

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA
FÁBRICA DE RECICLAGEM DE POLIPROPILENO UTILIZANDO MODELAGEM
E SIMULAÇÃO PARA DIFERENTES CENÁRIOS DE DEMANDA**

Eduardo Santana de Lima

CAMPO GRANDE - MS

2025

EDUARDO SANTANA DE LIMA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA
FÁBRICA DE RECICLAGEM DE POLIPROPILENO UTILIZANDO MODELAGEM
E SIMULAÇÃO PARA DIFERENTES CENÁRIOS DE DEMANDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharelado.

Professor orientador: Prof. Dr. Tiago Henrique
Abreu Mateus

CAMPO GRANDE - MS

2025

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica da implantação de uma indústria de reciclagem mecânica de polipropileno, na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, considerando diferentes níveis de demanda. O estudo teve uma abordagem quantitativa e aplicada, fundamentada em orçamentos reais e revisão de literatura, aliando cálculos financeiros e modelagem computacional. Inicialmente realizou-se os cálculos das Despesas de capital (CAPEX), contemplando a construção do galpão industrial, aquisição de maquinário, sistema de reuso de água e capital de giro. A simulação permitiu não apenas observar a capacidade de produção em cada cenário, mas também identificar o grau de utilização dos equipamentos e da mão de obra, o que viabilizou a construção detalhada dos custos operacionais mensais (OPEX). Permitindo a montagem e análise dos fluxos de caixa anuais da empresa, que foram ajustados em relação a uma taxa média histórica do Índice de preços ao consumidor (IPCA), trazendo mais solidez às projeções. Para análise de investimento foram usados métodos de análise de investimento, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e payback descontado, para determinar a viabilidade econômica para cada nível de demanda simulado, considerando uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 14,65%. Os resultados demonstraram que a implantação de fábrica é viável, pois no cenário mais pessimista analisado em que o sistema opera abaixo da metade da sua capacidade produtiva, o projeto apresentou VPL positivo, um TIR superior à TMA e um payback descontado inferior ao horizonte de análise. Diante disso, conclui-se que a implantação da fábrica é viável, mesmo em cenários de baixa demanda, tornando-se uma alternativa sustentável diante da crescente geração de resíduos plásticos. O estudo destaca a importância do uso da simulação de eventos discretos no software ARENA como ferramenta imprescindível no estudo de viabilidade industrial, contribuindo com o dimensionamento adequado de recursos e a tomada de decisão fundamentada em dados realistas.

Palavras-chave: reciclagem; viabilidade econômica; simulação; polipropileno.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the economic viability of implementing a polypropylene mechanical recycling industry in the city of Campo Grande, Mato Grosso do Sul, considering different levels of demand. The study had a quantitative and applied approach, based on real budgets and literature review, combining financial calculations and computational modeling. Initially, CAPEX calculations were performed, including the construction of the industrial warehouse, acquisition of machinery, water reuse system and working capital. The simulation allowed not only to observe the production capacity in each scenario, but also to identify the degree of utilization of equipment and labor, which enabled the detailed construction of monthly operating costs (OPEX). Allowing the assembly and analysis of the company's annual cash flows, which were adjusted in relation to a historical average rate of the IPCA, bringing more solidity to the projections. For investment analysis, investment analysis methods, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and discounted payback, were used to determine the economic viability for each simulated demand level, considering a minimum attractiveness rate (MAR) of 14.65%. The results demonstrated that the implementation of the factory is viable, because in the most pessimistic scenario analyzed in which the system operates below half of its production capacity, the project presented a positive NPV, an IRR higher than the MAR and a discounted payback lower than the analysis horizon. Therefore, it is concluded that the implementation of the factory is viable, even in low demand scenarios, becoming a sustainable alternative in the face of the increasing generation of plastic waste. The study highlights the importance of using discrete event simulation in the ARENA software as an essential tool for industrial feasibility analysis, contributing to the proper sizing of resources and data-driven decision-making based on realistic scenarios.

Keywords: recycling; economic viability; simulation; polypropylene.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O uso global de plásticos quadruplicou em 30 anos, impulsionado principalmente pelas economias emergentes.....	10
Figura 2 - Fluxograma de etapas da reciclagem mecânica do plástico	13
Figura 3 - Módulos de fluxograma do Arena	15
Figura 4 - Módulo Create	15
Figura 5 - Módulo Process.....	16
Figura 6 - Correção pela inflação do preço do sistema de reuso	23
Figura 7 - Fluxograma do processo de reciclagem mecânica no Software Arena.....	29
Figura 8 - Process Moagem	34
Figura 9 - Process Extrusão	34
Figura 10 - Layout Indústria	39
Figura 11 – Gráfico de probabilidade para baixa demanda.....	44
Figura 12– Histograma baixa demanda.....	45
Figura 13 – Gráfico de probabilidade para média demanda.....	49
Figura 14– Histograma média demanda.....	49
Figura 14 – Gráfico de probabilidade para alta demanda.....	52
Figura 15– Histograma alta demanda.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Investimento na instalação do sistema de tratamento de água para reciclagem de plástico	17
Tabela 2 - Investimentos necessários para instalação da unidade industrial.....	20
Tabela 3 - OPEX indústria de reciclagem mecânica	21
Tabela 4 - Consumo de água diário	22
Tabela 5 - Consumo de água mensal	22
Tabela 6- Máquinas conjunto de moagem	23
Tabela 7 - Máquinas conjunto de moagem	23
Tabela 8 - Dados do sistema de moagem.....	24
Tabela 9 - Dados do sistema de extrusão	24
Tabela 10 - Média Salarial para cada função profissional	25
Tabela 11: Tarifa de energia da Energisa/MS	26
Tabela 12 – Tarifas praticadas pela Águas Guariroba	28
Tabela 13 - Preço de compra fardo de polipropileno.....	28
Tabela 14 - Preço de venda polipropileno granulado	29
Tabela 15 Tempo ótimo entre chegadas dos fardos do processo produtivo teórico	31
Tabela 16 - Número de separadores de sucata teórico.....	31
Tabela 17 - Tempo de separação dos fardos de polipropileno teórico	32
Tabela 18 - Valores de IPCA de 2005 a 2024	37
Tabela 19 - Distância entre o estoque e a balança	40
Tabela 20 - Distância entre a balança e o moinho	40
Tabela 21 - Análise de sensibilidade baixa demanda	41
Tabela 22 - Índice de ocupação de equipamentos em baixa demanda	42
Tabela 23 – Tempo das amostras em baixa demanda.....	43
Tabela 24 - Índice de ocupação de equipamentos em média demanda.....	46
Tabela 25: Tempo de separação dos fardos de polipropileno real	47
Tabela 26 Tempo ótimo entre chegada dos fardos média demanda	47
Tabela 27 – Tempo das amostras em média demanda	48
Tabela 28 - Índice de ocupação de equipamento em alta demanda	50
Tabela 29 – Tempo das amostras em alta demanda	51
Tabela 30 - Uso das máquinas baixa demanda.....	54
Tabela 31 - Consumo diário de energia baixa demanda	54
Tabela 32 - Consumo de água mensal em baixa demanda.....	55
Tabela 33 - Custo mensal de água mensal em baixa demanda.....	55
Tabela 34 – Custos com funcionários em baixa demanda	56
Tabela 35- OPEX em cenário de baixa demanda	56
Tabela 36 - Uso das máquinas média demanda	57
Tabela 37 - Consumo diário de energia média demanda	57
Tabela 38 - Consumo de água mensal em média demanda.....	58
Tabela 39 - Custo mensal de água mensal em média demanda	59
Tabela 40 - Custos funcionários média demanda	60

