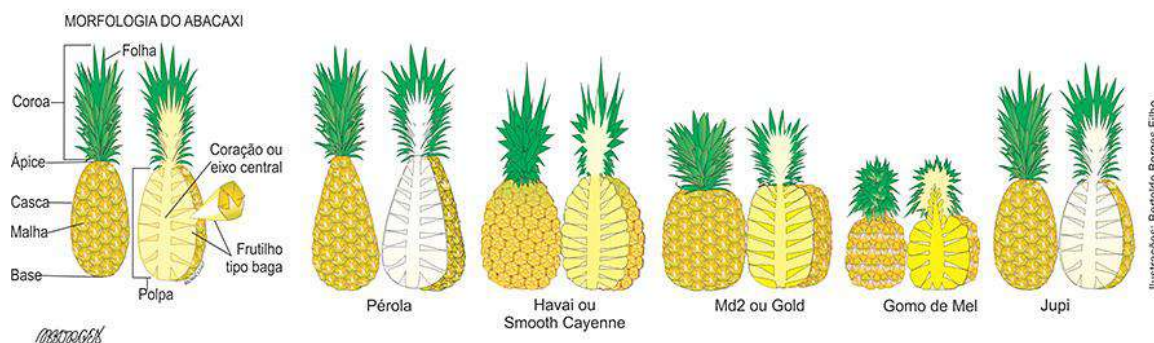
No cenário da produção de abacaxi na Região Norte, o estado do Pará assume o papel de destaque, contribuindo com uma média de 68,20% da produção regional durante o período de 2012 a 2018 (NETO, 2020). No Nordeste, o abacaxi se destaca como fruto que representou 50% da produção do setor de fruticultura na Paraíba em 2021. O estado conquistou a notável posição de cerca de 17% da produção nacional de abacaxi no mesmo ano. O estado é reconhecido como o segundo maior produtor de abacaxi no Brasil, perdendo apenas para o Pará (VIDAL, 2023). No Sudeste, Minas Gerais desempenha destaque, com 49,54% da produção total de abacaxi na Região Sudeste durante o período citado de 2012 a 2018. O Rio de Janeiro é considerado o segundo maior produtor da região (NETO, 2020).

As variedades de abacaxi mais amplamente produzidas em todo o mundo são classificadas em cinco grupos principais: Cayenne, Spanish, Queen, Pernambuco e Perola. Essas categorias se baseiam em um conjunto de características comuns como: tamanho da planta, a forma do fruto e traços morfológicos das folhas (IBGE, 2022).

As principais espécies de abacaxi predominantes no Brasil são Pérola e Smooth Cayenne. As variedades Boituva e Rondon, que eram plantadas em várias regiões do país anteriormente, foram gradualmente substituídas por essas espécies dominantes (IBGE, 2022). A estrutura padrão morfológica do abacaxi é formada por: casca, polpa, caule, coroa, núcleo, folhas e rebentão, representada na Figura 2 em comparação com as diferentes espécies.

A aplicação industrial do abacaxi envolve a produção de diversos produtos, incluindo frutas em calda, geleias, sucos, licor e vinho (TEIXEIRA, 2020). Além desses produtos, o abacaxi é amplamente utilizado na fabricação de compotas, sorvetes, e sobremesas diversas, valorizado por seu sabor característico e propriedades nutritivas.

Figura 2: Estrutura morfológica de diferentes espécies do fruto



Fonte: (CEAGESP)

Na região sudeste do Pará, encontra-se a maior fábrica de suco concentrado de abacaxi do Brasil, com uma capacidade de produção de quatro mil toneladas por mês, que realiza exportações para países da União Europeia, EUA e Mercosul (ADEPARÁ, 2017).

De acordo com as estatísticas de Comércio Exterior (2018), em 2017, foram exportadas 3.870 toneladas de abacaxi fresco e seco, além de 5.247 toneladas de suco de abacaxi. Esses números representaram menos de 1% da produção total no mesmo ano.

É importante mencionar o aumento na produção de abacaxi que implica em uma maior geração no volume de resíduos do fruto. A cada ano, o incremento da demanda de itens processados à base de abacaxi resulta em uma considerável produção de resíduos, consequentemente, em risco ambiental caso esses resíduos não sejam direcionados corretamente (SALVE e RAY, 2020).

2.3. SUBPRODUTOS DO PROCESSAMENTO DO SUCO DE ABACAXI

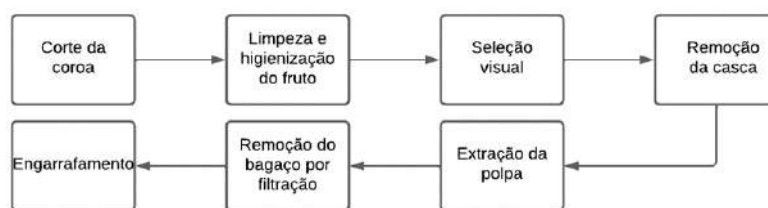
Existem dois tipos de resíduos provenientes do abacaxi, são eles: os resíduos no cultivo do abacaxi (RFAAs) e os resíduos do processamento do abacaxi (RAAs). Os RFAAs normalmente incluem folhas descartadas, raízes e talos da fazenda, enquanto os RAAs são os resíduos gerados por qualquer tipo de processamento do abacaxi, como sucos, geleias e doces (TRIPATHI et al., 2019).

Diversos resíduos são gerados nas etapas de processamento da fruta para a produção de suco. A primeira etapa do processo consiste no corte da coroa do abacaxi, seguida da higienização, que inclui uma lavagem para eliminar resíduos provenientes do solo (Figura 3). Esta lavagem é crucial para evitar contaminação ao longo do processo e danos aos equipamentos. Após a lavagem, o abacaxi é higienizado com água clorada (TORREZAN, 2000; FELLOWS, 2006; LICODIEDOFF et al., 2010).

Após higienização, a segunda etapa do processo é chamada de classificação, em que as frutas que não atendem ao padrão desejado em termos de cor ou que apresentam defeitos, como partes estragadas, são separadas e removidas. Esse processo de seleção é realizado visualmente, com o auxílio de esteiras transportadoras (TORREZAN, 2000; FELLOWS, 2006). Quando a fruta é destinada à indústria, é recomendado colhê-la quando estiver madura, com a casca mais amarela do que verde. Na terceira etapa, ocorre a separação, em que a casca é removida da polpa e essa remoção é realizada mecanicamente (TORREZAN, 2000; FELLOWS, 2006).

Em seguida, as polpas descascadas são enviadas para extração, em que se utiliza prensas hidráulicas para extrair o suco. Após a extração do suco de abacaxi, o líquido passa por um processo de filtragem para remover partículas maiores. Essa remoção de sólidos torna o suco mais claro e límpido (FELLOWS, 2006).

Figura 3: Fluxograma do processamento do suco de abacaxi



Fonte: Adaptado de (TORREZAN, 2000; FELLOWS, 2006; LICODIEDOFF, et al., 2010).

Os resíduos da produção do suco da fruta (casca, núcleo, caule e coroa), representam aproximadamente 50% do peso total do abacaxi como demonstrado na Tabela 2 sendo usados principalmente na alimentação animal e na indústria farmacêutica. Conforme destacado por Santos et al. (2021), os resíduos de abacaxi estão distribuídos em 29-40% de casca, 9-10% de núcleo, 2-6% de caule e 2-4% de coroa e têm o potencial de serem transformados em produtos de maior valor. O abacaxi é conhecido principalmente pelo seu fruto comercializável, que representa apenas 63% da planta. O restante, composto por caule, folhas, casca, coroa e talos, é considerado resíduo agrícola e não tem sido aproveitado adequadamente. O cultivo do abacaxi

em 2015 gerou em torno de 315 mil toneladas de resíduos agroindustriais na pós-colheita provenientes de empresas alimentícias ou de mercadorias, o que representa uma quantidade significativa perdida (VEGA-CASTRO et al., 2016).

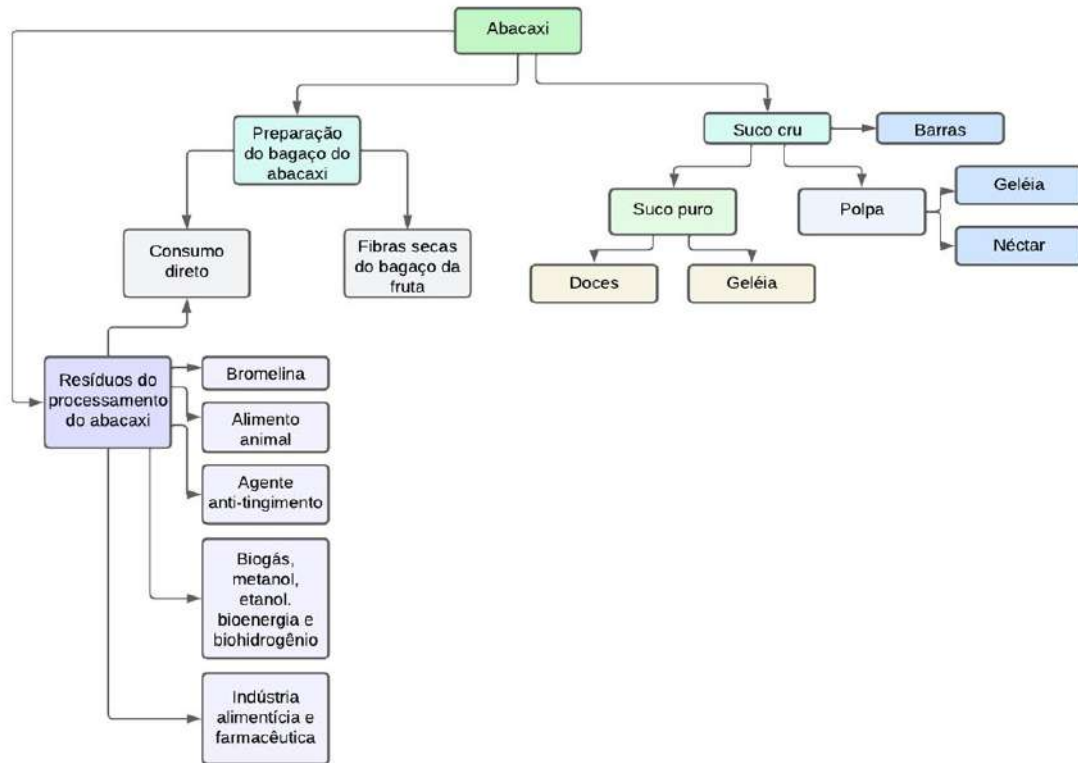
Tabela 2: Proporção do processamento do suco de abacaxi.

| Partição | Quantidade (TON/h) |
|-------------------------------|---------------------------|
| Abacaxi Inteiro | 10 |
| Polpa Comestível | 5 |
| Coroa | 1,3 |
| Casca | 3 |
| Miolo | 0,7 |
| Resíduo (miolo, casca, coroa) | 5 |

Fonte: (BANERJEE et al., 2022)

De acordo com a Figura 4, pode-se observar uma grande variedade de produtos e subprodutos derivados do abacaxi.

Figura 4: Fluxograma de produtos e subprodutos provenientes do processamento do abacaxi



Fonte: Adaptado de NATH et al., 2023.

Produtos de valor agregado do abacaxi incluem geleias, sucos, silagem, bromelina, biogás e bioetanol. Geleias e sucos aproveitam a polpa para produtos alimentícios, enquanto a silagem utiliza resíduos para alimentação animal. A biomassa do abacaxi pode ser convertida em biogás, bioetanol promovendo energias renováveis, e também extrair compostos como bromelina que é matéria-prima para a indústria alimentícia e farmacêutica. Como citado anteriormente, os resíduos contêm quantidades significativas de carboidratos, proteínas e enzimas proteolíticas, tornando-os adequados para uso na indústria na produção de bromelina, amido, fibras, álcool etílico e ração animal (BALDINI et al., 1993).

A coroa do abacaxi é um resíduo valioso. Através desse subproduto, é possível extrair nanocristais de celulose por meio de tratamentos químicos, incluindo maceração e branqueamento. O ácido ferúlico, também encontrado na coroa, pode ser convertido em ácido vanílico, usado na produção de baunilha. Além disso, a coroa serve como um bioadsorvente para remoção de cromo hexavalente (Cr(VI)) e cromo trivalente (Cr(III)), sendo uma alternativa de baixo custo para o tratamento de águas residuais (NATH et al., 2023).

A polpa extraída dos abacaxis é destinada à produção de sucos, proporcionando uma fonte natural e nutritiva para o consumo. Além disso, o bagaço do abacaxi pode ser direcionado para a produção de etanol, um biocombustível sustentável e renovável. O miolo da fruta é explorado para a extração de bromelina, utilizada na indústria alimentícia e farmacêutica. A coroa pode ser utilizada na produção de silagens, agregando valor a um componente muitas vezes descartado. Essa abordagem completa e integrada na biorrefinaria de abacaxi não apenas minimiza o desperdício, mas também maximiza o aproveitamento de cada componente da fruta, transformando o processo em uma iniciativa ecoeficiente e economicamente viável.

2.4. BROMELINA E SUAS APLICAÇÕES

A bromelina é uma enzima denominada como protease. As proteases abrangem um grupo de enzimas que catalisam a hidrólise das ligações peptídicas das proteínas (TAP et al., 2016).

Na família Bromeliaceae, o abacaxi se destaca como a principal fonte de bromelina (SILVESTRE et al., 2012). Essa enzima é naturalmente extraída do abacaxi e pode ser obtida a partir de suas partes não comestíveis, como por exemplo a casca, que geralmente são consideradas como resíduos na indústria (NOR et al., 2016), porém também é obtida de talos, polpa e folhas.