Tabela 41 - OPEX em cenário de média demanda	60
Tabela 42- Uso das máquinas alta demanda	61
Tabela 43 - Consumo diário de energia alta demanda	61
Tabela 44 - Consumo de água mensal em alta demanda	62
Tabela 45 - Custo mensal de água mensal em alta demanda	62
Tabela 46 - Custos funcionários	63
Tabela 47 - Custos mensais em cenário de alta demanda.....	64
Tabela 48 - DRE mensal para cada nível de demanda.....	64
Tabela 49 - Fluxo de caixa alta demanda parte 1	65
Tabela 50- Fluxo de caixa alta demanda parte 2	66
Tabela 51 - Fluxo de caixa média demanda parte 1	66
Tabela 52- Fluxo de caixa média demanda parte 2	67
Tabela 53- Fluxo de caixa baixa demanda parte 1	68
Tabela 54- Fluxo de caixa baixa demanda parte 2	68
Tabela 55 - Fluxo de entrada de caixa para cada nível de demanda.....	69
Tabela 56- VPL de 6 anos em cada cenário de demanda.....	70
Tabela 57- TIR em cada cenário de demanda	70
Tabela 58 - Valor presente acumulado em alta demanda	70
Tabela 59 - Valor presente acumulado em média demanda.....	71
Tabela 60 - Valor presente acumulado em baixa demanda.....	71
Tabela 61- Tempo de Payback descontado	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo geral	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 Hipótese.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Reciclagem mecânica	13
2.2 Simulação discreta de processos industriais com o software ARENA	14
2.3 Consumo de água	16
2.4 Consumo de energia	17
2.5 Regime tributário	18
2.6 Métodos de análise de investimento: VPL, payback descontado e TIR	18
3 METODOLOGIA	20
3.1 Levantamento de dados	20
3.1.1 Custos de Construção	21
3.1.2 Custos do sistema de reuso de água	21
3.1.3 Custos de compra maquinário	23
3.1.4 Salário dos funcionários	25
3.1.5 Custos energia	26
3.1.6 Custos água e esgoto	27
3.1.7 Preço de compra do polipropileno preto	28
3.1.8 Custos de matéria prima	28
3.1.9 Preço de venda do polipropileno preto	29
3.2 Modelagem da produção em diferentes níveis de demanda	29
3.2.1 Módulo Create	30
3.2.2 Módulo verificação de mercadoria.....	31
3.2.3 Transporte e pesagem do fardo de polipropileno	32
3.2.4 Módulos do sistema de moagem.....	33
3.2.4 Módulos do sistema de extrusão	34
3.3 Análise de viabilidade	35
3.3.1 Demonstração do Resultado do Exercício	35
3.3.1.1 Receita bruta	35
3.3.1.2 Receita líquida de venda.....	35
3.3.1.3 Lucro operacional.....	35
3.3.1.4 Lucro presumido	35
3.3.1.5 Lucro Líquido do Exercício	36
3.3.2 Fluxo de caixa	36
3.3.2 Valor presente líquido	37
3.3.4 Taxa interna de retorno.....	37
3.3.5 Payback descontado	38

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 Montagem do layout	39
4.1.1 Análise de sensibilidade	41
4.2 Simulação nos três cenários de demanda	41
4.2.1 Baixa demanda.....	41
4.2.1.1 Confiabilidade estatística baixa demanda.....	42
4.2.2 Simulação média demanda	46
4.2.2.1 Confiabilidade estatística média demanda.....	47
4.2.3 Simulação alta demanda	50
4.2.3.1 Confiabilidade estatística alta demanda	51
4.3 Cálculo de investimentos e despesas.....	53
4.3.1 Investimento Inicial.....	53
4.3.2 Custos em baixa demanda	54
4.3.2.1 Custos energéticos em baixa demanda	54
4.3.2.2 Custos de água e esgoto em baixa demanda	55
4.3.2.3 Custos da matéria prima em baixa demanda.....	56
4.3.2.4 Custos de mão de obra em baixa demanda	56
4.3.3 Custos em Média Demanda	57
4.3.3.1 Custos energéticos em média demanda	57
4.3.3.2 Custos de água e esgoto em média demanda	58
4.3.3.3 Custos da matéria prima em média demanda	59
4.3.3.4 Custos de mão de obra em média demanda.....	59
4.3.4 Custos em alta demanda	60
4.3.4.1 Custos energéticos em alta demanda	60
4.3.4.2 Custos de água e esgoto em alta demanda.....	62
4.3.4.3 Custos da matéria prima em alta demanda	63
4.3.4.4 Custos de mão de obra em alta demanda.....	63
4.4 Demonstração de resultado de exercício	64
4.5 Fluxo de Caixa	65
4.6 Valor presente líquido	69
4.7 Taxa interna de retorno.....	70
4.8 Payback descontado	70
4.8.1 Payback descontado em alta demanda	70
4.8.2 Payback descontado em média demanda.....	71
4.8.3 Payback descontado em baixa demanda.....	71
5 CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	77

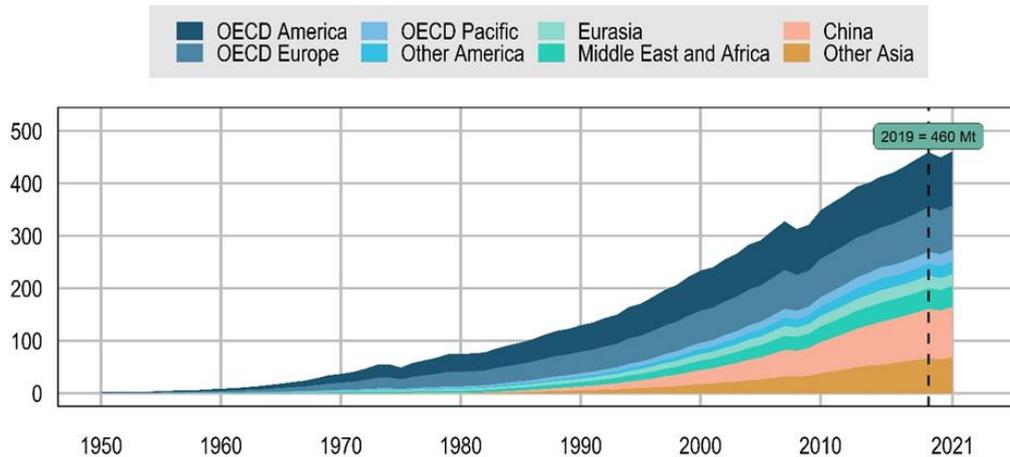
1 INTRODUÇÃO

Os plásticos são materiais altamente versáteis, leves e acessíveis, são empregados em inúmeras aplicações industriais e tornaram-se extremamente úteis para a sociedade moderna (OCDE, 2022). Entretanto, de acordo com Kibria (2023), o mundo enfrenta o desafio da gestão adequada e da recuperação de recursos da enorme quantidade de resíduos plásticos. Seu descarte massivo e persistente no meio ambiente tem provocado uma série de efeitos negativos de ordem social, econômica e ecológica (OCDE, 2022).

De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o crescimento populacional e o aumento da renda impulsionaram a produção global de plástico, que dobrou, saltando de 243 milhões de toneladas em 2000 para 460 milhões de toneladas em 2019, como mostra a Figura (1). Nesse mesmo período, o crescimento dos volumes de plásticos superou o crescimento econômico em quase 40%.

A ONU (2024), aponta que entre o período de 1994 até 2024, a população mundial cresceu de 5,6 para 8,1 bilhões de pessoas, e estima que continue a crescer, alcançando 9,9 bilhões em 2054. Caso os padrões de comportamento de consumo permaneçam inalterados, é razoável projetar que os impactos ambientais associados tendam a permanecer.

Figura 1 - O uso global de plásticos quadruplicou em 30 anos, impulsionado principalmente pelas economias emergentes



Fonte: OCDE

No entanto, com tal crescimento em produção, vemos um índice ainda pequeno de reciclagem globalmente, apenas 9% dos resíduos plásticos são efetivamente reciclados; o restante é destinado a incineração (19%), aterros sanitários (quase 50%) ou descartado de forma inadequada (22%), comprometendo ecossistemas e recursos naturais (OCDE, 2022). Essas

práticas resultam na proliferação de microplásticos em solos, corpos hídricos e cadeias alimentares, impactando não apenas a biodiversidade, mas também a saúde humana.

Os impactos ambientais causados pelo plástico extrapolam a poluição visual ou o entupimento de sistemas de drenagem urbana. A produção, o descarte inadequado e a degradação do material contribuem significativamente para as emissões globais de gases de efeito estufa (OCDE, 2022). Além disso, os microplásticos resultantes de sua fragmentação estão amplamente disseminados no ar que respiramos (Gasperi et al, 2018), nos ecossistemas aquáticos, como mares e rios e em ambientes terrestres (Ribeiro-Brasil, 2020).

Embora alternativas como os bioplásticos sejam discutidas como soluções potenciais, de acordo com Brizga (2020), atualmente, a substituição total das embalagens petroquímicas não é viável, pois isso resultará inevitavelmente em um aumento considerável no uso de recursos naturais como água e terreno, gerando novos impactos socioambientais.

De acordo com Kibria (2023), a falta de competências técnicas para a gestão de resíduos perigosos, o desenvolvimento insuficiente de infraestruturas para reciclagem e recuperação e, acima de tudo, a falta de conhecimento das regras e regulamentos são os principais fatores por trás desta enorme pilha de resíduos plásticos.

Nesse cenário, a produção secundária de plástico, por meio da reciclagem, se destaca como alternativa para mitigar esses impactos, sendo uma das alavancas essenciais para reverter a curva do plástico (OCDE, 2022).

No entanto, segundo a OCDE (2018), economicamente, existem vários impulsionadores e barreiras à produção secundária. Historicamente, o material secundário tem sido frequentemente usado pelos fabricantes como um substituto (de baixo custo) para o plástico primário. Como resultado, o preço dos plásticos secundários correlacionou-se com o preço dos equivalentes de plástico primário. Essa ausência de uma demanda separada por material secundário afeta a viabilidade da reciclagem, uma vez que os preços dos materiais secundários não refletem totalmente os custos da produção secundária (por exemplo, coleta, triagem e processamento), mas seguem os padrões de preços dos plásticos primários e seus insumos (por exemplo, preços do petróleo). Isso deixa os mercados de plásticos secundários expostos às flutuações de preços nos mercados de plásticos primários. Além disso, em comparação com as empresas que produzem plásticos primários, as empresas de reciclagem produzem menos material, são menos intensivas em capital e têm menos vendas, tornando-as menos resilientes. Essas diferenças entre os mercados primário e secundário sugerem que os mercados secundários são relativamente pequenos e vulneráveis.

Além disso, de acordo com SEBRAE (2023), a taxa de mortalidade de novas indústrias após o período de 5 anos é de 27,3%. Cenário que torna desafiador a abertura de uma nova indústria sem um devido preparo. A abertura de uma nova indústria, portanto, exige não apenas capital e infraestrutura, mas também uma análise criteriosa da estrutura de custos, retorno esperado e riscos operacionais.

Assim questiona-se, é economicamente viável implantar uma indústria de reciclagem mecânica de plásticos na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul?

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade econômica da implantação de uma indústria de reciclagem mecânica de plástico, na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, considerando diferentes níveis de demanda.

1.2 Objetivos específicos

Montar o layout da indústria;
Modelar e simular o processo produtivo em diferentes níveis de demanda;
Identificar as despesas de capital (CAPEX) e despesas operacionais (OPEX);
Estimar os fluxos de caixa e calcular indicadores financeiros (VPL, TIR, Payback).

1.3 Hipótese

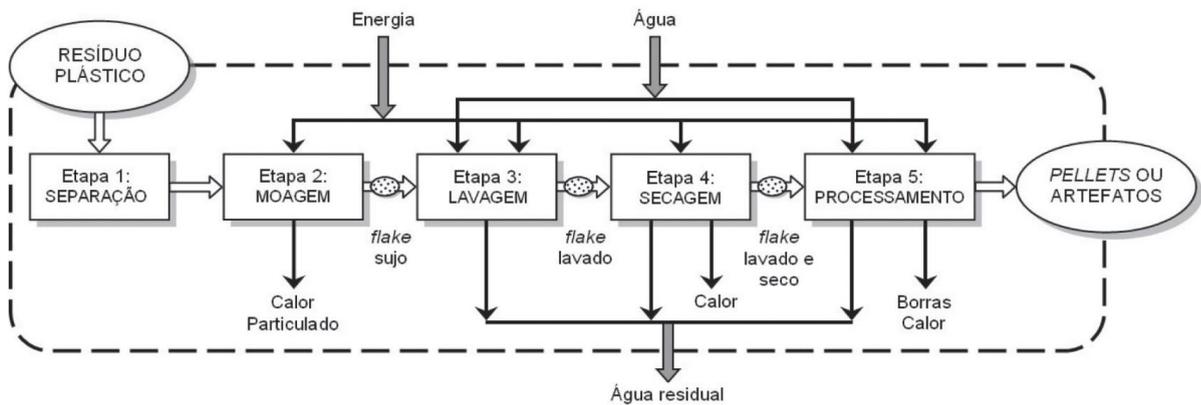
Em cenários de baixa demanda, nos quais a empresa funciona com capacidade mínima operacional é inviável a implantação da indústria de reciclagem mecânica de polipropileno.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Reciclagem Mecânica

Durante o processo de reciclagem mecânica de plástico ocorrem 5 etapas, como é descrito na Figura (2), sendo elas, separação, moagem, lavagem, secagem e processamento, gerando os grãos de plásticos (Spinacé, 2004).

Figura 2 - Fluxograma de etapas da reciclagem mecânica do plástico



Autor: Pacheco (2011)

Na etapa de separação, é essencial cuidar para que não haja misturas de plásticos, evitando esforços posteriores. Como existem diferentes famílias de plásticos, que, muitas vezes, não são compatíveis quimicamente entre si, a mistura inadvertida de alguns tipos pode resultar em materiais defeituosos e de baixa qualidade, sem as especificações técnicas necessárias para retornar à produção como matéria-prima (Cempre, 2010; Mano et al., 2005 *apud* Pacheco, 2011).

No Brasil, como a maioria das empresas de reciclagem é de pequeno porte e a mão-de-obra é barata, a separação é feita principalmente de forma manual. A separação dos polímeros pode ser feita através da identificação da simbologia contida no produto acabado e/ou a utilização de testes simples, como o de odor dos vapores de queima, aparência da chama, temperatura de fusão e solubilidade, os quais são baseados em suas características físicas e de degradação térmica, que são distintas. (Spinacé, 2004)

Os plásticos selecionados seguem para a etapa de moagem, a fim de serem fragmentados em partes menores - os flakes. Durante ou após a moagem, ocorre a limpeza do material, etapa em que se retiram os contaminantes, através de lavagem. Para tanto, utiliza-se água pura, na

qual pode ser adicionado algum aditivo, em pequena quantidade, dependendo do grau de contaminação ou nível de sujeira dos resíduos (Pires, 2009 *apud* Pacheco, 2011).

A secagem é uma etapa fundamental na reciclagem de plásticos de forma a eliminar a água que adere à superfície do polímero durante a lavagem. Para a reciclagem do polipropileno é imprescindível remover a água para evitar, principalmente, o ataque corrosivo aos equipamentos metálicos, a diminuição da temperatura necessária para o processo de transformação e a formação de produtos com bolhas (Zanin; Mancini, 2009, p. 102- 103).

Os flakes lavados e secos seguem para o processamento na extrusora, onde o plástico é amolecido e pode ser homogeneizado com alguma carga, como fibra de vidro, pigmento, talco, serragem de madeira ou outra, para formação de artefatos compósitos. O processamento por extrusão é bastante utilizado, principalmente na fabricação de pellets, os quais podem ser adquiridos por empresas de transformação ou alimentar outro processo de extrusão, injeção ou intrusão para moldagem de artefatos (Manrich, 2005 *apud* Pacheco, 2011).

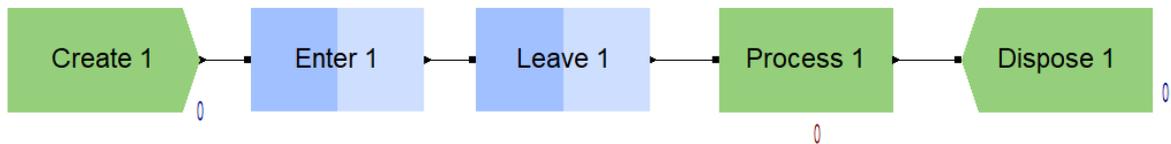
2.2 Simulação Discreta de Processos Industriais com o Software ARENA

O Arena, é o principal software de simulação de eventos discretos do mundo, permitindo simular todos os cenários de negócios e entender as operações diárias em detalhes, parecendo o comportamento em ambientes hipotéticos de operação. É possível simular uma nova linha de produção ou a expansão da atual (Paragon, 2025).

Em situações em que não é possível obter dados confiáveis para basear o modelo que está sendo montado, como na inexistência do sistema, a coleta de dados ser muito cara ou disruptiva, ou a não cooperação ou autorização necessária, será necessário se basear para a montagem do modelo em suposições arbitrárias, que são chamadas de “dados ad hoc”. No entanto, para validar e trazer uma ideia realista de quanto confiar nos resultados é necessário realizar algum tipo de análise de sensibilidade da saída das entradas ad hoc (Kelton et al, 2015).