Uma das vantagens da bromelina proveniente do abacaxi é que sua concentração aumenta gradativamente até o amadurecimento, atingindo uma concentração de 800 mg/L para a casca e 500 mg/L para a polpa. Embora tenha decréscimo após a maturação, o abacaxi é o único fruto que mantém concentração de proteases consideradas altas nesse estágio, diferente do mamão e do figo (CÉSAR, 2005).

A bromelina é uma enzima com diversas aplicações em diferentes indústrias. Na indústria alimentícia, é utilizada para amaciar carnes, na produção de cerveja, panificação e prevenção do escurecimento do suco de maçã. Também é empregada na indústria cosmética em produtos de clareamento dental e cuidados com a pele, além de ser utilizada na redução de hematomas e inchaços. Na indústria farmacêutica, a bromelina é usada em medicamentos para distúrbios inflamatórios, problemas intestinais e doenças relacionadas à coagulação sanguínea, auxiliando na absorção de antibióticos, tratamento de queimaduras de terceiro grau e aplicação terapêutica para anticorpos (ABREU et al., 2019; COELHO et al., 2014; NOR et al., 2015; TAP et al., 2016). Estudos também afirmam que essa enzima tem empregabilidade em atividades anticâncer devido à sua capacidade de induzir a produção de citocinas (AMID et al., 2011),

imunização contra o vírus da influenza e tratamento de doenças alérgicas das vias respiratórias (ABREU et al., 2019). Na indústria têxtil, a bromelina é inserida no processo de fabricação de couro e é usada para melhorar as propriedades de tingimento de fibras proteicas, decompondo ou solubilizando parcialmente fibras de proteína de seda e lã (ABREU et al., 2019). Outras aplicações para essa protease incluem a produção de hidrolisados de proteínas, remoção de pelos, amaciante de fibras em detergentes (ABREU et al., 2019) e produção de álcool (TAP et al., 2016).

A Tabela 3 resume as aplicações da bromelina, demonstrando como as propriedades enzimáticas da bromelina têm contribuído para o desenvolvimento de múltiplas aplicações, desde a indústria alimentícia até a farmacêutica, cosmética, têxtil e outras áreas.

Tabela 3: Aplicações da bromelina por setor da indústria

| Segmento da Indústria | Aplicações da Bromelina |
|--------------------------------------|---|
| Alimentício | Amaciamento de carne, produção de cerveja, panificação, prevenção do escurecimento do suco de maçã, clarificação de cerveja, suplemento alimentar. |
| Cosmético | Clareamento dental, cuidados com a pele (tratamento de acne, rugas, pele seca), redução de hematomas e inchaços após injeções. |
| Farmacêutico | Medicamentos para distúrbios inflamatórios, problemas intestinais, coagulação sanguínea, absorção de antibióticos, tratamento oral para queimaduras de terceiro grau, aplicação terapêutica para anticorpos, atividades anticâncer. |
| Têxtil | Fabricação de couro, melhoria das propriedades de tingimento de fibras proteicas, decomposição ou solubilização parcial de fibras de proteína de seda e lã. |
| Outras Aplicações Industriais | Produção de hidrolisados de proteínas, remoção de pelos, amaciante de fibras em detergentes, produção de álcool. |

Fonte: Elaboração Própria.

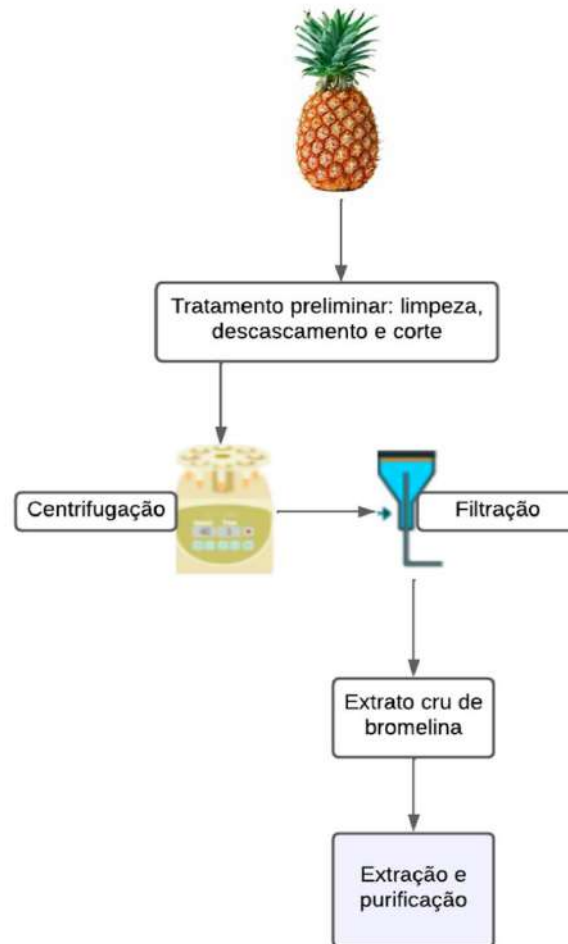
2.5. EXTRAÇÃO DA BROMELINA

A produção comercial de bromelina utilizando o abacaxi como matéria-prima consiste em várias etapas. Dentre estas têm-se: extração, purificação, secagem e acondicionamento na forma de pó (NOR et al., 2015).

Ao se analisar os aspectos econômicos e técnicos, a etapa de purificação representa entre 70% e 90% do custo total de produção (SOARES et al., 2012), sendo considerada a etapa determinante no processo.

Um dos exemplos do processo de extração da bromelina foi demonstrado Chakraborty et al. (2021) e envolve a mistura dos resíduos, bagaço, casca e o miolo de abacaxi com um tampão fosfato (50 mM, pH 7.0) na proporção de 1:1 (peso/peso) por 60 segundos (Figura 6). O líquido é separado do resíduo sólido em um tanque de filtração, seguido de centrifugação a 10 °C por 10-15 minutos a 4500 rpm para remover os sólidos em suspensão e obter um extrato enzimático claro e rico em bromelina. Etanol (95% v/v) é adicionado ao extrato rico em enzimas na proporção de 1:5 (v/v) e mantido em repouso durante a noite para precipitação da enzima bromelina. A enzima precipitada é filtrada e posteriormente liofilizada.

O extrato é encaminhado para outra corrente para a valorização de seu conteúdo de celulose e hemicelulose, como produção de etanol e xilose.

Figura 6: Processo de extração da bromelina

Fonte: Adaptado de CHAKRABORTY et al.,2021.

Para que o processo seja rentável, é necessário que a purificação seja econômica, rápida e de alto rendimento (BALA et al., 2012). Diferentes operações têm sido testadas para aumentar a pureza e a atividade das preparações enzimáticas da bromelina (AMID et al., 2011), como a cromatografia de troca iônica, fracionamento com sulfato de amônio, sistemas aquosos de duas fases e também filtração por membrana (NOR et al., 2015).

A extração líquido-líquido, se apresentou como um método com potencial para reduzir o número de estágios necessários para o processo e ser menos custoso (FERREIRA et al., 2011). Esse processo tem aplicação em bioseparação devido à sua eficiência no fracionamento de misturas contendo proteínas, eliminando subprodutos indesejados, como polissacarídeos, pigmentos e proteínas que podem diminuir a atividade de uma enzima (ABREU e FIGUEIREDO, 2019).

O sistema micelar reverso é uma técnica de extração líquido-líquido de biomoléculas a partir de soluções diluídas. Foi demonstrado fornecer condições excepcionais para a separação de proteínas. Algumas das vantagens obtidas com o uso do RMS incluem maior capacidade de carga de amostras, operação simples e preparação contínua (DONG et al., 1999).

O processo de extração aquosa de duas fases (ATPE) é outro exemplo de extração líquido-líquido em uma solução aquosa através da combinação de polímeros hidrofílicos ou polímeros e sais. Esse método é usado na extração de substâncias de origem biológica, como proteínas, e permite a separação da proteína desejada de outras impurezas através da centrifugação. O ATPE depende de vários fatores, incluindo as propriedades das moléculas a serem separadas e as condições do sistema, como pH e força iônica (ABREU e FIGUEIREDO, 2019).

Para separação da bromelina do abacaxi, múltiplas técnicas têm sido estudadas para o melhor desempenho, em destaque para a cromatografia de membrana de afinidade, eletrocromatografia capilar e cromatografia de troca iônica. A cromatografia baseia-se em um método de separação de componentes de uma mistura de acordo com a velocidade com que se movem pela ação de uma fase móvel através de uma fase estacionária (ABREU e FIGUEIREDO, 2019).

Outro método de separação é a precipitação que pode ser aplicado em larga escala e na purificação de proteínas a partir de soluções diluídas. O processo se inicia pela adição de um sal, por exemplo, o sulfato de amônio amplamente usado na precipitação de proteínas em uma forma parcialmente purificada, um solvente orgânico como etanol, cetonas, metanol, propanol ou pela alteração do pH para modificar a natureza da solução (ABREU e FIGUEIREDO, 2019).

A extração da bromelina pela precipitação química geralmente inclui sulfato de amônio a 50%, acetona a 80% e etanol a 60% (CAMPOS et al., 2017). A utilização do etanol no processo apresenta limitações em relação ao aumento da temperatura, tornando essencial um controle mais rigoroso do processo. Esse aspecto acaba por reduzir as vantagens associadas ao uso do etanol (COELHO et al., 2014). A precipitação tem várias vantagens, como baixo consumo de energia (ARSHAD et al., 2014), concentração elevada do produto, aplicação em diferentes escalas, baixo custo da operação contínua devido à eficiência na utilização de recursos, a redução de tempos de parada e a otimização dos processos, equipamentos simples e variedade de agentes precipitantes (ABREU e FIGUEIREDO, 2019). Nesse processo o limitante é o uso de altas concentrações de sal ou solventes em que o descarte é prejudicial ao meio ambiente, por isso, é necessário que sejam recuperados (CAMPOS et al., 2017). No caso

do sulfato de amônio, devido a sua alta solubilidade, sua recuperação é considerada difícil, de modo a impactar no custo do método (CAMPOS et al., 2017).

A bromelina também pode ser extraída do extrato bruto de abacaxi usando processos de membrana. A tecnologia de membranas é uma das técnicas mais importantes na indústria de extração de bromelina, pois oferecem grandes vantagens, como alto rendimento, facilidade de ampliação e amigável ao meio ambiente (NOR et al., 2016). A micro e ultrafiltração têm ganhado popularidade recentemente nos processos de bioseparação (Bala et al., 2012).

A Tabela 4 sintetiza as principais técnicas de separação e concentração e compara as vantagens e desvantagens apresentadas por cada uma delas.

Tabela 4: Vantagens e desvantagens dos métodos de extração e purificação da bromelina.

| Método | Vantagens | Desvantagens |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Extração aquosa em duas fases (ATPE) | <ul style="list-style-type: none"> • Facilidade de operação • Custo baixo | <ul style="list-style-type: none"> • Alto teor de sais • Aplicabilidade industrial |
| <ul style="list-style-type: none"> • Cromatografia de troca iônica (IEC) | <ul style="list-style-type: none"> • Condições de operação amenas • Baixa energia necessária | <ul style="list-style-type: none"> • Difícil otimização • Alta concentração de precipitante |
| <ul style="list-style-type: none"> • Precipitação | <ul style="list-style-type: none"> • Várias alternativas de precipitante • Alto rendimento de produto • Aplicação em larga escala | <ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade para recuperar o precipitante • Maior controle do processo |
| <ul style="list-style-type: none"> • Fitração por membranas | <ul style="list-style-type: none"> • Benéfico para o meio ambiente • Aplicável em diferentes escalas • Alta seletividade | <ul style="list-style-type: none"> • Entupimento das membranas • Difícil de controlar variações uniformemente |

Fonte: Adaptado de ABREU et al., 2019.

2.5.1. EXTRAÇÃO DA BROMELINA A PARTIR DA CASCA

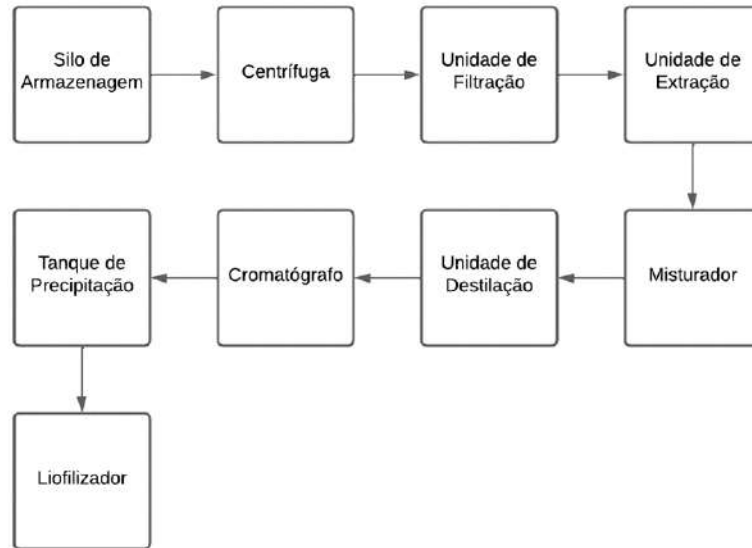
Um exemplo de processo de extração de bromelina a partir da casca de abacaxi é proposto por Bresolin et al. (2012). O processo se inicia com a armazenagem da matéria-prima em um silo. A casca do abacaxi é então moída e enviada para a centrífuga, onde é submetida a $8000\times g$ a $4^{\circ}C$ por 30 minutos para separar os sólidos dos líquidos (BRESOLIN et al., 2012).

Após a centrifugação, o líquido obtido passa por uma unidade de filtração para remover impurezas. Em seguida, a extração das proteínas é realizada através da precipitação com sulfato de amônio (40-80% de saturação), resultando em um rendimento de 80%. O precipitado é então dissolvido em tampão fosfato de potássio, formando uma solução que é continuamente misturada no misturador (BRESOLIN et al., 2012).