O Arena possibilita criar modelos, acompanhar o desempenho de recursos (como máquinas e operadores), medir tempos de fila, utilização de equipamentos e produção. Essa funcionalidade é essencial para a engenharia de produção ao permitir testes de hipóteses sem o custo ou risco de mudanças reais no ambiente industrial.

Figura 3 - Módulos de fluxograma do Arena



Fonte: Autor

O módulo Create é o ponto de partida para as entidades em um modelo de simulação, como pode ser visto na Figura (3). As entidades são criadas usando um cronograma ou com base em um intervalo de tempo entre as chegadas. As entidades então saem do módulo para iniciar o processamento no sistema (Paragon, 2025).

Figura 4 - Módulo Create

A captura de tela mostra a janela de configuração do módulo 'Create' no software Arena. A janela tem o título 'Create' e ícones de ajuda e fechar. Os campos de configuração são os seguintes:

- Name:** Create 1
- Entity Type:** Entity 1
- Time Between Arrivals:**
 - Type:** Random (Expo)
 - Value:** 1
 - Units:** Hours
- Entities per Arrival:** 1
- Max Arrivals:** Infinite
- First Creation:** 0.0
- Comment:** (campo de texto vazio)

Na base da janela, há três botões: 'OK', 'Cancelar' e 'Ajuda'.

Fonte: Autor

A modelagem no Arena se inicia no Entity, as entidades são a parte circulante do modelo, que percorre a lógica estabelecida pelo fluxograma, interagindo com os recursos. O módulo de Dados Entity reúne as definições e parâmetros referentes a todos os tipos de entidades usadas pelo modelo (Bianquini, 2024).

O módulo de fluxograma Create serve para introduzir as entidades no modelo segundo intervalos de tempo definidos. Essas entidades podem representar clientes, produtos, peças ou materiais a serem processados. E como pode ser visto na figura [4], é possível definir o tempo entre chegadas, o número de entidades geradas e condições específicas de parada (Paragon, 2025).

De acordo com a Paragon o módulo de fluxograma Process tem a função de representar qualquer ação dentro do sistema que leve um tempo para ser cumprida. Também é capaz de

representar a ocupação de uma máquina ou operador (recurso). A janela de opções do módulo Process pode ser vista na Figura (5):

Figura 5 - Módulo Process

Fonte: Autor

De acordo com a Paragon, o Dispose é o ponto final para todas as entidades no modelo de simulação, é um módulo de fluxograma que tem uma função inversa à do módulo Create, retirando as entidades do sistema, e encerrando toda a simulação.

2.3 Consumo de água

Um grande problema na reciclagem de resíduos plásticos é o tratamento do efluente de lavagem, o qual contém uma alta carga poluidora e, justamente por causa de seus elevados níveis de contaminação orgânica e inorgânica, não pode ser descartado sem tratamento (Bordonalli; Mendes, 2005 *apud* Bordonalli; Mendes, 2009).

De acordo com Bordonalli e Mendes (2009) são utilizados entre 2 a 3 litros de água por quilograma de plástico reciclado no processo de reciclagem mecânica de plásticos, gasto que junto a sua carga poluidora. O consumo específico da água no processo produtivo não sofre alteração com a implantação do reúso de efluentes tratados mantendo-se em 2,7 L/kg de matéria-prima reciclada (Bordonalli; Mendes, 2009).

No entanto as perdas de água inerentes ao processo produtivo e tratamento de efluentes, chegam a 8,3% do volume circulante diário dentro do processo de reciclagem. Sendo necessário a entrada de água fora do sistema de tratamento (Bordonalli; Mendes, 2009).

O investimento necessário para instalação do sistema de tratamento de água descrito por Bordonalli e Mendes, 2009 é descrito na Figura (6).

Tabela 1 - Investimento na instalação do sistema de tratamento de água para reciclagem de plástico

	Descrição	Valor
bombas dosadoras e tanques de preparação de produtos químicos	hidroxicloreto de alumínio	R\$ 2.150,00
	soda cáustica	R\$ 3.850,00
	polieletrólito	R\$ 3.850,00
bombas centrifugas	câmara de retenção de sólidos grosseiros	R\$ 1.760,00
	Recalque dos efluentes brutos	R\$ 1.760,00
	recalque dos efluentes tratados	R\$ 1.250,00
	pHmetro de processo	R\$ 2.865,00
	rotômetros	R\$ 830,00
	floculador, incluído tanque e turbina	R\$ 8.500,00
	caixa de sucção de efluentes tratados	R\$ 1.950,00
	reservatório de água para reuso	R\$ 2.120,00
	obras civis, incluindo limpeza, preparação do terreno, fundações, estrutura, revestimento, impermeabilizações e materias diversos, (tintas, brita, areia, cimento, ferragens, escadas, grelhas etc.)	R\$ 38.670,00
	instalações hidráulicas e elétricas, incluído mão-de-obra	R\$ 5.340,00
	TOTAL	R\$ 74.895,00

Fonte: Adaptado de Bordonalli; Mendes, 2009s

2.4 Consumo de Energia

O setor industrial é um dos maiores consumidores de energia do país, representando 31,8 % de todo o consumo de energia no país no ano de 2023 (Ministério de Minas e energia, 2024). Tal reflexo é também evidenciado na indústria de reciclagem plástica.

Mesmo a reciclagem mecânica apresentando um consumo energético inferior aos outros métodos de reciclagem (Kalali, 2023), elas são grandes consumidoras de energia. Este uso corresponde à utilização de motores (movimento) e resistência elétrica (aquecimento). Tais indústrias necessitam de equipamentos elétricos de elevada potência para todas as etapas de fabricação, desde obtenção do grão reciclado até o seu processamento e também para a conformação do produto acabado (Silva et al, 2014).

Sendo então o estudo dos gastos energéticos um fator de grande relevância no estudo da viabilidade econômica de uma indústria de reciclagem mecânica de plástico.

2.5 Regime Tributário

A base de cálculo do imposto, que deve ser determinada segundo a legislação vigente na data da ocorrência do fator gerador, é o lucro real, lucro presumido ou lucro arbitrado, correspondentes ao período de apuração. Sendo a alíquota do imposto de renda das pessoas jurídicas de 15%, havendo um adicional de 10% sobre a parcela do lucro que exceder o valor resultante da multiplicação de R\$20.000,00 (vinte mil reais) pelo número de meses do respectivo período de apuração (Viceconti, 2018).

De acordo com Viceconti (2018), para determinar o valor do lucro presumido deve-se multiplicar o valor do lucro bruto pelo valor resultante do percentual variável conforme a atividade da pessoa jurídica, que de acordo com o portal tributário é de 8% para a indústria de reciclagem plástica, por não se enquadrar em nenhuma outra descrita.

Para o cálculo da Contribuição Social sobre lucro líquido (CSLL) é também calculada no lucro presumido com uma base de cálculo de 12% em relação ao lucro bruto, e alíquota de 9% (Viceconti, 2018, p. 44).

2.6 Métodos de análise de investimento: VPL, Payback descontado e TIR

O valor presente líquido (VPL) é o método utilizado pela maioria das grandes empresas para avaliar projetos de investimento. O VPL considera o valor dos dinheiros dos investimentos no tempo, é uma técnica mais sofisticada de orçamento de capital do que a abordagem de payback. O método do VPL descontado os fluxos de caixa ao custo de capital (Gitman, 2017, p 403).

O VPL é calculado, como mostra a Equação (1), subtraindo o investimento inicial de um projeto (FC_0) do valor presente de suas entradas de caixa (FC_t), descontadas a uma taxa igual ao custo de capital (r) da empresa (Gitman, 2017, p 404).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0 \quad (1)$$

Os critérios usados para decisão de viabilidade do projeto por meio do VPL é que seu valor seja maior que R\$0, o mesmo deve ser rejeitado caso seja menor que R\$0 (Gitman, 2017, p 404).

Já a taxa interna de retorno (TIR), como pode ser observado na Equação (2) é a taxa de desconto que iguala o VPL de uma oportunidade de investimento a R\$0 (isso porque o valor presente das entradas de caixa é igual ao investimento inicial). É a taxa de retorno que a empresa obterá se investir no projeto e receber as entradas de caixa previstas (Gitman, 2017, p 407).

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = FC_0 \quad (2)$$

Os critérios para a decisão de aceitar ou rejeitar o investimento usando o TIR, é que seu valor do TIR for maior que o custo de capital, o investimento deve ser aceito, se menor que o custo de capital o projeto deve ser rejeitado (Gitman, 2017, p 408).

De acordo com Gitman (2017), cada abordagem de análise de investimento possui vantagens teóricas e práticas distintas, o que dificulta a escolha de uma única metodologia. Por isso, é recomendável utilizar tanto o VPL quanto a TIR de forma complementar para uma avaliação mais robusta.

Segundo Gitman (2017) o Payback Descontado, tempo necessário para que a empresa recupere o investimento inicial, apresenta algumas fragilidades que a torna menos atrativa para usá-la como método principal de tomada de decisão de investimento. A sua fraqueza é que o período apropriado para que a empresa recupere seu investimento inicial é um número determinado de maneira subjetivo, não podendo também ser especificado com tendo o objetivo de maximizar a riqueza, pois não se baseia no desconto de fluxos de caixa para determinar se adicionam valor à empresa.

No entanto, ao medir o quão rapidamente a empresa recupera seu investimento inicial, o período de payback considera implicitamente o timing dos fluxos de caixa. como pode ser visto como uma medida da exposição ao risco, muitas empresas utilizam o período de payback como um critério de decisão ou como um complemento de outras técnicas de decisão (Gitman, 2017, p 400).

3 METODOLOGIA

Este estudo utilizou uma abordagem quantitativa e aplicada, com foco em avaliação econômica e simulação computacional. O objetivo principal foi analisar a viabilidade de implantação e operação de uma indústria de reciclagem mecânica de plásticos, com foco na produção de polipropileno reciclado (PP), por meio da estimativa dos custos de instalação, operação e retorno do investimento. Para isso, foram combinadas técnicas de orçamentação de capital, modelagem e simulação e análise de desempenho econômico-financeiro.

A metodologia adotada está dividida em três etapas principais: (i) levantamento de dados técnicos e financeiros para instalação e operação da indústria, (ii) simulação da produção em diferentes níveis de demanda com uso do software Arena, e (iii) análise da viabilidade econômica com base em indicadores financeiros, VPL, TIR e Payback descontado.

3.1 Levantamento de dados

Para realizar o estudo de viabilidade e entender em quanto tempo o valor investido retornará, é necessário estimar o investimento inicial em capital (CAPEX) e despesas operacionais recorrentes mensais (OPEX), para cada nível de demanda.

Os componentes que constituem CAPEX da construção da unidade industrial são descritos na Tabela (2).

Tabela 2 - Investimentos necessários para instalação da unidade industrial

Investimentos necessários
Construção do galpão
Sistema de tratamento de água
Maquinário sistema de moagem
Maquinário sistema de extrusão

Fonte: Autor

Para o cálculo, além dos custos de instalação da indústria é necessário calcular os custos mensais de operação (OPEX), descritos na Tabela (3), nos 3 cenários de demanda simulados.

Tabela 3 - OPEX indústria de reciclagem mecânica

Custos fixos e variáveis
Água e esgoto
Salário dos funcionários
Energia
Matéria prima
Fonte: Autor

3.1.1 Custos de Construção

Inicialmente, para a construção do galpão industrial, foi utilizado como base de cálculo o valor médio por metro quadrado de galpão industrial divulgado pelo Sindicato da Indústria da Construção (Sinduscon/MS). Segundo dados de referência (SINDUSCON-MS, 2025), o custo médio de construção é de R\$938,38 por metro quadrado em abril de 2025. Sendo assim, considerando que o projeto prevê a construção de um galpão com área total de 500 m², o custo estimado para esta etapa é apresentado na Equação (3):

$$\text{Custo do galpão} = 500 \text{ m}^2 * \text{R\$ } 938,38/\text{m}^2 \quad (3)$$

Assim, o valor de construção do galpão industrial é de R\$469.190,00.

3.1.2 Custos do sistema de reuso de água

Além disso, para atender às exigências ambientais e promover a sustentabilidade da indústria, foi previsto o investimento em um sistema de reuso de água. O valor deste sistema foi obtido com base em estudo acadêmico publicado por Bordonalli e Mendes (2009), que descrevem a implementação de um sistema físico-químico de reuso de água em uma indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. Para calcular se o sistema de tratamento de água atende às necessidades da indústria instalada, foi necessário entender o consumo de água do processo de reciclagem.

De acordo com Bordonalli e Mendes (2009) são utilizados entre 2 e 3 litros de água por quilograma de plástico reciclado. Para vias de estudo 2,7 L/kg reciclado, assim o uso mensal de água pode ser obtido pela Equação (4):

$$\begin{aligned}
 \text{Uso diário } L &= \text{Produção } \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \text{horas de operação} \\
 &* \text{Uso de água } \frac{L}{\text{kg}}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Dessa forma obtemos os valores de consumo de água mensal gerados em cada nível de demanda, descritas na tabela (4).

Tabela 4 - Consumo de água diário

Descrição	Baixa demanda	Média demanda	Alta demanda
Produção kg/h	200	300	410,75
Uso de água L/kg	2,7	2,7	2,7
Operação diária h	8	8	8
Uso diário de água L	4320	6480	8872,2

Fonte: Autor

O uso anual com água para a produção na indústria de reciclagem mecânica é calculado por meio do uso da Equação (5):

$$\text{Uso de água mensal } m^3 = \frac{\text{Uso diário} \cdot \text{dias úteis ano}}{12 \cdot 1000}
 \tag{5}$$

Dessa forma, obtemos o uso anual com água para a produção na indústria de reciclagem mecânica para cada nível de demanda, descrita na Tabela (5).

Tabela 5 - Consumo de água mensal

Descrição	Baixa demanda	Média demanda	Alta demanda
Uso diário de água L	4320	6480	8872,2
Dias úteis no ano	253	253	253
Consumo de água mensal	91,08	136,60	187,055

Fonte: Autor

Para a montagem de um sistema de tratamento com capacidade para atender todos os níveis de demanda foi usado como referência um sistema com capacidade de manter operante uma produção de 4800 kg diária, com uma vazão de 2 m^3 por hora, de acordo com (Bordonalli; Mendes, 2009).

O estudo foi feito em setembro de 2009, para que o seu uso fosse possível nesse trabalho, foi realizado um reajuste no valor do sistema de tratamento de água, descritos na Figura (6), considerando a inflação dos anos corridos até abril do ano de 2025.

Figura 6 - Correção pela inflação do preço do sistema de reuso

Resultado da Correção pelo IPCA (IBGE)

Dados básicos da correção pelo IPCA (IBGE)	
Dados informados	
Data inicial	07/2009
Data final	04/2025
Valor nominal	R\$ 74.895,00 (REAL)
Dados calculados	
Índice de correção no período	2,45241380
Valor percentual correspondente	145,241380 %
Valor corrigido na data final	R\$ 183.673,53 (REAL)

Fonte: Banco Central, 2025

Assim temos um valor de investimento de R\$183.673.53, descrito na Figura (6) ajustado pela inflação de setembro de 2009 até abril de 2025.

3.1.3 Custos de compra maquinário

Para a operação industrial é necessário a compra do maquinário específico para reciclagem do polipropileno e sua granulação, assim os equipamentos usados na indústria foram orçados em uma fornecedora de equipamentos para reciclagem de plástico no Paraná em dois sistemas de máquinas, o conjunto de moagem e o conjunto de extrusão, como mostram as Tabelas (6) e (7).

Tabela 6- Máquinas conjunto de moagem

Conjunto de moagem
Esteira de alimentação
Moinho
Lavadora
Tanque de descontaminação
Secadora

Fonte: Elaboração do autor com base em fornecedor de equipamentos

Tabela 7 - Máquinas conjunto de moagem

Conjunto de extrusão
Extrusora
Banheira de resfriamento
Granuladora

Fonte: Elaboração do autor com base em fornecedor de equipamentos

As informações técnicas das máquinas do conjunto de moagem orçados foram dispostas na Tabela (8).