Essa mistura é encaminhada para a unidade de destilação, onde os solventes são removidos e a solução de bromelina é concentrada. Após a destilação, a solução é submetida a um processo de purificação por cromatografia de troca iônica, alcançando um rendimento de purificação de 75% (BRESOLIN et al., 2012).

Em seguida, a solução purificada é enviada para um tanque de precipitação para remover proteínas indesejadas. A fase final do processo é a liofilização, onde a solução de bromelina é congelada e seca no liofilizador, resultando no produto final em pó (BRESOLIN et al., 2012). O diagrama de blocos dos equipamentos do processo é apresentado na Figura 7:

Figura 7: Diagrama de blocos dos equipamentos do processo de obtenção da bromelina



Fonte: Elaboração Própria

3 METODOLOGIA

Para realizar o estudo de pré-viabilidade econômica da produção de bromelina a partir da casca de abacaxi, serão considerados diversos parâmetros relacionados à disponibilidade de matéria-prima, processos de extração da enzima e custos associados à produção. A seguir, descreve-se os passos que serão seguidos, bem como a relação com as tabelas pertinentes:

-Estimativa de Demanda de Bromelina: Foi realizada uma análise do volume de importação de bromelina nos últimos anos, a fim de estabelecer a demanda atual e futura no mercado. Além disso, foram levantados dados sobre o volume de produção de abacaxi na região escolhida e a quantidade gerada de casca como resíduo do processo de suco.

-Estimativa de Custos e Despesas: Foram estimados os custos de produção, abrangendo custos diretos (matérias-primas, energia, mão-de-obra) e indiretos (manutenção, seguros). Por fim, foram calculadas as despesas operacionais, que envolvem todos os custos recorrentes para manter a planta em funcionamento eficiente.

-Modelagem Financeira: Com base nos dados levantados foi desenvolvido um modelo financeiro para avaliar a viabilidade econômica da produção de bromelina. Foram calculados indicadores financeiros, como TIR, VPL e PAYBACK, para determinar a atratividade do investimento.

Por meio dessa metodologia, buscou avaliar a viabilidade pré-econômica da produção de bromelina a partir da casca de abacaxi na região escolhida no tópico 4.2. considerando a disponibilidade de matéria-prima, os processos de extração da enzima e os custos associados à produção.

3.1. ESTIMATIVA DO INVESTIMENTO TOTAL

O investimento total para realização de um projeto é composto por duas parcelas: investimento fixo e capital de giro.

O investimento de capital fixo é o custo total de projetar, construir e instalar uma planta, até as modificações necessárias no local da planta. Esse investimento inclui o investimento dentro dos limites da bateria (ISBL) que corresponde ao custo da planta e modificações e melhorias na infraestrutura do local e o investimento fora dos limites (OSBL), custos de engenharia e construção e encargos de contingência (TOWLER e SINNOTT, 2008).

O custo da planta ISBL abrange a aquisição e instalação de equipamentos de processo, obras civis, e custos diretos no campo, como equipamentos principais, materiais a granel, e instalação. Já os custos indiretos no campo englobam despesas de construção, serviços, seguros, benefícios trabalhistas e diversos custos adicionais. Essa abordagem abrange os gastos totais relacionados à criação da planta e suas modificações, sendo essencial para análises econômicas preliminares (TOWLER e SINNOTT, 2008).

O investimento OSBL (fora dos limites do local) abrange os custos necessários para adaptar a infraestrutura do local à instalação de uma nova planta ou ao aumento da capacidade de uma planta existente. Isso inclui diversas áreas, como instalações elétricas, geração de energia, tratamento de água e efluentes, separação de ar, entre outros (TOWLER e SINNOTT, 2008).

Os custos de engenharia abrangem os gastos associados ao design detalhado, serviços de aquisição, supervisão de construção e encargos administrativos necessários para a execução do projeto, incluindo engenharia detalhada de equipamentos e sistemas, aquisição de itens principais, supervisão de construção, despesas administrativas, fiança e lucro do contratante.

As taxas de contingência representam custos adicionais incluídos no orçamento do projeto para acomodar variações em relação à estimativa de custos. Devido às estimativas de custos serem incertas, e ao custo final de muitos itens ser determinado apenas após a conclusão da instalação, as taxas de contingência desempenham um papel importante na correção de erros nas estimativas, devido a possíveis mudanças no escopo do projeto e variações nos preços de materiais. (TOWLER e SINNOTT, 2008).

Um dos parâmetros mais importantes do investimento total é conhecido como capital de giro, que engloba os recursos financeiros necessários para iniciar e manter em operação a instalação. Esses fundos são essenciais durante toda a operação e são recuperados ao final da vida útil do projeto. Em outras palavras, esse custo específico é registrado como uma saída no primeiro fluxo de caixa e reaparece como uma entrada no último (TOWLER e SINNOTT, 2013).

De acordo com Tower e Sinnott (2013), o capital de giro pode variar de 5% do valor do investimento fixo para projetos simples, até 30% para projetos de maior complexidade. Sendo assim, foi adotado o valor de 5% do investimento fixo inicial para a estimativa do capital de giro. A produção de bromelina a partir da casca do abacaxi utiliza matérias-primas que são subprodutos do processamento do abacaxi, o que reduz significativamente os custos com insumos. A utilização de tecnologias e processos bem estabelecidos e a facilidade de acesso aos

equipamentos necessários também contribuem para a simplicidade e eficácia da operação, tornando o investimento menos complexo em termos de gestão e operação financeira.

Para estimar o Investimento Fixo, é necessário utilizar uma metodologia preditiva que permita calcular os demais parâmetros e determinar o Investimento Total. Um método amplamente utilizado é o descrito por Peter e Timmerhaus (1991), que estima o investimento fixo com base no custo total dos equipamentos principais. Este mesmo método foi aplicado por Wang et al. (2020), ajustando as faixas percentuais de cada componente do investimento fixo conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Estimativa do investimento fixo a partir do custo dos equipamentos principais

| Custos | Faixa percentual correspondente (%) |
|-----------------------------------|--|
| I - Custos Diretos (CD) | |
| Compra de Equipamentos | 100% |
| Instalação | 35% |
| Tubulações | 31% |
| Instrumentação | 13% |
| Isolamento | 5% |
| Elétrica | 10% |
| Edifícios | 10% |
| Área Externa | 9% |
| Instalações auxiliares | 10% |
| II - Custos Indiretos (CI) | |
| Engenharia | 32% CD |
| Construção | 34% CD |
| III - Outros Custos (OC) | |
| Contratante | 5% (CD + CI) |
| Contingência | 10% (CD + CI) |
| INVESTIMENTO FIXO (IF) | (CD + CI + OC) |
| CAPITAL DE GIRO (CG + IF) | 5% IF |
| INVESTIMENTO TOTAL (IFT) | (IF + CG) |

Fonte: adaptado de WANG et al., 2020

Com o objetivo de estabelecer a instalação da planta no território brasileiro, é utilizado o fator de localização (FL), que tem a função de corrigir os valores considerando as diferenças de custos decorrentes da localização da planta a ser instalada em comparação com a planta referência. Empregamos o fator de localização (FL) de 1,14, conforme Figura 8 fornecida por TOWLER e SINOTT e demonstrada a seguir:

Figura 8: Valores do Fator de Localização por país

Table 6.7. Location Factors

| Country | Region | Location Factor |
|----------------|---------------|-----------------|
| United States | Gulf Coast | 1.00 |
| | East Coast | 1.04 |
| | West Coast | 1.07 |
| | Midwest | 1.02 |
| Canada | Ontario | 1.00 |
| | Fort McMurray | 1.60 |
| Mexico | | 1.03 |
| Brazil | | 1.14 |
| China | imported | 1.12 |
| | indigenous | 0.61 |
| Japan | | 1.26 |
| SE Asia | | 1.12 |
| Australia | | 1.21 |
| India | | 1.02 |
| Middle East | | 1.07 |
| France | | 1.13 |
| Germany | | 1.11 |
| Italy | | 1.14 |
| Netherlands | | 1.19 |
| Russia | | 1.53 |
| United Kingdom | | 1.02 |

Fonte: Towler; Sinnott, 2013.

3.2. ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO

Uma etapa crucial é a definição da localização da planta, pois isso influencia toda a logística de produção, distribuição e os custos associados a esses processos.

A definição da localização da planta também acarreta a determinação dos custos relativos ao transporte de matérias-primas, ao frete do produto final, ao estoque e ao armazenamento, aspectos cruciais para a viabilidade econômica de qualquer empreendimento comercial.

A localização da planta tem como objetivo principal a redução dos custos logísticos, especialmente os relacionados ao transporte de matéria-prima e produto final. Conforme destacado por (BALLOU, 2007), há uma tendência de decréscimo nos custos de transporte à medida que a distância diminui, o que direciona a instalação para áreas próximas aos

fornecedores ou aos consumidores finais. Dessa forma, o primeiro passo na análise é compreender geograficamente os potenciais fornecedores de cascas de abacaxi.

Adicionalmente, é crucial analisar os fatores que influenciam a escolha entre proximidade aos fornecedores ou aos consumidores, como a relação mássica entre matéria-prima e produto acabado, conforme categorizado por (BALLOU, 2007):

- Perda de massa no processo: quando a massa da matéria-prima é maior que a do produto acabado, a planta deve estar próxima aos fornecedores para minimizar custos de transporte.
- Ganho de massa no processo: quando a massa da matéria-prima é menor que a do produto acabado, a localização ideal é próxima aos consumidores finais.
- Equivalência de massa: quando não há diferença significativa entre a massa da matéria-prima e do produto acabado, como no caso de montadoras, a escolha da localização não é claramente orientada para fornecedores ou consumidores.

O custo de construção de uma planta para extração de bromelina a partir da casca do abacaxi em qualquer localidade dependerá de diversos fatores interligados. A escolha da localização é crucial, impactando não apenas na infraestrutura local de fabricação e construção, mas também na disponibilidade e custo da mão de obra necessária. Além disso, a natureza e a fonte da matéria-prima, as cascas de abacaxi, e sua localização geográfica influenciam diretamente nos custos de transporte até a planta. Essa decisão estratégica também considera o mercado consumidor, tanto local quanto internacional, influenciando a logística de distribuição e os custos associados ao produto final.

3.3. DEMANDA BRASILEIRA DE BROMELINA

A projeção da demanda interna de um insumo desempenha um papel crucial no planejamento estratégico das indústrias, permitindo a adequação da produção para atender às necessidades do mercado local. No entanto, a exportação também desempenha um papel importante ao proporcionar oportunidades de expansão para além das fronteiras nacionais. A diversificação de mercados por meio da exportação não apenas reduz a dependência exclusiva da demanda interna, mas também contribui para a estabilidade financeira, mitigando os impactos de flutuações sazonais ou recessões locais (SMITH, 2023).

Em 2023, apenas 4,9 toneladas da enzima foram importadas, com um valor médio FOB de aproximadamente US\$ 32,00 por quilograma. Ao longo dos últimos cinco anos, a média

anual de importação brasileira de bromelina foi de 4,4 toneladas, com um valor FOB médio de US\$ 50.520,14 por tonelada (COMEX do Brasil, 2023).

Para estimar a demanda de bromelina no Brasil, utilizaram-se os dados de importação, uma vez que não há registro de exportação ou produção interna significativa dessa enzima. A projeção do crescimento anual da demanda foi baseada na pesquisa de mercado global disponível em Transparency Market Research (2024), que fornece uma análise detalhada sobre o mercado de bromelina, suas tendências e previsões de crescimento. Segundo essa fonte, o mercado global de bromelina apresenta um crescimento de 4,5% ao ano, o que permite estimar a demanda nacional, alinhando-se às tendências observadas internacionalmente.

3.4. GASTOS DE PRODUÇÃO

Os custos de produção de uma planta compreendem os custos variáveis que flutuam de acordo com a taxa de produção, os custos fixos que permanecem constantes independentemente da quantidade produzida pela planta, e despesas gerais, relacionadas à manutenção e atividades administrativas não diretamente ligadas à produção (TURTON, 2012).

3.4.1. CUSTO FIXO

Os custos fixos são aqueles ligados à produção, porém permanecem constantes independentemente da taxa de produção. Incluem-se neles a mão de obra e supervisão, despesas de manutenção, taxas e seguros, aluguel do terreno (quando não adquirido), encargos ambientais, bem como os custos relacionados a marketing e vendas (TOWLER e SINNOTT, 2013).

Os custos de mão-de-obra incluem os salários e benefícios pagos aos colaboradores que operam na planta. Os funcionários são categorizados como operadores, que trabalham em turnos diretamente no processo, e supervisores/administradores, que atuam em horário comercial (TOWLER e SINNOTT, 2013). Em fábricas que operam em regime de turnos, os operadores trabalham 48 semanas por ano, considerando 4 semanas de férias, operando 8 horas diárias, 5 dias por semana, totalizando 240 turnos de operação por ano (48 semanas/ano multiplicadas por 5 turnos/semana) (SEBRAE, 2023). Os supervisores e gerentes, por outro lado, seguem horários comerciais e são responsáveis pela supervisão das operações em várias instalações simultaneamente. Para calcular o custo total da mão-de-obra por turno, os custos de supervisão são estimados em cerca de 25% do total dos salários dos operadores (CHAUVEL FOURNIER, RAIMBAULT, 2003).

Para estimar o total de funcionários foi utilizado o cálculo de uma planta operando 24 horas por dia, com necessidade de 3 turnos por dia. Considerando uma operação de 300 dias por ano, são necessários 900 turnos de operação por ano (300 dias de operação/ano multiplicados por 3 turnos/dia).

Após calcular o número de operadores necessários, e o valor de seus salários, deve-se considerar os encargos trabalhistas, que incluem férias, décimo terceiro salário, Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), licenças, adicionais, vale-transporte e outros benefícios, o que corresponde a 53,80% do salário nominal (CAVALCANTE, 2020).

A manutenção abrange os custos necessários para garantir o funcionamento adequado da planta, incluindo despesas com substituição de peças ou equipamentos e mão-de-obra especializada para reparos (TOWLER e SINNOTT, 2013).

Estes custos, conforme destacado por Chauvel, Fournier e Raimbault (2003), são comparáveis aos valores investidos na construção da unidade, sendo vistos como uma renovação do investimento nas unidades de produção e nas unidades que apoiam suas operações. O custo de manutenção anual foi estimado em uma faixa de 2% do investimento fixo total, conforme recomendado por Peters e Timmerhaus (2003).

O custo de seguro, geralmente contratado com uma seguradora especializada, é essencial para qualquer planta industrial, cobrindo danos causados por acidentes, condições climáticas adversas ou outros fatores que possam afetar equipamentos e resultar em perdas de produtos, incluindo matérias-primas e produtos acabados. Dada a complexidade da determinação desse valor, Towler e Sinnott (2013) sugerem o valor de 1% do investimento fixo, estimativa utilizada para o cálculo deste projeto.

As despesas operacionais podem ser divididas em três categorias associadas ao projeto: Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), marketing e vendas, e despesas administrativas.

Os gastos com P&D englobam o processo de desenvolvimento de novas tecnologias e produtos na indústria. Essas despesas variam significativamente dependendo da natureza das atividades da empresa, oscilando entre 1% da receita para empresas petroquímicas e 15% para as farmacêuticas.

Os custos com marketing e vendas correspondem às despesas relacionadas à aquisição de novos clientes, divulgação do produto e pesquisa de mercado. Para produtores com baixa diversificação, como os de commodities, essa parcela de gastos tende a ser insignificante, mas pode representar até 5% do custo total de produção para produtos altamente sofisticados (TOWLER e SINNOTT, 2013).

Como uma estimativa inicial para as despesas operacionais, será utilizado o valor de 65% dos custos com mão-de-obra, conforme sugerido por Towler e Sinnott (2013).

3.4.2. CUSTO VARIÁVEL

Os custos variáveis de produção flutuam conforme a taxa de produção da planta. Em outras palavras, quando a demanda diminui, esses custos também diminuem. Dentro dessa categoria, estão os gastos relacionados diretamente à produção, tais como os custos de aquisição de matéria-prima, os custos de utilidades e os custos com consumíveis (TURTON, 2012).

Na indústria, os custos variáveis de produção, como os de matéria-prima, geralmente representam a maior parcela. Determiná-los envolve calcular o preço unitário de aquisição e multiplicá-lo pela quantidade necessária, com desafios na obtenção de um preço confiável. Os custos de logística dependem da localização da origem da matéria-prima e da planta de destino, enquanto os custos com consumíveis incluem produtos químicos e solventes.

Os custos de utilidades abrangem o consumo de todos os serviços auxiliares necessários ao processo, como combustíveis, energia elétrica, vapor, água de resfriamento, água de processo, gases inertes e sistemas de refrigeração (TOWLER e SINNOTT, 2013).

Esses serviços podem ser adquiridos de diversas formas: por meio de compra direta de empresas públicas ou privadas, onde o custo está diretamente relacionado ao consumo; fornecidos por uma empresa externa que atende a várias empresas, refletindo-se nas taxas tributadas no custo fixo ou operacional; ou fornecidos pela própria empresa em suas unidades de processamento, onde o custo de capital para a compra e instalação dos equipamentos se torna parte do custo fixo.

De acordo com Towler e Sinnott (2013), os custos com utilidades representam no máximo 15% do custo total de produção, sendo essa estimativa escolhida para cálculo.

3.4.3. IMPOSTO DE RENDA

O Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ) é destinado a empresas brasileiras, cuja alíquota pode chegar a 34% incidente sobre o lucro real, dependendo da atividade desenvolvida e do porte do negócio. Essas empresas também estão sujeitas ao (IPR), onde a alíquota consiste em 15% sobre o lucro apurado, com uma alíquota adicional de 10% para lucros superiores a R\$ 20.000,00, além da tributação de 9% do lucro líquido para contribuição social (CSLL).

3.4.4. DEPRECIACÃO

Os encargos de depreciação são o tipo mais comum de dedução fiscal usada pelos governos como incentivo ao investimento. A depreciação é um encargo não monetário relatado como uma despesa, o que reduz a receita para efeitos fiscais, mas não representam uma saída de caixa. É caracterizada como a desvalorização de ativos ao longo dos anos e representam uma espécie de reserva para reposição ou substituição dos equipamentos. A depreciação é calculada com base no investimento fixo, sendo entendida como a desvalorização (física, tecnológica etc.) dos ativos de uma empresa (SMITH, 2023).

Para o projeto de extração de bromelina pela casca do abacaxi, foi adotada uma taxa de depreciação de 10% devido à natureza dos equipamentos envolvidos no processo de extração. Esta taxa foi escolhida com base na estimativa de vida útil dos equipamentos específicos utilizados na separação e processamento da bromelina, levando em conta o desgaste físico ao longo do tempo. Essa medida visa assegurar uma reserva adequada para a reposição ou atualização dos equipamentos conforme necessário, mantendo a eficiência operacional do projeto a longo prazo.

3.5. ELABORAÇÃO DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS

Após o cálculo do investimento total da planta e identificação de todos os custos fixos e variáveis, deve-se determinar premissas relacionadas à taxa de ocupação, projeção da construção, início da produção e horizonte de operação. Estas premissas são essenciais para a elaboração das demonstrações contábeis, como a Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) e a Demonstração do Fluxo de Caixa (DFC), que servirão de base para a aplicação dos métodos de análise de pré-viabilidade econômica do projeto.

Seguindo um cronograma de inicialização para uma planta de bromelina, como proposto por Barnejee et al (2022), no primeiro ano são realizados os trabalhos de engenharia e detalhamento do projeto, representando 60% do investimento fixo. No segundo ano, concentram-se as atividades de aquisição e construção, correspondendo aos 40% restantes.

No cenário base, a planta operará em sua capacidade máxima de 100% a partir do terceiro ano, para avaliar a viabilidade econômica no cenário mais otimista. O horizonte de planejamento será de 15 anos, com os dois primeiros anos dedicados à construção da unidade e o início da operação a partir do terceiro ano. Assim, considera-se um período de depreciação de 13 anos para a unidade.

3.6. VIABILIDADE ECONÔMICA

A avaliação de critérios econômicos, como fluxo de caixa, VPL, TIR e Payback, visa analisar a viabilidade econômica de um projeto. Ao considerar múltiplas alternativas econômicas, é necessário compará-las para determinar a mais adequada para resolver o problema em questão (CASAROTTO et al, 2008).

De acordo com a NBR 14653-4 (ABNT, 2002, p.11), “o resultado final das análises de viabilidade econômica pode ser expresso sob a forma de taxas internas de retorno, valor presente líquido, custo anual, períodos de recuperação (payback) e índices de lucratividade.” Esses indicadores permitem medir a eficácia dos investimentos e orientam o empreendedor na tomada de decisões sobre a viabilidade do empreendimento (LIMA JUNIOR, 1998).

3.6.1. FLUXOS DE CAIXA

O fluxo de caixa representa a previsão, o controle e o registro de entradas e saídas financeiras durante um determinado período, fornecendo informações financeiras detalhadas de um empreendimento. Além de registrar as transações passadas, o fluxo de caixa abrange uma análise profunda das fontes e usos de recursos financeiros ao longo do tempo, bem como previsões futuras. Compreender detalhadamente o fluxo de caixa permite que as empresas identifiquem padrões de gastos, antecipem momentos de pressão financeira e implementem estratégias para otimizar a gestão de caixa, contribuindo para a sustentabilidade financeira e a capacidade de investimento (PIVETTA, 2012).

Além disso, o fluxo de caixa auxilia na identificação de concentrações de pagamentos e recebimentos, padrões de sazonalidade nas vendas, e na avaliação da eficácia das políticas de marketing e promoções. Também é fundamental para compreender a estrutura de custos e despesas fixas, distinguir os controles pessoais dos controles da empresa, determinar a necessidade de remuneração pelo trabalho do empreendedor, avaliar os efeitos dos tributos e desenvolver uma noção clara de passivos e obrigações. Esses elementos proporcionam uma visão abrangente e aprofundada do ambiente financeiro, permitindo que a empresa tome decisões informadas e estratégicas para alcançar seus objetivos (PIVETTA, 2012).

O fluxo de caixa representa o movimento financeiro global de uma empresa, detalhando as entradas e saídas de recursos devido às operações, investimentos e atividades de financiamento. Durante um projeto, o fluxo de caixa inicial é negativo, cobrindo custos de

engenharia, aquisição de equipamentos e construção. À medida que a planta começa a operar, as receitas da venda do produto geram um fluxo de caixa positivo, quando a receita supera os custos (TOWLER e SINNOTT, 2008).

3.6.2. VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O Valor Presente Líquido (VPL) é um conceito utilizado para trazer os fluxos de caixa futuros de um projeto para o seu valor presente, com base na Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que representa o retorno mínimo esperado para o investimento. O cálculo do VPL é realizado pela seguinte equação:

$$VPL = \sum_{N=0}^j \frac{FC}{(1+TMA)^j} \quad (1)$$

Sendo:

TMA - Taxa mínima de atratividade

j - Horizonte de planejamento (j = 0 até j=n, sendo n = período de existência do projeto)

FC - Fluxo de caixa para o período de planejamento

Para determinar a viabilidade econômica de um projeto, o Valor Presente Líquido (VPL) precisa ser igual ou superior a zero. Isso indica que o retorno esperado foi alcançado, no caso de um VPL igual a zero, ou excedeu esse valor, para qualquer montante positivo (TOWLER e SINNOTT, 2008).

3.6.3. PAYBACK DESCONTADO

O período de recuperação ou Payback tem como intuito estimar o tempo necessário para recuperar o investimento realizado. Esse valor é medido pela taxa mínima exigida de juros ou custo de capital (LIMA JUNIOR, 1998). O modelo matemático pode ser visualizado abaixo:

$$\sum_{T=0}^{PBD} \frac{FC_t}{(1+k)^j} = 0 \quad (2)$$

Onde:

FC_t - Fluxo de caixa para o período de planejamento

k – Taxa mínima de juros

t – Período de retorno ou payback

3.6.4. TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)

A taxa mínima de atratividade (TMA) é a maior taxa de juros que pode ser obtida na melhor alternativa de investimento, representando o custo de oportunidade do projeto de investimento de capital próprio. Em outras palavras, é a taxa mínima que um investidor estaria disposto a receber em uma aplicação financeira. Em geral, a TMA é calculada utilizando-se a taxa de retorno que poderia ser obtida em uma alternativa de investimento de risco similar ou próxima ao projeto em questão (TOWLER e SINNOTT, 2008).

No presente estudo, foi adotado o percentual de TMA equivalente a 12% ao ano, considerando que o Tesouro Prefixado, um dos principais instrumentos de baixo risco de rentabilidade no Brasil, apresenta uma taxa atual de retorno de 11,72% ao ano (XP Investimentos, 2024).

Outra forma de calcular a TMA pode ser feita através da fórmula básica:

$$TMA = Taxa Livre de risco + Prêmio de risco \quad (3)$$

Onde:

Taxa livre de risco: Refere-se à taxa de retorno que poderia ser obtida em um investimento sem risco, geralmente representada pela taxa de juros de títulos do governo de longo prazo.

Prêmio de risco: É uma compensação adicional pela incerteza associada ao investimento, levando em consideração fatores como a volatilidade do mercado, o risco específico do projeto, entre outros.

3.6.5. TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Após calcular o Valor Presente Líquido (VPL) em várias taxas de juros diferentes, é possível encontrar uma taxa de juros que zere o VPL acumulado no final do projeto. Essa taxa é conhecida como Taxa Interna de Retorno (TIR) e representa a taxa máxima de juros que o projeto poderia pagar e ainda assim manter o equilíbrio ao final de sua vida útil (TOWLER; SINNOTT, 2013).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma medida financeira utilizada para avaliar a atratividade de um investimento ou projeto. Ela representa a taxa de retorno que iguala o valor presente líquido (VPL) dos fluxos de caixa futuros de um projeto a zero, ou seja, é a taxa de desconto que faz com que o investimento inicial seja igual ao valor presente de todos os fluxos de caixa futuros gerados pelo projeto.

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (4)$$

Onde:

F_t representa o fluxo de caixa no período t

n é o número total de períodos

TIR é a taxa interna de retorno

Para calcular a TIR, geralmente utilizam-se métodos iterativos, como o método da bisseção ou o método de Newton-Raphson, para encontrar o valor de TIR que torna o VPL igual a zero.

3.7. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade envolve modificar parâmetros e valores da avaliação econômica, gerando alterações diretas nas entradas e saídas no fluxo de caixa. Esta abordagem permite avaliar a influência de cada parâmetro nos resultados da viabilidade econômica, identificando quais representam maiores riscos para o projeto.

O preço de venda da bromelaína, por exemplo, é um parâmetro crucial do projeto, sujeito a oscilações anuais. Sendo assim, foi avaliada a sensibilidade do projeto, simulando cenários com o VPL e a TIR para variações no preço da bromelina entre -30% e +30% do valor base.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA ANÁLISE ECONÔMICA

4.1. ESTIMATIVA DA DEMANDA NACIONAL DE BROMELINA

Através da Tabela 6, foi possível comparar o aumento anual na demanda de bromelina com base nos dados de importação brasileira. Os dados de importação anual no Brasil foram extraídos do COMEX, sistema oficial para extração de estatísticas do comércio exterior. Não foram encontrados dados anteriores a 2019, devido a mudanças nos códigos de classificação de produtos ao longo do tempo.