Tabela 8 - Dados do sistema de moagem

Sistema moagem	Dimensões maquinário		Preço	Cap. produtiva	Operadores	Potência
	Largura (mm)	Comprimento (mm)				
Máquinas						
Esteira de alimentação	800	6000	-	80		2
Moinho	1430	1650	-	800		50
Lavadora	850	2350	-	800	2	30
Tanque de desconta- minação	1000	5000	-	800		6
Secadora	850	2350	-	800		30
Total	1430	17350	574.132,00	800	2	118

Fonte: Elaboração do autor com base em fornecedor de equipamentos

A empresa fornecedora dos equipamentos forneceu apenas o preço do sistema completo de equipamentos, não disponibilizando os preços unitários. Foram coletados também os dados técnicos do sistema de extrusão, cujas informações técnicas foram dispostas na Tabela (9).

Tabela 9 - Dados do sistema de extrusão

Sistema extrusão	Dimensões maquinário		Preço	Capacidade Produtiva	Operadores	Potência
	Largura (mm)	Comprimento (mm)				
Máquinas						
Extrusora	600	6000	-	450	2	100

Banheira de resfriamento	600	6000	-	450	-
Granuladora	600	950	-	450	7
Total	600	12950	830.136,48	450	2 107

Fonte: Elaboração do autor com base em fornecedor de equipamentos

O valor do conjunto de moagem orçado foi orçado em R\$574.132,00 e o conjunto de extrusão em R\$830.116,48. Assim o valor total gasto com maquinário foi de R\$ 1.404.248,48.

Para a alta demanda foi escolhida a produção de 450 kg/h, pois é a capacidade máxima do sistema de extrusão, sendo o gargalo entre o maquinário, a baixa demanda estabeleceu-se a produção de 200 kg/h, correspondente ao limite mínimo de operação do equipamento. Já a média demanda foi definido o valor de 300 kg/h, valor próximo a média dois extremos, representando uma capacidade operacional moderada e realista, e inteiro facilitando a simulação.

3.1.4 Salário dos funcionários

Para o cálculo dos custos fixos dos salários dos funcionários, foi usado os dados referentes à quantidade de operadores para cada maquinário, fornecidos pela empresa do Paraná fornecedora dos dados das máquinas, como mostram a Tabela (8) e Tabela (9), e usados cálculos teóricos do número de separadores que pode ser observado na Tabela (14), que serão validados pela posterior simulação. Os salários tiveram como base a média salarial das ocupações no Mato Grosso do Sul nos dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), 2025.

Tabela 10 - Média Salarial para cada função profissional

Funcionários	Média salarial
Separador de Sucata	R\$ 1.738,01
Operador de Extrusora	R\$ 2.368,41
Operador de Moinho	R\$ 2.003,84
Operador de Empilhadeira	R\$ 2.135,00

Fonte: Elaboração do autor com base em CAGED

Assim os custos fixos serão calculados para cada demanda pelo produto da média salarial pelo número de funcionários em cada cargo.

3.1.5 Custos energia

Para estimar o consumo energético mensal da indústria, foi necessário, inicialmente, determinar o tempo efetivo de utilização dos equipamentos durante uma jornada operacional de 8 horas, para cada nível de demanda analisado. Esse tempo foi obtido por meio da simulação no software Arena, a partir do índice de utilização (NumberBusy) de cada equipamento no sistema produtivo. Multiplicando esse índice pela jornada diária de trabalho, foi possível calcular o número de horas em que cada máquina permaneceu ativa por dia.

Com base nesses dados, e considerando a potência nominal de cada equipamento, conforme apresentado nas Tabelas (8) e (9), realizou-se o cálculo do consumo diário de energia da planta industrial. Esse valor corresponde ao produto entre a potência (kW) e o tempo de uso (horas) de cada máquina, somado para todas as unidades do sistema.

A fim de converter esse consumo em custo monetário, foi considerada a tarifa de energia elétrica vigente para o setor industrial, conforme tabela divulgada pela concessionária Energisa MS. A Tabela (11) apresenta o valor da tarifa utilizado no cálculo.

Tabela 11: Tarifa de energia da Energisa/MS

GRUPO	CLASSE	TUSD + TE						
		DEMANDA (R\$/kW)				CONSUMO (R\$/kW)		
		PONTA	FORA PONTA	ULTRAPASSAGEM		BDV		
				PONTA	FORA PONTA	PONTA	FORA PONTA	
AZUL	A4 (13,8 kV)	SERVIÇO PÚBLICO	66,7	34,28	133,4	68,56	0,59644	0,4221
		RURAL	66,7	34,28	133,4	68,56	0,59644	0,4221
		RURAL IRRIGAÇÃO	66,7	34,28	133,4	68,56	0,59644	0,4221
		DEMAIS CLASSES	66,7	34,28	133,4	68,56	0,59644	0,4221
VERDE	A4 (13,8 kV)	SERVIÇO PÚBLICO	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,4221
		RURAL	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,4221
		RURAL IRRIGAÇÃO	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,4221
		DEMAIS CLASSES	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,4221

Fonte: Energisa (2025)

Por meio da somatória das potências CV das tabelas (8) e Tabela (9), convertendo para kW, temos uma potência de 165,48 kW, se encaixando no subgrupo A4 apresentados na Tabela (11), como a fábrica irá funcionar em uma jornada de 8 horas diárias, funcionará apenas no

período fora ponta, sendo então mais vantajoso economicamente se adequar no subgrupo verde A4, já que os custos de operação na ponta, ou seja em período de pico em uso de energia são mais caros.

Tendo uma potência usada com todos os equipamentos em funcionamento é de 165,48 kW, para a demanda contratada para a fábrica foi definido como 170 kW, com o objetivo de dar margem de segurança para a operação.

Com esses dados, o custo mensal é definido como o custo da capacidade instalada, mostrado na Equação (6), mais a consumida que é calculada por meio da Equação (7), sobre a soma desses valores é incidido ainda uma alíquota de ICMS de 17%, resultando no custo mensal de energia da fábrica.

$$\text{Custo capacidade instalada} = \text{demanda contratada} * \text{fora ponta} \quad (6)$$

$$\text{Custo consumido} = \frac{\text{dias úteis} * \text{Consumo diário} * \text{Tarifa}}{12 \text{ meses}} \quad (7)$$

3.1.6 Custos água e esgoto

Para estimar os custos mensais com água e esgoto da indústria, parte-se de algumas premissas técnicas relativas ao consumo hídrico do processo de reciclagem. De acordo com a Bordonalli e Mendes (2009), o processo de reciclagem mecânica consome, em média, 2,7 litros de água para cada quilograma de plástico processado. Com base nisso, o consumo diário de água pode ser estimado pelo produto entre esse valor e a produção diária da indústria em cada cenário de demanda.

É importante destacar que o sistema industrial conta com uma unidade de reuso de água, sendo necessária apenas a reposição da parcela de perda do sistema, que corresponde a 8,3% do volume total de água circulante. Dessa forma, o cálculo do consumo mensal de água externa (água nova) considera apenas essa fração.

Por meio da Equação (8), podemos estimar o consumo mensal de água em metros cúbicos (m³):

$$\text{consumo mensal } m^3 = \frac{\text{prod. diária} * 2,7 * 253 \text{ dias úteis ano}}{12 \text{ meses} * 1000} \quad (8)$$

Aplicando-se o percentual de 8,3% de perda hídrica, obtém-se o volume mensal de água efetivamente captado do sistema público.

Para converter esse consumo em custo monetário, foram utilizadas as tarifas por metro cúbico (m³) praticadas pela empresa Águas Guariroba, em abril de 2025, concessionária responsável pelo fornecimento de água potável e tratamento de esgoto no município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Os valores de referência estão apresentados na Tabela (12).

Tabela 12 – Tarifas praticadas pela Águas Guariroba

Industrial	Tarifa Fixa	R\$ 45,27	
	1 a 10 m ³	R\$ 16,54	R\$ 11,58
	Acima de 10 m ³	R\$ 31,85	R\$ 22,30

Fonte: Águas Guariroba (2025)

Assim, o custo mensal com água e esgoto foi calculado com base no produto entre o volume mensal de reposição de água e as tarifas unitárias correspondentes ao fornecimento de água e ao serviço de esgotamento sanitário.

3.1.7 Preço de compra do polipropileno preto

Os preços de aquisição do polipropileno reciclado foram orçados junto a uma empresa de reciclagem localizada na cidade de Barreiras, Bahia, a qual atua na compra, triagem e enfardamento de diversos tipos de plásticos recicláveis. Os valores de venda praticados para o quilograma do polipropileno, conforme a coloração do material, são apresentados na Tabela (13).