Tabela 6: Importação da Bromelina pelo Brasil

| Ano | Importação (Kg) |
|--------------|-----------------|
| 2019 | 2990 |
| 2020 | 4245 |
| 2021 | 4762 |
| 2022 | 5405 |
| 2023 | 4965 |
| Média | 4473,4 |

Fonte: COMEX

De acordo com os dados de Tranparency Market Research Bromelain Market (2024), a bromelina apresenta um crescimento de demanda de 4,5% ao ano. Com base nesta taxa de crescimento, ao projetar a demanda pelos próximos 15 anos, é possível construir a Tabela 7. Nela, observa-se que a demanda inicial de 5188 kg em 2024 cresce progressivamente até alcançar 10041 kg em 2039. Para atender a essa demanda crescente, será necessário projetar uma planta com capacidade de produção de 10 toneladas de bromelina por ano. Esta capacidade permitirá atender à demanda projetada com margem de segurança, garantindo a disponibilidade do produto no mercado e a sustentabilidade do crescimento projetado.

Tabela 7: Projeção de demanda da Bromelina por 15 anos.

| Ano | Contagem | Demanda (KG) |
|------|----------|--------------|
| 2024 | 0 | 5188 |
| 2025 | 1 | 5422 |
| 2026 | 2 | 5666 |
| 2027 | 3 | 5921 |
| 2028 | 4 | 6187 |

| | | |
|------|----|------|
| 2029 | 5 | 6466 |
| 2030 | 6 | 6757 |
| 2031 | 7 | 7061 |
| 2032 | 8 | 7378 |
| 2033 | 9 | 7710 |
| 2034 | 10 | 8057 |
| 2035 | 11 | 8420 |
| 2036 | 12 | 8799 |
| 2037 | 13 | 9195 |
| 2038 | 14 | 9609 |

Fonte: COMEX

As etapas para a análise econômica são definidas desde o transporte da matéria-prima, casca do abacaxi, à planta até a produção do produto final, a bromelina. O tempo de operação da planta de bromelina é considerada como 300 dias por ano, com uma vida útil econômica de 15 anos. A capacidade de processamento de matéria-prima instalada da planta é de 500 kg/h, o que resulta em uma taxa de produção de 1,39 kg/h de bromelina. A capacidade da planta assim como a quantidade de matéria-prima necessária para o estudo de pré-viabilidade econômica, é descrito na Tabela 8:

Tabela 8: Capacidade da planta de Bromelina e de Suco de Abacaxi

| Parâmetro | Valor | Unidade de Medida |
|---|--------------|--------------------------|
| Quantidade de Bromelina produzida | 36 | kg/dia |
| Capacidade processada de casca | 12.000 | kg/dia |
| Fração de casca na fruta | 30 | % |
| Quantidade de fruta processada pela indústria de suco para atender a demanda de matéria-prima para produção de bromelina | 38.880 | kg/dia |
| Capacidade equivalente de produção de suco de abacaxi para atender o fornecimento de matéria-prima para produção de bromelina | 19.440 | kg/dia |

Fonte: Elaboração Própria

4.2. LOCALIZAÇÃO DA PLANTA

A fim de determinar a localização de uma planta, deve-se considerar diversos fatores como instalações da empresa, a natureza de seus produtos, a fonte de matéria-prima, mercado consumidor, por exemplo. A localização escolhida deve resultar em benefícios significativos para a empresa, como a otimização dos custos operacionais e comerciais (ALVES, 2013).

No contexto do processamento de bromelina a partir da casca de abacaxi, que é uma matéria-prima perecível e biodegradável com alto teor de umidade, a seleção de um local próximo às principais regiões produtoras de suco de abacaxi é crucial. Na região do Pará, mais especificamente na Floresta do Araguaia encontra-se a maior sede de indústria de suco concentrado de frutas do Brasil, com uma capacidade de produção de quatro mil toneladas por mês. A produção é exportada para diversos países, incluindo aqueles da União Europeia, EUA e Mercosul. (ADEPARÁ,2017)

A opção pela proximidade aos fornecedores de cascas de abacaxi se deve à maior densidade dessas cascas em comparação com a bromelina extraída. Este fator resulta em uma perda significativa de massa durante o processo de extração da bromelina, o que torna estratégico minimizar os custos de transporte ao localizar a planta próxima aos centros fornecedores de matéria-prima. Essa decisão não apenas otimiza a eficiência operacional, mas também reduz os custos logísticos associados ao transporte das cascas para a planta de processamento.

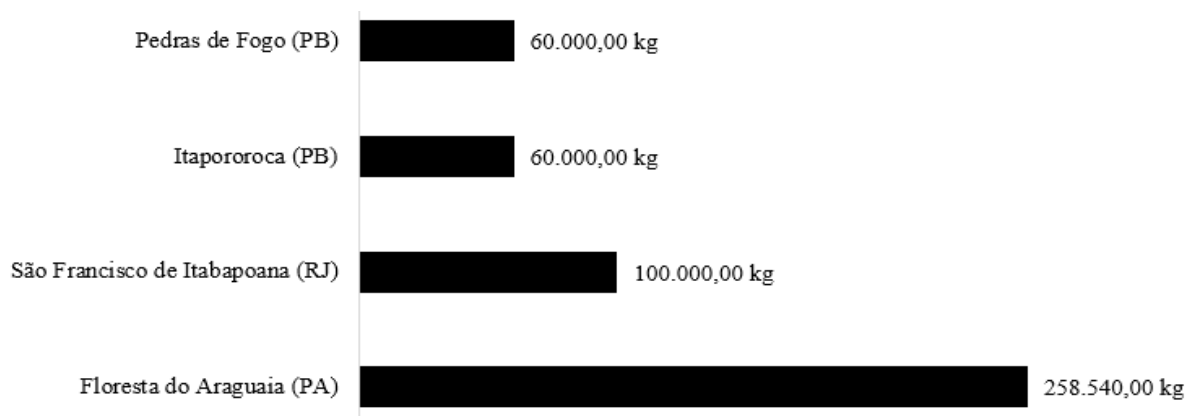
Esse local oferece uma localização estratégica para a produção de bromelina devido a necessidade de obtenção de um insumo em condições ótimas, minimização de perdas, custos logísticos e abundância de matéria-prima. Além de ser um importante centro agrícola de abacaxi, considerado o maior produtor do país (IBGE, 2022), a instalação de uma indústria na região pode alavancar ainda mais seu desenvolvimento econômico e social.

A Figura 9 compara a produção em toneladas de abacaxi nesta região com os outros quatro maiores municípios produtores do Brasil, destacando a sua importância no contexto nacional.

Além dos benefícios econômicos diretos, a implantação de uma indústria de produção de bromelina na Floresta do Araguaia traria benefícios socioeconômicos significativos para a região. A Floresta do Araguaia tem um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,583 (PNUD,2010), relativamente baixo em comparação com outras regiões do Brasil. A criação de

empregos diretos e indiretos, o aumento da renda e a melhoria da infraestrutura local poderiam contribuir para uma melhor qualidade de vida na região.

Figura 9: Ranking de Produção de Abacaxi no Brasil



Fonte: IBGE 2022

A infraestrutura local, incluindo acesso a rodovias e energia elétrica, facilita a logística e a operação contínua da planta. A presença de outras indústrias agrícolas na área permite sinergias e colaborações benéficas. Finalmente, o baixo custo de terra e a disponibilidade de espaço para futuras expansões fazem da Floresta do Araguaia uma escolha ideal para o desenvolvimento sustentável da produção de bromelina.

A Tabela 9 detalha o volume de produção de abacaxi na Floresta do Araguaia, e a quantidade de casca gerada como resíduo da produção de suco, calculada com base na média de produção de casca por tonelada de abacaxi processado.

Tabela 9: Produção de Abacaxi na Floresta do Araguaia e Produção de Casca Anual

| Parâmetros | Produção Anual de Abacaxi | Unidade |
|-------------------------------------|---------------------------|---------|
| Floresta do Araguaia | 258.540.000 | kg |
| Quantidade de Casca Produzida Anual | 77.562.000 | kg |

Fonte: Elaboração Própria

4.3. QUANTIDADE DE BROMELINA GERADA

A análise da composição da casca de abacaxi revelou um conteúdo significativo de bromelina de 0,5% (ROCHA et al., 2019). Supondo que 30% do Abacaxi processado para a

produção de suco é considerado casca e o rendimento da extração e purificação da bromelina a partir da casca é de respectivamente 80% (CAMPOS et al., 2019) e 75% (ABREU, 2013), foi possível construir a Tabela 10 para produção anual de 10000 kg de Bromelina.

Tabela 10: Quantidade de Casca necessária para a Demanda Brasileira

| Descrição | Ponto de Partida |
|--|------------------|
| Quantidade de Casca Necessária (kg) | 3.333.333 |
| Quantidade total de bromelina na casca (kg) | 16.666,67 |
| Quantidade de bromelina obtida após extração (kg) | 13.333,33 |
| Quantidade de bromelina obtida após purificação (kg) | 10.000 |

Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 10 demonstra que a quantidade de casca gerada pela Floresta do Araguaia supre a necessidade como matéria-prima de bromelina para realizar a demanda média brasileira.

4.4. RESULTADOS DA VIABILIDADE ECONÔMICA

4.4.1. PREMISSAS

O estudo de viabilidade econômica da produção de bromelina a partir da casca de abacaxi foi baseado na análise de diversos parâmetros econômicos, tais como fluxo de caixa, Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e o período de retorno do investimento (PAYBACK).

Foram adotadas as seguintes premissas para que fosse possível realizar a Viabilidade Econômica:

- **Custo zero de aquisição da matéria-prima:** Conforme descrito no 4.4.3.2.1.
- **Horizonte de Planejamento:** 15 anos de operação.
- **Demanda:** Valor inicial da Importação do insumo acrescido de 15%.
- **Desembolso do investimento fixo:** 60% no ano 0 e 40% no ano 1 do projeto.
- **Fluxos de caixa:** Calculados para 15 anos de operação, ou seja, até o ano 14.
- **Taxa de câmbio do dólar:** Utilizada conforme valor do Banco Central (R\$ 5,20). (BANCO CENTRAL DO BRASIL. Acesso em: 22 abr. 2024)

- **Taxa Mínima de Atratividade (TMA):** Estipulada em 12%, conforme aproximação do número da taxa Selic. (BANCO CENTRAL DO BRASIL. Histórico de taxas de juros, 2024. Consultado em: 22 abr. 2024)
- **Valor de Mercado da Bromelina:** O preço da bromelina utilizado neste estudo foi de 120 dólares americanos, o que corresponde a aproximadamente 624 reais. Este valor foi obtido a partir das fontes Inovafarma e PFarma, refletindo um preço condizente com o mercado global de bromelina.

4.4.2. INVESTIMENTO FIXO

Para estimar o valor dos equipamentos necessários, foi realizado um levantamento mercadológico, consultando diversas fontes especializadas e fornecedores reconhecidos. Através dessa pesquisa, foi possível construir a Tabela 11. Esta tabela contém as informações sobre os principais equipamentos, preços médios e fontes de custo.

Tabela 11: Equipamentos Principais e estimativa de preço

| Equipamento | Preço Médio (USD) | Fonte de Custo |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Centrífuga | R\$ 364.000,00 | Alfa Laval |
| Unidade de Filtração | R\$ 260.000,00 | Filtration Group |
| Silo | R\$ 260.000,00 | Nicety Plastic Machinery |
| Misturador | R\$ 156.000,00 | Mixer Direct |
| Unidade de Destilação | R\$ 1.040.000,00 | Pfaunder |
| Purificação por Cromatografia | R\$ 624.000,00 | DirectIndustry |
| Tanque de Precipitação | R\$ 208.000,00 | Tanks Direct |
| Liofilizador | R\$ 364.000,00 | Labconco |

Fonte: Elaboração Própria

Com base nos valores de Investimento fixo do projeto foi possível construir a Tabela 12, com os custos calculados com base nos Equipamentos conforme descrito por Peter e Timmerhaus (1991) e adaptado por Wang et al. (2020).

Tabela 12: Parâmetros do Investimento Fixo

| Custos | R\$ (BRL) |
|------------------------------|----------------------|
| I - Custos Diretos | 7.305.480,00 |
| Compra de Equipamentos | 3.276.000,00 |
| Instalação | 1.146.600,00 |
| Tubulações | 1.015.560,00 |
| Instrumentação | 425.880,00 |
| Isolamento | 163.800,00 |
| Elétrica | 327.600,00 |
| Edifícios | 327.600,00 |
| Área Externa | 294.840,00 |
| Instalações auxiliares | 327.600,00 |
| II - Custos Indiretos | 4.821.616,80 |
| Engenharia | 2.337.753,60 |
| Construção | 2.483.863,20 |
| III - Outros Custos | 1.819.064,52 |
| Contratante | 606.354,84 |
| Contingência | 1.212.709,68 |
| INVESTIMENTO FIXO | 12.127.096,80 |
| CAPITAL DE GIRO | 606.354,84 |
| INVESTIMENTO TOTAL | 12.733.451,64 |

Fonte: TOWLER e SINNOTT, 2013

4.4.3. CUSTO DE PRODUÇÃO

Os custos de produção são a soma dos custos fixos, variáveis de produção e despesas gerais, conforme detalhado no item 3.4.

4.4.3.1. CUSTO FIXOS DE PRODUÇÃO

4.4.3.1.1. CUSTO DE MÃO DE OBRA

Para determinar o número de funcionários para realizar a operação foram estipuladas 3 etapas. O primeiro passo foi determinar o total de horas de operação por ano:

$$\text{Fórmula: } \text{Horas por Ano} = \text{Dias de Operação por Ano} \times \text{Horas por Dia} \quad (5)$$

$$\text{Horas por Ano} = 300 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \times 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} = 7200 \frac{\text{horas}}{\text{ano}}$$

Determinou-se o número de horas trabalhadas por funcionário por ano:

Supondo que cada funcionário trabalha 8 horas por dia.

Fórmula: ***Horas por Ano por Funcionário = Dias de Operação por Ano × Horas por Dia por Funcionário*** (6)

$$\text{Horas por Ano por Funcionário} = 300 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} = 2400 \frac{\text{horas}}{\text{ano}}$$

Calculou-se o número de funcionários necessários:

Fórmula:

Número de Funcionários = Total de Horas Necessárias / Horas por Ano por Funcionário (7)

$$\text{Número de Funcionários} = \frac{7200 \text{ horas}}{2400 \frac{\text{horas}}{\text{ano por funcionário}}} = 3$$

De acordo com dados de 2024, o salário médio mensal por colaborador na indústria química brasileira foi de R\$ 5.284,88 (NOVO CAGED, 2024). Foi estipulado que o valor do salário de supervisão seria equivalente a 50% do total dos salários dos operadores. Esta decisão foi tomada para evitar que o salário do supervisor fosse menor que o dos operadores, visto que o tradicional 25% não seria suficiente para garantir essa hierarquia salarial. Considerando que cada operador recebe R\$ 5.284,88 por mês e que são três operadores, o custo total mensal com os salários dos operadores é de R\$ 15.854,64. Assim, o salário de supervisão, sendo 50% desse total, é calculado como:

$$0,50 \times \text{R\$}15.854,64 = \text{R\$}7.927,32$$

Dessa forma, os encargos trabalhistas foram computados como 53,80% do salário nominal. Aplicando essa porcentagem aos salários dos operadores e da supervisão, o total obtido foi de R\$ 36.577,00.

Tabela 13: Custos de Mão de Obra

| | Quantidade | Salário individual | Encargos individuais | Custo total |
|--------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Colaboradores | 3 | 5.284,88 | 2843,26 | 24.384,42 |
| Supervisor | 1 | 7.927,32 | 4.264,89 | 12.192,21 |
| TOTAL mão de obra | | | | 36.576,63 |

Fonte: Elaboração Própria

4.4.3.1.2. CUSTO DE MANUTENÇÃO

Para calcular o custo fixo de manutenção de um investimento fixo total de R\$ 14.643.469,00, consideramos 2% desse valor. Utilizando essa porcentagem, o custo de manutenção anual é calculado como R\$ 292.869,00. Esta abordagem permite uma estimativa prática e simplificada dos custos de manutenção, aplicando uma porcentagem realista das despesas esperadas, garantindo assim a viabilidade econômica e operacional do projeto ao longo do tempo.

4.4.3.1.3. CUSTO DE SEGURO

Para calcular os custos anuais de impostos e seguros associados ao investimento fixo total de R\$ 14.643.469,00, utilizou-se uma estimativa, onde esses custos são projetados como uma porcentagem do valor total do investimento (TOWLER; SINNOTT, 2013). Neste caso, adotou-se a taxa de 1%, o cálculo resultou em um valor anual de R\$ 146.435,00.

4.4.3.1.4. CUSTOS GERAIS

Para estimar os custos gerais relacionadas ao projeto, foi adotada uma abordagem que considera 45% do custo total de mão de obra previamente calculado. Este método foi aplicado com o objetivo de calcular os gastos operacionais necessários para suportar as atividades vinculadas ao investimento fixo total de R\$ 14.643.469,00 (HEIZER e RENDER, 2013).

O custo total de mão de obra foi determinado com base nos salários dos operadores. Ao aplicar o percentual de 45% sobre esse valor sem encargos, chegamos a uma projeção de despesas operacionais anuais de R\$ 16.459,00. Essa estimativa engloba uma variedade de custos, incluindo manutenção, logística e administração direta das operações, sendo fundamental para uma gestão financeira eficaz e para assegurar a sustentabilidade econômica do projeto a longo prazo.

4.4.3.1.5. DESPESAS OPERACIONAIS

As despesas operacionais podem ser estimadas como:

Despesas Operacionais = $0,65 * \text{Custos de Mão de Obra}$ = R\$ 23.775,00/ano

4.4.3.2. CUSTOS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO

4.4.3.2.1. CUSTOS DE MATÉRIA-PRIMA

Como citado no item 4.2., para escolher a localização da planta na região da Floresta do Araguaia um dos determinantes foi a proximidade das unidades produtoras de suco de abacaxi para obtenção da casca. Essa decisão visava, principalmente, minimizar a distância necessária para transportar os resíduos até o local de processamento. Em virtude da complexidade na estimativa dos custos de transporte, optou-se por adotar um valor de US\$ 4 por tonelada (R\$ 20,80), baseado no estudo conduzido por Kumar, Cameron e Flynn (2005), no qual os autores realizaram uma revisão bibliográfica de valores de transporte para várias formas de biomassa e encontraram valores semelhantes à estimativa adotada.

Para viabilizar o projeto e proporcionar rentabilidade, foi pensado em considerar apenas o valor de transporte da matéria-prima principal, considerando uma estratégia comercial que envolve o acordo econômico estabelecido com os produtores locais da região da Floresta do Araguaia, o qual proporciona o uso gratuito da casca de abacaxi, eliminando assim o custo de obtenção de matéria-prima. Essa parceria é fundamental para fortalecer a viabilidade econômica do projeto, uma vez que reduz substancialmente os custos operacionais e, por conseguinte, aumenta o potencial de lucratividade. Essa estratégia não apenas beneficia economicamente o empreendimento, mas também promove uma relação colaborativa e sustentável com a comunidade local.

4.4.3.2.2. CUSTOS DE UTILIDADES

Segundo Towler e Sinnott (2013), esses custos geralmente não ultrapassam 15% do custo total de produção.

Como esse custo está em função do Custo Total de Produção que ainda não foi determinado, é necessário defini-lo antecipadamente e ser feito da seguinte forma:

$$\text{CVP} = \text{CMP} + \text{CU} \quad (8)$$

$$\text{CTP} = \text{CVP} + \text{CFP} \quad (9)$$

$$\text{CU} = 0,15\text{CTP} \quad (10)$$

$$0,85\text{CTP} = \text{CFP} + \text{CMP} \quad (11)$$

Onde:

CTP - Custos Totais de Produção;

CVP - Custos Variáveis de Produção;

CFP - Custos Fixos de Produção;

CMP - Custos com Matéria-Prima;

CU - Custos de Utilidades

Portanto, o Custo Total de Produção pode ser determinado pela Fórmula 11.

Tabela 14: Custos necessários para o cálculo de Custo de Utilidades

| Tipo de Custo | Valor |
|----------------------|----------------|
| CFP | R\$ 728.426,15 |
| CMP | R\$ 39.283,50 |
| CTP | R\$ 853.010,73 |
| CU | R\$ 127.951,61 |

Fonte: Elaboração Própria

Considerando 15% desse valor, o Custo de Utilidades foi estimado em R\$ 127.951,62, abrangendo diversos recursos essenciais como energia elétrica, água, vapor e outros serviços necessários para as operações diárias da planta. A gestão eficiente desses recursos não apenas otimiza os custos operacionais, mas também contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental e econômica do empreendimento. A precisão no cálculo e na alocação de recursos para utilidades é crucial para garantir que as necessidades operacionais sejam atendidas de maneira econômica e sustentável, promovendo assim a viabilidade a longo prazo do projeto industrial.

4.5. ELABORAÇÃO DAS DEMONSTRAÇÕES CONTÁBEIS

Com base nas estimativas de investimento, custos e receitas detalhadas anteriormente, foram preparadas as demonstrações contábeis para cada cenário proposto, considerando um horizonte de planejamento de 15 anos, sendo dois anos dedicados à construção e 13 anos operando. O Demonstrativo de Resultado do Exercício (DRE) e o Demonstrativo de Fluxo de Caixa (DFC) para o cenário base são apresentados a seguir.

Figura 10: Demonstrativo de Fluxo de Caixa

Fluxo de Caixa

| Ano | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|-------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Entradas | | | | | | | | |
| Receita Bruta | R\$ | - | R\$ - | R\$ 3.535.515,24 | R\$ 3.694.613,43 | R\$ 3.860.871,03 | R\$ 4.034.610,23 | R\$ 4.216.167,69 |
| Capital de Giro Recuperado | R\$ | - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Total Entradas | R\$ | - | R\$ - | R\$ 3.535.515,24 | R\$ 3.694.613,43 | R\$ 3.860.871,03 | R\$ 4.034.610,23 | R\$ 4.216.167,69 |
| Saídas | | | | | | | | |
| Custo de Produção | R\$ | - | R\$ - | R\$ 889.114,01 | R\$ 890.881,77 | R\$ 892.729,08 | R\$ 894.659,51 | R\$ 896.676,82 |
| - Custo Variável | R\$ | - | R\$ - | R\$ 160.687,86 | R\$ 162.455,62 | R\$ 164.302,93 | R\$ 166.233,36 | R\$ 168.250,67 |
| - Custo Fixo | R\$ | - | R\$ - | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 |
| Despesas Operacionais | R\$ | - | R\$ - | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 |
| Investimento Total | R\$ | 8.367.696,79 | R\$ 6.275.772,59 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| - Investimento Fixo | R\$ | 8.367.696,79 | R\$ 5.578.464,53 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| - Capital de Giro | R\$ | - | R\$ 697.308,07 | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Impostos | R\$ | - | R\$ - | R\$ 393.815,02 | R\$ 447.307,36 | R\$ 503.206,87 | R\$ 561.621,84 | R\$ 622.665,50 |
| Total Saídas | R\$ | 8.367.696,79 | R\$ 6.275.772,59 | R\$ 1.306.703,86 | R\$ 1.361.963,96 | R\$ 1.419.710,77 | R\$ 1.480.056,18 | R\$ 1.543.117,14 |
| Fluxo de Caixa | -R\$ | 8.367.696,79 | -R\$ 6.275.772,59 | R\$ 2.228.811,39 | R\$ 2.332.649,47 | R\$ 2.441.160,27 | R\$ 2.554.554,05 | R\$ 2.673.050,55 |
| Fluxo de Caixa Descontado | -R\$ | 8.367.696,79 | -R\$ 5.603.368,39 | R\$ 1.776.794,79 | R\$ 1.660.333,82 | R\$ 1.551.401,48 | R\$ 1.449.522,57 | R\$ 1.354.250,60 |

| Ano | | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|----------------------------------|------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Entradas | | | | | | | | | |
| Receita Bruta | R\$ | 4.405.895,23 | R\$ 4.604.160,52 | R\$ 4.811.347,74 | R\$ 5.027.858,39 | R\$ 5.254.112,02 | R\$ 5.490.547,06 | R\$ 5.737.621,68 | R\$ 5.995.814,65 |
| Capital de Giro Recuperado | R\$ | - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ 142.683,05 |
| Total Entradas | R\$ | 4.405.895,23 | R\$ 4.604.160,52 | R\$ 4.811.347,74 | R\$ 5.027.858,39 | R\$ 5.254.112,02 | R\$ 5.490.547,06 | R\$ 5.737.621,68 | R\$ 6.138.497,70 |
| Saídas | | | | | | | | | |
| Custo de Produção | R\$ | 898.784,90 | R\$ 900.987,85 | R\$ 903.289,93 | R\$ 905.695,60 | R\$ 908.209,53 | R\$ 910.836,59 | R\$ 913.581,86 | R\$ 916.450,67 |
| - Custo Variável | R\$ | 170.358,75 | R\$ 172.561,70 | R\$ 174.863,78 | R\$ 177.269,45 | R\$ 179.783,38 | R\$ 182.410,44 | R\$ 185.155,71 | R\$ 188.024,52 |
| - Custo Fixo | R\$ | 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 |
| Despesas Operacionais | R\$ | 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 |
| Investimento Total | R\$ | - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| - Investimento Fixo | R\$ | - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| - Capital de Giro | R\$ | - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Impostos | R\$ | 686.456,11 | R\$ 753.117,31 | R\$ 822.778,26 | R\$ 895.573,95 | R\$ 971.645,45 | R\$ 1.549.018,12 | R\$ 1.632.090,10 | R\$ 1.718.900,31 |
| Total Saídas | R\$ | 1.609.015,84 | R\$ 1.677.879,98 | R\$ 1.749.843,01 | R\$ 1.825.044,38 | R\$ 1.903.629,80 | R\$ 2.483.629,53 | R\$ 2.569.446,78 | R\$ 2.659.125,81 |
| Fluxo de Caixa | R\$ | 2.796.879,39 | R\$ 2.926.280,54 | R\$ 3.061.504,73 | R\$ 3.202.814,02 | R\$ 3.350.482,22 | R\$ 3.006.917,53 | R\$ 3.168.174,89 | R\$ 3.479.371,89 |
| Fluxo de Caixa Descontado | R\$ | 1.265.166,20 | R\$ 1.181.875,63 | R\$ 1.104.009,30 | R\$ 1.031.220,39 | R\$ 963.183,57 | R\$ 771.800,84 | R\$ 726.063,92 | R\$ 711.948,42 |

Fonte: Elaboração própria

Figura 11: Demonstração de Resultado do Exercício (DRE)