Tabela 13 - Preço de compra fardo de polipropileno

Produto	Preço/kg
PP colorido fardo	R\$ 2,80
PP branco fardo	R\$ 3,20
PP preto fardo	R\$ 2,50

Fonte: Elaboração do autor com base em empresa de reciclagem da Bahia

3.1.8 Custos de matéria prima

Optou-se por realizar a simulação e análise da produção utilizando exclusivamente o polipropileno na cor preta. Essa escolha se justifica pela ausência de dados acadêmicos confiáveis que indiquem proporções padronizadas para a mistura de diferentes cores de PP na geração do polipropileno cinza. Além disso, a mistura de materiais de colorações distintas pode comprometer a qualidade do produto final, especialmente em termos de uniformidade e valor comercial. Diante disso, a adoção do polipropileno preto assegura maior consistência técnica e viabilidade operacional para o estudo.

Por meio dos dados disponibilizados conseguimos estimar os custos com matéria prima para a produção por meio da Equação (9), em que é feito o produto da produção mensal pelo preço do quilograma do polipropileno.

$$\text{Custo matéria prima mês} = \text{Preço de compra} * \text{prod mensal} \quad (9)$$

3.1.9 Preço de venda do polipropileno preto

Também foram considerados os preços de venda do material reciclado, conforme valores fornecidos por uma fábrica de reciclagem mecânica de plásticos localizada no município de Araraquara, São Paulo. Segundo a empresa, o valor praticado para comercialização do polipropileno preto e cinza são de R\$ 5,50 e R\$ 6,50 por quilograma, conforme a Tabela (14).

Tabela 14 - Preço de venda polipropileno granulado

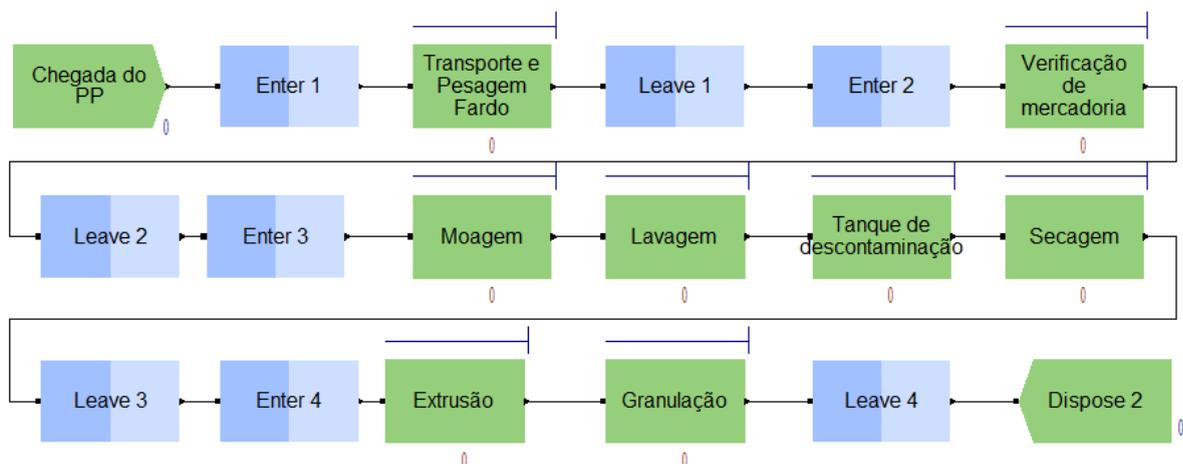
Produto	Preço/kg
PP granulado preto	R\$ 5,50
PP granulado cinza	R\$ 6,50

Fonte: Elaboração do autor com base em fábrica em Araraquara, São Paulo

3.2 Modelagem da produção em diferentes níveis de demanda

Após a etapa de coleta de dados, iniciou-se a modelagem do processo industrial no software Arena. O fluxograma do processo de produção de reciclagem mecânica que pode ser observado na Figura (7), teve como base para sua produção o fluxograma montado por (Pacheco, 2011).

Figura 7 - Fluxograma do processo de reciclagem mecânica no Software Arena



Fonte: Elaboração do autor com base nos sistemas produtivos orçados

A modelagem tem início no ponto de entrada do sistema, representado pelo módulo Create, nomeado como “Chegada do PP”. Para a configuração do módulo, foi criada uma entidade que percorre todo o processo produtivo, que nomeamos como “Fardo de plástico”. O módulo Create também requer a parametrização de variáveis fundamentais para a simulação, como o tempo entre chegadas das entidades (Time between Arrivals), o número de entidades geradas por chegada (Entities per Arrival) e o limite máximo de chegadas a serem processadas durante o período simulado (Max Arrivals).

3.2.1 Módulo Create

Para chegar aos valores de parametrização do módulo Create, em razão da indisponibilidade de dados reais previamente coletados, devido à ausência de autorização formal da empresa, optou-se por estabelecer o peso dos fardos de plástico como 100 kg. Para cada nível de demanda foi necessário calcular parâmetros diferentes, já que a capacidade produtiva para cada um deve ser diferente considerando um sistema produtivo de produção por demanda.

Por meio da observação do processo produtivo em uma indústria de Campo Grande foi constatado que apenas um fardo era colocado no processo de separação por vez, até que fosse totalmente separado, dessa forma foi definido que o número de entidades geradas por chegada será de 1 entidade.

O limite máximo de chegadas geradas no período simulado foi encontrado por meio da Equação (10), que faz o produto da capacidade produtiva pela jornada de trabalho diária, dividido pelo peso do fardo.

$$Max\ Arrivals = \frac{capacidade\ prod * jornada\ de\ trabalho}{Peso\ do\ fardo} \quad (10)$$

Para definir o tempo entre as chegadas de material, é necessário considerar a demanda do processo produtivo, assim adotamos como parâmetro o tempo de separação de uma entidade, que chamamos de “Verificação de mercadoria”. Para atender o processo de separação adotamos um tempo entre as chegadas igual a subtração dos tempos do módulo process de verificação de mercadoria, onde e o tempo mínimo do módulo process de transporte e pesagem dos fardos, como mostra a Equação (11).

$$T\ entre\ chegadas = \frac{T\ separação - T\ mínimo\ de\ transp}{60} \quad (11)$$

Usando a Equação (11), obtemos os tempos de chegada dos fardos para cada um dos níveis de demanda descrito na Tabela (15). A redução além do tempo ótimo de chegada dos fardos de polipropileno não tem capacidade de reduzir o tempo de produção diário, apenas criam filas no processo de verificação de mercadoria.

Tabela 15 Tempo ótimo entre chegadas dos fardos do processo produtivo teórico

Tempo	Baixa demanda	Média demanda	Alta demanda
Separação (seg)	1132,08	1132,08	754,72
Pesagem (seg)	19,13	19,13	19,13
Chegada (seg)	1099	1099	721
Chegada (min)	18,54	18,54	12,26

Fonte: Autor

3.2.2 Módulo verificação de mercadoria

Por meio da visita técnica da mesma fábrica de reciclagem mecânica de plásticos em Campo Grande, MS, foi observado o processo de separação dos plásticos para identificação de impurezas antes da moagem, esse processo era realizado por dois separadores de sucata. Dos tempos coletados juntamente com uma responsável do Planejamento e Controle de Produção, foi encontrado o tempo de separação de 2,65 kg por minuto para cada operador.

Dessa forma para determinar o tempo de separação em cada nível de demanda é necessário definir quantos separadores de sucata irão operar em cada um deles, com esse objetivo empregou-se a Equação (12).

$$Qtd\ Separadores = \frac{Demanda\ do\ sistema\ produtivo}{Vel.\ de\ separação\ por\ operador * 60\ min} \quad (12)$$

Obtendo assim o número mínimo de operadores que devem atuar em cada nível de demanda, como mostra a Tabela (16).

Tabela 16 - Número de separadores de sucata teórico

Demanda	Quantidade de separadores
Alta demanda	2,83
Média demanda	1,88
Baixa demanda	1,25

Fonte: Autor

Ao identificar o número de separadores necessários no processo de verificação de mercadoria para suprir o sistema produtivo em cada um dos níveis de demanda, empregou-se a Equação (13) para determinar o tempo de separação de cada fardo de polipropileno em diferentes níveis de demanda:

$$\text{Tempo de separação} = \frac{\text{Peso do fardo}}{\text{Qtd separadores} * \text{vel. separação kg}} \quad (13)$$

Com isso, foram obtidos os tempos de separação dos fardos, apresentados na Tabela (17).