DRE

| Ano | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------------------|----------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Receitas Líquida de Venda | R\$ - | R\$ - | R\$ 3.535.515,24 | R\$ 3.694.613,43 | R\$ 3.860.871,03 | R\$ 4.034.610,23 | R\$ 4.216.167,69 | R\$ 4.405.895,23 |
| Custo Variável | R\$ - | R\$ - | R\$ 160.687,86 | R\$ 162.455,62 | R\$ 164.302,93 | R\$ 166.233,36 | R\$ 168.250,67 | R\$ 170.358,75 |
| Custo Fixo | R\$ - | R\$ - | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 |
| Lucro Operacional Bruto | R\$ - | R\$ - | R\$ 2.646.401,23 | R\$ 2.803.731,66 | R\$ 2.968.141,96 | R\$ 3.139.950,72 | R\$ 3.319.490,87 | R\$ 3.507.110,33 |
| Despesas Operacionais | R\$ - | R\$ - | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 |
| EBITDA | R\$ - | R\$ - | R\$ 2.622.626,40 | R\$ 2.779.956,83 | R\$ 2.944.367,13 | R\$ 3.116.175,89 | R\$ 3.295.716,05 | R\$ 3.483.335,51 |
| Depreciação | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 |
| Lucro Antes do IR | R\$ - | R\$ - | R\$ 1.158.279,47 | R\$ 1.315.609,89 | R\$ 1.480.020,19 | R\$ 1.651.828,95 | R\$ 1.831.369,11 | R\$ 2.018.988,57 |
| IR | R\$ - | R\$ - | R\$ 393.815,02 | R\$ 447.307,36 | R\$ 503.206,87 | R\$ 561.621,84 | R\$ 622.665,50 | R\$ 686.456,11 |
| Lucro Depois do IR | R\$ - | R\$ - | R\$ 764.464,45 | R\$ 868.302,53 | R\$ 976.813,33 | R\$ 1.090.207,11 | R\$ 1.208.703,61 | R\$ 1.332.532,46 |

| Ano | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Receitas Líquida de Venda | R\$ 4.405.895,23 | R\$ 4.604.160,52 | R\$ 4.811.347,74 | R\$ 5.027.858,39 | R\$ 5.254.112,02 | R\$ 5.490.547,06 | R\$ 5.737.621,68 | R\$ 5.995.814,65 |
| Custo Variável | R\$ 170.358,75 | R\$ 172.561,70 | R\$ 174.863,78 | R\$ 177.269,45 | R\$ 179.783,38 | R\$ 182.410,44 | R\$ 185.155,71 | R\$ 188.024,52 |
| Custo Fixo | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 | R\$ 728.426,15 |
| Lucro Operacional Bruto | R\$ 3.507.110,33 | R\$ 3.703.172,67 | R\$ 3.908.057,82 | R\$ 4.122.162,79 | R\$ 4.345.902,49 | R\$ 4.579.710,47 | R\$ 4.824.039,82 | R\$ 5.079.363,98 |
| Despesas Operacionais | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 | R\$ 23.774,83 |
| EBITDA | R\$ 3.483.335,51 | R\$ 3.679.397,85 | R\$ 3.884.282,99 | R\$ 4.098.387,96 | R\$ 4.322.127,66 | R\$ 4.555.935,65 | R\$ 4.800.264,99 | R\$ 5.055.589,16 |
| Depreciação | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 | R\$ 1.464.346,94 | R\$ - | R\$ - | R\$ - |
| Lucro Antes do IR | R\$ 2.018.988,57 | R\$ 2.215.050,91 | R\$ 2.419.936,05 | R\$ 2.634.041,03 | R\$ 2.857.780,72 | R\$ 4.555.935,65 | R\$ 4.800.264,99 | R\$ 5.055.589,16 |
| IR | R\$ 686.456,11 | R\$ 753.117,31 | R\$ 822.778,26 | R\$ 895.573,95 | R\$ 971.645,45 | R\$ 1.549.018,12 | R\$ 1.632.090,10 | R\$ 1.718.900,31 |
| Lucro Depois do IR | R\$ 1.332.532,46 | R\$ 1.461.933,60 | R\$ 1.597.157,79 | R\$ 1.738.467,08 | R\$ 1.886.135,28 | R\$ 3.006.917,53 | R\$ 3.168.174,89 | R\$ 3.336.688,84 |

Fonte: Elaboração própria

4.6. CÁLCULO DOS INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

4.6.1. FATORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

A viabilidade econômica do projeto foi reforçada pelos seguintes fatores:

- Redução de Custos: O uso gratuito da casca de abacaxi eliminou um dos maiores custos operacionais, permitindo margens de lucro maiores.
- Demanda em crescimento: A crescente demanda por bromelina no mercado farmacêutico e alimentício oferece uma oportunidade de crescimento constante (SILVA, 2021).
- Eficiência de Produção: Os processos de extração e purificação da bromelina, adaptados para a realidade brasileira, mostraram-se eficientes e competitivos em relação aos padrões internacionais.

4.6.2. CÁLCULO DOS INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Os cálculos de TIR, VPL e PAYBACK foram baseados em um cenário onde a demanda de bromelina cresce anualmente no valor de 4,5%, condizente com a média de crescimento do volume de Importação. A Tabela 15 apresenta os resultados financeiros do projeto.

Tabela 15: Parâmetros de Viabilidade Econômica do Projeto

| Parâmetros de Viabilidade | Resultado |
|----------------------------------|-------------------------|
| Econômica | |
| VPL | R\$ 1.576.506,35 |
| TIR | 13,88% |
| TMA | 12% |
| Payback Descontado | 11,8 |

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados financeiros indicaram um VPL positivo, uma TIR superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e um PAYBACK atrativo. Esses resultados sugerem que o projeto é economicamente viável.

VPL: O Valor Presente Líquido (VPL) foi calculado com base em uma taxa de desconto de 12%, resultando em um VPL positivo de R\$ 1.576.506,35. Esse valor positivo indica que o projeto consegue retornar o valor do investimento inicial, comprovando sua viabilidade

financeira. O cálculo do VPL considerou todos os fluxos de caixa futuros projetados, descontados à taxa de 12%, o que reflete o retorno adicional sobre o custo do capital investido.

O preço de equilíbrio foi determinado para que o VPL se iguale a zero. Este valor é obtido ao calcular o preço de venda necessário para que a soma dos fluxos de caixa descontados iguale o investimento inicial. No caso do projeto de extração de bromelina, o preço de equilíbrio foi calculado como R\$ 564,37 por unidade. Esse preço indica que, se a bromelina for vendida por menos de R\$ 564,37, o projeto não conseguirá cobrir todos os seus custos, resultando em prejuízo. Portanto, para que o projeto seja lucrativo, o preço de venda deve ser superior a esse valor.

Na projeção de demanda, utilizou-se um valor de R\$ 624,00 por quilograma de bromelina. Comparando esse preço com o preço de equilíbrio, podemos concluir que o projeto é lucrativo, já que o preço de venda projetado (R\$ 624,00) é significativamente maior que o preço de equilíbrio (R\$ 564,37). Essa diferença indica que o projeto não apenas cobrirá todos os seus custos, mas também gerará lucro, aumentando a atratividade e a viabilidade econômica do empreendimento.

TIR: A Taxa Interna de Retorno (TIR) foi estimada em 13,88%, o que é superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 12%. Embora a TIR supere a TMA, indicando que o investimento é atrativo e oferece um retorno superior ao custo de oportunidade do capital, essa margem de diferença não é substancialmente alta.

O fato de a TIR ser apenas 1,88% maior que a TMA sugere que o projeto tem uma atratividade limitada. Em outras palavras, enquanto o projeto oferece um retorno superior ao mínimo exigido pelos investidores, o prêmio pelo risco não é consideravelmente elevado. Isso implica que, embora o projeto seja viável, ele apresenta um risco relativamente alto em comparação com outras oportunidades de investimento que ofereçam um retorno próximo à TMA de 12%.

Essa análise é crucial porque a TIR de 13,88% indica que, "uma vez que o risco de investimento nesse projeto é mais alto que o risco em uma aplicação que dê um retorno de 12%", os investidores podem exigir um retorno maior para compensar o risco adicional. Portanto, a decisão de investir deve considerar não apenas a TIR e a TMA, mas também a avaliação do risco associado e a disponibilidade de outras oportunidades de investimento com melhores retornos ajustados ao risco.

A TIR foi calculada considerando os mesmos fluxos de caixa utilizados no cálculo do VPL, refletindo a taxa de desconto que torna o VPL igual a zero. Isso confirma que o projeto é

financeiramente viável, mas também ressalta a necessidade de uma análise cuidadosa do risco e da comparação com outras possíveis aplicações de capital.

PAYBACK DESCONTADO: de acordo com as estimativas do projeto, o tempo necessário para recuperar o investimento inicial é de 11,8 anos. Esse período prolongado é um valor significativo, pois indica que levará mais tempo para alcançar o retorno total do investimento. Isso pode afetar a avaliação da atratividade do projeto, especialmente para investidores que preferem retornos mais rápidos. Apesar do prazo relativamente longo, é crucial considerar outros aspectos, como a natureza do projeto, a demanda estimada, a estabilidade dos fluxos de caixa e a visão de longo prazo.

A análise dos resultados financeiros e comparativos sugere que a produção de bromelina a partir da casca de abacaxi na Floresta do Araguaia é economicamente viável.

4.6.3. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Neste contexto, o projeto se mostrou bastante sensível às variações no preço de venda da bromelina e no investimento necessário ao projeto, revelando a influência significativa que cada variável pode exercer nos resultados de viabilidade econômica.

A Tabela 16 descreve as variações dos indicadores de viabilidade econômica, VPL e TIR, diante da sensibilidade do Investimento Fixo do projeto, tendo em consideração o cenário base.

Tabela 16 - Sensibilidade do Valor de Investimento Fixo

| Cenário | Valor de Investimento (R\$) | VPL (R\$) | TIR (%a.a.) |
|---------|-----------------------------|--------------|-------------|
| -30% | 10.250.428,6 | 5.787.958,1 | 20,8% |
| -20% | 11.714.775,5 | 4.359.466,6 | 18,0% |
| -10% | 13.179.122,4 | 2.930.975,1 | 15,7% |
| Base | 14.643.469,4 | 1.576.506,3 | 13,9% |
| 10% | 16.107.816,3 | 73.992,1 | 12,1% |
| 20% | 17.572.163,3 | -1.354.499,4 | 10,6% |
| 30% | 19.036.510,2 | -2.782.990,9 | 9,3% |

Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 15 destaca uma influência significativa do valor do investimento necessário para a instalação da planta na análise de viabilidade do projeto. Essa observação sublinha a importância de realizar um estudo detalhado e específico para prever com precisão o montante

do investimento, já que essa estimativa serve como base para as demais análises. Caso haja equívocos nessa estimativa inicial, as análises de rentabilidade podem ser distorcidas. O cenário base indica que o investimento necessário é de R\$ 14.643.469,4, resultando em um VPL de R\$ 1.576.506,3 e uma TIR de 13,9%. No entanto, é crucial reconhecer que variações de $\pm 30\%$ no valor do investimento são comuns nas fases iniciais de avaliação, influenciando significativamente a viabilidade do projeto. Essas variações podem levar a VPLs entre R\$ 5.787.958,1 e -R\$ 2.782.990,9, conforme demonstrado nos cenários de -30% e +30%, respectivamente, com TIR variando de 20,8% a 9,3%.

A empresa pode controlar o valor do investimento através de decisões estratégicas, como aquisição de equipamentos a preços mais vantajosos e seleção adequada da localização geográfica da planta. Além disso, fatores como a negociação de contratos, a otimização de processos, parcerias estratégicas, adoção de tecnologias inovadoras e capacitação da equipe podem impactar positivamente o custo total do investimento. Outra opção a ser considerada para diminuir o payback é o financiamento de parte do investimento. Ao reduzir o investimento inicial dos investidores por meio de capital de terceiros, o financiamento pode acelerar o início do projeto e resultar em retornos mais rápidos. Fator que resulta no aumento da capacidade de investimento disponível a taxas menores criando alavancagem financeira, além de tornar os projetos mais robustos e gerando, potencialmente, retornos maiores. No entanto, é essencial considerar cuidadosamente as condições do financiamento, como taxas de juros e prazos, para garantir que sejam favoráveis e não comprometam a rentabilidade do projeto.

A Tabela 17 demonstra o comportamento dos indicadores de viabilidade econômica, VPL e TIR, diante da sensibilidade do preço de venda da Bromelina.

Tabela 17 – Sensibilidade do Valor da Bromelina

| Cenário | Preço da Bromelina (R\$/kg) | VPL (R\$) | TIR (%a.a.) |
|----------------|------------------------------------|------------------|--------------------|
| -30% | 436,8 | -3.372.540,0 | 7,5% |
| -20% | 499,2 | -1.722.857,9 | 9,8% |
| -10% | 561,6 | -73.175,8 | 11,9% |
| Base | 624,0 | 1.576.506,3 | 13,9% |
| 10% | 686,4 | 3.226.188,5 | 15,7% |
| 20% | 748,8 | 4.875.870,6 | 17,5% |
| 30% | 811,2 | 6.525.552,7 | 19,2% |

Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 17 ilustra a sensibilidade do preço da bromelina, demonstrando seu impacto significativo na viabilidade do projeto. O cenário base, com um preço de R\$ 624,0/kg, resulta em um VPL de R\$ 1.576.506,3 e uma TIR de 13,9%. No entanto, uma redução de 10% no preço da bromelina para R\$ 561,6/kg resulta em um VPL negativo de R\$ -73.175,8, com uma TIR de 11,9%. Isso indica que o projeto se torna inviável economicamente se o preço cair abaixo desse ponto. Em contraste, um aumento de 10% no preço, para R\$ 686,4/kg, eleva o VPL para R\$ 3.226.188,5 e a TIR para 15,7%, tornando o projeto significativamente mais atrativo.

A variação do preço de venda da bromelina afeta drasticamente a viabilidade do projeto e os resultados obtidos. Uma redução no preço inviabilizaria o projeto, resultando em um VPL negativo, onde os custos superam os benefícios financeiros dos fluxos de caixa futuros. Por outro lado, se o preço de venda atingir R\$ 811,2/kg, o VPL alcança R\$ 6.525.552,7 e a TIR 19,2%, triplicando quase o valor inicial e reduzindo consideravelmente o payback. Este cenário não é improvável, considerando as flutuações do mercado.

A volatilidade de preços em produtos químicos é uma característica inerente desse setor, influenciada por fatores econômicos, geopolíticos e de oferta e demanda. Além disso, uma variação de 9,6% no preço estabelecido da bromelina, alcançando R\$ 564,4/kg faria o projeto atingir o ponto de neutralidade financeira (VPL = 0 e TIR = TMA), indicando que o retorno do investimento seria suficiente apenas para cobrir o custo de capital.

Nesse contexto, considerando a bioeconomia circular, a implementação de uma biorrefinaria integrada pode ser uma alternativa mais viável. As biorrefinarias processam diversos tipos de resíduos, produzindo uma gama de produtos de alto valor agregado, maximizando o aproveitamento de recursos e a eficiência econômica. Elas oferecem diversificação de receitas, reduzindo a dependência de uma única fonte de renda e proporcionando maior estabilidade financeira. Além disso, ao processar diferentes tipos de resíduos, essas unidades otimizam o uso dos insumos e reduzem custos associados à gestão de resíduos, aumentando a eficiência e a adaptabilidade às condições de mercado.

A decisão de adotar uma biorrefinaria multifuncional deve ser cuidadosamente avaliada, considerando a complexidade e singularidade de cada contexto. A viabilidade deste modelo está ligada aos investimentos necessários e aos retornos esperados, fatores que podem variar consideravelmente. A análise individual de investimentos e retornos é crucial para determinar a adequação desse modelo, reconhecendo que ele pode não ser aplicável universalmente, exigindo uma avaliação criteriosa caso a caso.

5 CONCLUSÕES

O principal objetivo cumprido deste estudo foi a realização de uma análise de pré-viabilidade econômica para a produção de bromelina a partir de casca do abacaxi. A escolha da localização na Floresta do Araguaia visa não apenas atender à demanda interna, substituindo importações, mas também promover a valorização dos resíduos da indústria de sucos, contribuindo para uma economia mais sustentável e circular.

Com uma capacidade instalada de 10 toneladas por ano, a planta proposta visa aproveitar a oferta abundante de casca de abacaxi na região. O investimento total foi calculado em R\$ 14.643.469,4, conforme os parâmetros apresentados na tabela de sensibilidade do preço da bromelina. A análise financeira revelou um Valor Presente Líquido (VPL) positivo de R\$ 1.576.506,3 e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 13,9%, indicando viabilidade econômica.

Os resultados obtidos indicam que, embora o projeto apresente viabilidade econômica, ele também possui fragilidades consideráveis. A análise de sensibilidade demonstrou que o projeto é extremamente sensível a variações em dois parâmetros: o preço de venda da bromelina e o investimento necessário para a implementação do processo. O preço de venda da bromelina é suscetível a flutuações, gerando riscos significativos. Um aumento no preço de venda melhora a viabilidade do projeto, enquanto uma redução pode inviabilizá-lo, resultando em um VPL negativo, e consequentemente, em uma TIR menor sendo o investimento não tão atrativo quando comparado ao retorno de investimento em renda fixa, por exemplo.

Nesse contexto, as biorrefinarias se destacam como uma opção promissora a ser explorada. A implementação de uma biorrefinaria integrada pode maximizar o aproveitamento dos recursos disponíveis, produzindo uma gama de produtos de alto valor agregado. Essas unidades oferecem diversificação de receitas, redução de custos associados à gestão de resíduos e maior estabilidade financeira.

Após a extração da bromelina, os resíduos da casca de abacaxi serão encaminhados para silagem, contribuindo para a economia circular. Esse processo permite que os resíduos orgânicos sejam reaproveitados na alimentação animal, fechando o ciclo de utilização dos recursos e reduzindo o desperdício. A utilização de silagem feita com cascas de abacaxi não só promove a sustentabilidade, mas também gera valor adicional a partir de um subproduto que, de outra forma, seria descartado.

Além disso, a falta de comparação com plantas existentes no Brasil devido à escassez de dados disponíveis sobre essas instalações representa uma lacuna significativa. A diversidade de fontes utilizadas para estimar os investimentos também representa uma limitação, uma vez

que o modelo precisou ser adaptado, incluindo e retirando equipamentos da estimativa de referência.

6 REFERÊNCIAS

ABACAXI: Guia de identificação. CEAGESP, 8 fev. 2022. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/hortiescolha/hortipedia/abacaxi-2/>. Acesso em: 26 out. 2023.

ABÍLIO, Gisely Maria Freire et al. Extração, atividade da bromelina e análise de alguns parâmetros químicos em cultivares de abacaxi. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 4, p. 1117-1121, Dezembro 2009.

ABREU, D. C. A.; FIGUEIREDO, K. C. de S. Bromelain separation and purification processes from pineapple extract. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 36, n. 2, p. 1029-1039, 2019. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190362s20180417>.

ABREU, Vania Letícia. Análise quantitativa de bromelina presente no fruto e insumos do abacaxi (*Ananás comosus*) produzido no município de Ariquemes-RO-Brasil. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2013.

AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DO PARÁ. Abacaxi faz o Pará despontar como o maior produtor nacional do fruto. Disponível em: <https://www.adepara.pa.gov.br/artigos/abacaxi-faz-o-par%C3%A1-despontar-como-o-maior-produtor-nacional-do-fruto>. Acesso em: 26 jun. 2024.

AMID, A.; ISMAIL, N. A.; YUSOF, F.; SALLEH, H. M. Expression, purification, and characterization of a recombinant stem bromelain. *Process Biochem.*, v. 46, p. 2232-2239, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.08.018>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Avaliação de bens parte 4: Empreendimentos. NBR 14653-4. Rio de Janeiro, 2002. 16 p.

AWASTHI, Mukesh Kumar et al. Microbial biotechnology approaches for conversion of pineapple waste into emerging sources of healthy food for a sustainable environment. *International Journal of Food Microbiology*, 2022.

BALDINI, V. L. S. et al. Ocorrência da Bromelina e cultivares de abacaxizeiro. *Colet. ITAL*, v. 23, n. 1, p. 44-55, Campinas, 1993.

BALA, M. et al. Bromelain production: Current trends and perspective. *Archives des Sciences*, v. 65, p. 369-399, 2012.

BALLOU, R. H. Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física. 2. ed. São Paulo, Atlas, 2007.

BANERJEE, Shivali et al. Process design and techno-economic feasibility analysis of an integrated pineapple processing waste biorefinery. *ACS Eng.*, 2022.

BIRANIA, Sapna et al. Advances in development of biodegradable food packaging material from agricultural and agro-industry waste. *Food Process Engineering*, p. 1-23, 16 out. 2023.

CAMPOS, D. A. et al. Platform design for extraction and isolation of Bromelain: Complex formation and precipitation with carrageenan. *Process Biochem.*, v. 54, p. 156-161, 2017. DOI: 10.1016/j.procbio.2016.12.014.

CAMPOS, Débora A. et al. Optimization of bromelain isolation from pineapple byproducts by polysaccharide complex formation. *Food Hydrocolloids*, v. 87, p. 792-804, fev. 2019.

CASAROTTO FILHO, Nelson C.; KOPITTKKE, Bruno H. *Análise de Investimentos*. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CASABAR, J. T.; UNPAPROM, Y.; RAMARAJ, R. Fermentation of pineapple fruit peel wastes for bioethanol production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 9, p. 761-765, 2019.

CÉSAR, A. C. W. *Análise de viabilidade econômica de um processo de extração e purificação da bromelina do abacaxi*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

CHAKRABORTY, A. J. et al. Bromelain a Potential Bioactive Compound: A Comprehensive Overview from a Pharmacological Perspective. *Life*, v. 11, p. 317, 2021. <https://doi.org/10.3390/life11040317>.

CLARK, James; DESWARTE, Fabien. *The Biorefinery Concept: An Integrated Approach*. *Introduction to Chemicals from Biomass: Second Edition*, v. 30, p. 1-29, 26 dez. 2014. DOI: 10.1002/9781118714478.ch1. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/chapter-epub/10.1002/9781118714478.ch1>. Acesso em: 20 nov. 2023.

COELHO, D. F.; SILVEIRA, E.; TAMBOURGI, E. B. Purification Processes and Market Potential of Bromelain in Brazil. *J. Chem. Chem. Eng.*, v. 8, p. 882-888, 2014. <https://doi.org/10.17265/1934-7375/2014.09.007>.

CORDEIRO, Noélie Khristinne et al. Gestão de Resíduos Agrícolas como Forma de Redução dos Impactos Ambientais. *REVISTA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS (RCA)*, Canoas, v. 14, n. 2, 2020. ISSN 1981-8858.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. Biorrefinarias: A Sustentabilidade como Fator de Competitividade. Campinas: Editora da Unicamp, 2010.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, E.; CARVAJAL-LÉRIDA, I.; PÉREZ-GÁLVEZ, A. In vitro bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research*, v. 29, n. 11, p. 751-760, 2009.

FELLOWS, P. J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. [S. l.], 24 mar. 2023. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/pineapple-production-by-country>. Acesso em: 20 nov. 2023.

HAMZAH, Adila Fazliyana Aili et al. Recent Updates on the Conversion of Pineapple Waste (*Ananas comosus*) to Value-Added Products, Future Perspectives and Challenges. *Agronomy*, v. 11, p. 2221, 2021.

KANDEMIR, Kevser et al. Fruit Juice Industry Wastes as a Source of Bioactives. *J. Agric. Food Chem*, [s. l.], 11 maio 2022. DOI: doi.org/10.1021/acs.jafc.2c00756. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jafc.2c00756>. Acesso em: 20 nov. 2023.

KETNAWA, Sunantha; RAWDKUEN, Saroat; CHAIWUT, Phanuphong. Two phase partitioning and collagen hydrolysis of bromelain from pineapple peel Nang Lae cultivar. *Biochemical Engineering Journal*, [s. l.], v. 52, p. 205-211, 15 nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2010.08.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369703X10002408>. Acesso em: 20 nov. 2023.

KLITKOU, Antje; FEVOLDEN, Arne Martin; CAPASSO, Marco. From Waste to Value: Valorisation Pathways for Organic Waste Streams in Circular Bioeconomies. Routledge, 2019. 327 p.

LICODIEDOFF, S. et al. Geléia de abacaxi: influência do tipo de pectina nas alterações físico-químicas durante o armazenamento. Comunicado Técnico 143. Embrapa: Bahia, 2010. 9 p.

LIMA JUNIOR, João da Rocha. Decidir sobre Investimentos no Setor da Construção Civil. 1998, 74 p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1998.

MEENA, L.; SINGH SENGAR, Animesh; NEOG, Rooman; SUNIL, C. K. Technological Advances in Utilization of Pineapple Processing By-Products: A Review. *Acta*

Horticulturae, v. 1331, p. 79-88, fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1331.10>. Acesso em: 26 out. 2023.

MEIRELES, S. et al. Impact of pineapple waste powder as a food additive on sensory and physicochemical properties of chicken nuggets. *Journal of Food Science and Technology*, v. 58, n. 9, p. 3493-3500, 2021.

MERCADO, L. G. et al. Application of bromelain extracted from pineapple (*Ananas comosus*) peel and central stem in gelatin hydrolysis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande - PB, v. 23, n. 1, p. 65-71, Jan. 2019.

MICHAEL, J. et al. Utilizing Pineapple Waste for Value-added Product Development. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2023.

NEVES, R.; SILVA, N. S.; CAMPOS, P. B. de. Gestão Sustentável de Resíduos da Agroindústria do Abacaxi: Uma Revisão da Literatura. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 3, p. 34-51, 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria de Trabalho. Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED). Novo CAGED. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/assuntos/dados-estatisticos/caged>. Acesso em: 25 jun. 2024.

OLIVEIRA, D. S. et al. A Utilização dos Resíduos de Abacaxi no Processo de Produção de Bebidas Fermentadas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2018, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018. Disponível em: <http://www.infohab.org.br>. Acesso em: 27 out. 2023.

PEREIRA, R. S. et al. Extraction of bromelain from pineapple: stability and purification aspects. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 57, p. 686-693, 2014.

POMIN, Vitor Henrique. Análise de viabilidade econômica da implantação de uma indústria de extratos vegetais da bromelina em São João da Boa Vista-SP. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de São João del-Rei, 2006.

RAHARDJO, Priyo; PUSPA, Lusia. The effect of using Bromelain enzyme on meat tenderness. *Procedia Food Science*, v. 3, p. 82-89, 2011.

REIS, P. et al. Fermentation of pineapple peel to produce ethanol: evaluation of different fermentation conditions and kinetic modeling. *Industrial Crops and Products*, v. 104, p. 314-320, 2017.

SANDOVAL, E. M.; CUENCA, M.; QUIÑÓNEZ, L. Physicochemical and functional properties of a bromelain-based enzyme extract from pineapple peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 41, p. e13162, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13162>.

SANTOS, A. M. dos; CANDIDO, M. C.; OLIVEIRA, G. C. de. Caracterização físico-química do abacaxi “Pérola” e “Smooth Cayenne” em diferentes épocas de colheita. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP*, v. 34, n. 4, p. 1098-1103, Dezembro 2012.

SILVA, J. Oportunidades de Crescimento no Mercado de Bromelina. *Revista de Farmacologia e Alimentos*, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2021.

SMITH, J. (2023). Demand Forecasting and Export Strategies in Industry. *Journal of Business Economics*, 10(2), 45-62.

SOUZA, Fernando de Oliveira; CAMPOS, Flávia da Silva. Viabilidade Econômica e Financeira na Tomada de Decisão Empresarial. Curitiba: InterSaberes, 2018.

TAVARES, M. M.; TAVARES, J. P. Reaproveitamento de resíduos de frutas tropicais na produção de sucos: abacaxi, banana e maracujá. *Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 37, n. 1, p. 35-44, 2019.

TESSARO, L. L. et al. Análise do abacaxi do tipo pérola comercializado na cidade de Porto União. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande*, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2016.

TOWLER, G.; SINNOTT, R. *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2008.

VIEIRA, M. S. et al. Características de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) após a colheita e o armazenamento. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, Manaus - AM*, v. 57, n. 2, p. 232-238, Maio 2014.

WANG, J. et al. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of citric acid production through different recovery methods. *Journal of cleaner production*, v. 249, n. 119315, p. 119315, 2020.