Tabela 17 - Tempo de separação dos fardos de polipropileno teórico

Demanda	Quantidade de separadores	Tempo de separação (min)
Alta demanda	3	12,58
Média demanda	2	18,87
Baixa demanda	2	18,87

Fonte: Autor

3.2.3 Transporte e pesagem do fardo de polipropileno

No módulo Process do transporte e pesagem fardo, foi descrito o processo de retirada dos fardos de polipropileno do estoque por meio de uma empilhadeira, de onde são levados para uma balança na qual são pesados e então novamente transportados para a esteira onde os fardos passam por uma verificação da mercadoria, para identificar e separar qualquer contaminante.

Nesse processo, como não foi possível coletar dados reais precisos de tempos de deslocamento em campo, optou-se pelo uso de valores estimados com base em referências técnicas e valores arbitrários, ajustados com variabilidade aleatória controlada. A técnica é amplamente aceita na literatura de simulação com Arena (Kelton et al., 2015), conhecida como “ad hoc data”, desde que acompanhada de uma descrição transparente da lógica adotada e da distribuição escolhida.

Para estimar o tempo de transporte e pesagem dos fardos, foi feito um estudo de movimentação da empilhadeira dentro do processo produtivo. Para realizar esse estudo, foi feito um modelo do layout com as medidas dos espaços ocupados por cada máquina e o percurso feito pela empilhadeira no processo produtivo.

As dimensões das máquinas foram cotadas juntamente com todas as informações técnicas com uma empresa do Paraná fabricante de equipamentos para indústrias recicladoras

de plástico. Na Tabela (8) e Tabela (9), que contém as dimensões dos sistemas de moagem e extrusão, foi adotado como dimensão total para a largura o maior valor do conjunto de dados e no comprimento a soma de todos os valores.

Com as distâncias descritas no layout da indústria utilizou-se as distâncias de movimentação entre o estoque de fardos de PP, balança e o sistema de moagem, para assim determinar o tempo de movimentação e pesagem dos fardos pela empilhadeira no módulo Process, usando os valores de velocidade de empilhadeira descritos por (Cardoso; Rangel; Shimoda, 2012). Consideramos então a velocidade de movimentação da empilhadeira como 2 m/s.

Kelton, 2015 afirma que os “inputs ad hoc” devem passar uma análise de sensibilidade dos outputs para se ter uma ideia realista de quanto podemos confiar nos resultados gerados por essas entradas. Essa análise de sensibilidade é feita por meio de alterações nos valores dos inputs, adotando cenários em que o tempo de transporte e pesagem são maiores e menores do que o inicialmente proposto, de forma a evidenciar que o modelo não é excessivamente sensível a pequenas variações, trazendo confiabilidade aos resultados

Foi feita por fim uma análise de sensibilidade, em que rodamos a simulação em mais 2 cenários, nos quais adotamos uma variância de 5 segundos a mais e a menos.

3.2.4 Módulos do sistema de moagem

No módulo Process de moagem, foi adotado como Delay, o tempo necessário para processar 1 entidade, que representa 100 kg. A capacidade produtiva do moinho de acordo com o fabricante é de 800 kg/h, levando então 0,125 hora para que o moinho produza 100 kg como mostra a Figura (8).

Figura 8 - Process Moagem

The screenshot shows the 'Process Moagem' dialog box. It is titled 'Process' and has a close button (X) and a help button (?). The fields are as follows:

- Name: Moagem
- Type: Standard
- Logic:
 - Action: Seize Delay Release
 - Priority: Medium(2)
- Resources:
 - Resource, Moinho, 1
 - <End of list>
- Buttons: Adicionar..., Editar..., Excluir
- Delay Type: Constant
- Units: Hours
- Allocation: Value Added
- Value: 0.125
- Report Statistics:
- Comment: (empty text box)
- Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

Fonte: Elaboração do autor com base no ARENA

A mesma capacidade produtiva se aplica a todas as máquinas que compõem o sistema de moagem, que são, moinho, lavadora, tanque de descontaminação e secadora.

3.2.4 Módulos do sistema de extrusão

No módulo Process de extrusão, o Delay utilizado foi o tempo necessário para processar 1 entidade. A capacidade produtiva da extrusora de acordo com o fabricante é de 450 kg/h, como mostra a Tabela (9), assim em horas o tempo necessário para processar uma entidade é de 0,222, como mostra a Figura (9).

Figura 9 - Process Extrusão

The screenshot shows the 'Process Extrusão' dialog box. It is titled 'Process' and has a close button (X) and a help button (?). The fields are as follows:

- Name: Extrusão
- Type: Standard
- Logic:
 - Action: Seize Delay Release
 - Priority: Medium(2)
- Resources:
 - Resource, Extrusora, 1
 - <End of list>
- Buttons: Adicionar..., Editar..., Excluir
- Delay Type: Constant
- Units: Hours
- Allocation: Value Added
- Value: 0.222
- Report Statistics:
- Comment: (empty text box)
- Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

Fonte: Elaboração do autor com base no ARENA

3.3 Análise de viabilidade

Na análise de viabilidade será montado um demonstrativo de resultado de exercício para cada cenário de demanda, o qual será utilizado como base para cálculo do fluxo de caixa anual reajustado pela inflação. Permitindo então o cálculo dos indicadores financeiros para realizar a análise de viabilidade econômica da fábrica de reciclagem mecânica de polipropileno.

3.3.1 Demonstração do Resultado do Exercício

O Demonstrativo do Resultado do Exercício (DRE) será utilizado com o objetivo de identificar o lucro ou prejuízo líquido do negócio, a partir da análise das receitas, custos e despesas envolvidas na operação, para posteriormente montar o fluxo de caixa, possibilitando análises mais profundas do modelo de negócio. Para calculá-lo, há uma sequência de etapas que precisam ser seguidas, que se inicia com o cálculo da receita bruta.

3.3.1.1 Receita bruta

Para o cálculo da receita bruta foi usada a Equação (14), na qual o volume de produção mensal é multiplicado pelo preço de venda do produto.

$$\textit{Receita Bruta} = \textit{Volume produzido} * \textit{Preço de venda} \quad (14)$$

3.3.1.2 Receita líquida de venda

Com base no valor obtido de receita bruta, é realizada as deduções tributárias, ICMS, PIS e COFINS. A subtração da soma desses tributos resulta na receita líquida, como mostra a Equação (15).

$$\textit{Receita Líquida} = \textit{Receita Bruta} - \textit{Imposto receita bruta} \quad (15)$$

3.3.1.3 Lucro operacional

Para realizar o cálculo do lucro operacional (LO), foi usado a Equação (16), subtraindo o custo de produção da receita líquida.

$$\textit{Lucro Operacional} = \textit{Receita Líquida} - \textit{Custo de prod} \quad (16)$$

3.3.1.4 Lucro presumido

O lucro presumido é o regime tributário escolhido pela empresa, pois a empresa entra no enquadramento de faturamento anual máximo de R\$ 78 milhões, permite também simplificar

a declaração, utilizando percentuais fixos de presunção de lucro da atividade industrial aplicados sobre a receita bruta, que são de 8% para determinar a base de cálculo do Imposto de Renda (IRPJ) e de 12% para Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL), conforme mostram as Equações (17) e (18).

$$\text{Lucro presumido para IRPJ} = \text{Lucro bruto} * 8\% \quad (17)$$

$$\text{Lucro presumido para CSLL} = \text{Lucro bruto} * 12\% \quad (18)$$

3.3.1.5 Lucro Líquido do Exercício

Para o cálculo do Lucro líquido (LL) é necessário subtrair do lucro operacional os valores de CSLL e IRPJ, e quando aplicável o adicional de IRPJ.

A alíquota da CSLL no lucro presumido é de 9% sobre a base de cálculo presumida, conforme mostra a Equação (19).

$$\text{CSLL} = \text{Lucro presumido para CSLL} * 9\% \quad (19)$$

Também é calculado o IRPJ, temos a Equação (20), não qual a alíquota de 15% incide sobre a base de cálculo presumida.

$$\text{IRPJ} = \text{Lucro presumido para IRPJ} * 15\% \quad (20)$$

Em seguida, caso o valor do lucro presumido IRPJ seja superior a 20 mil reais, subtraímos do valor de 20 mil do valor inicial e é incidindo sobre o mesmo, uma cobrança adicional de 10%, como mostra a Equação (21).

$$\text{Adcional IRPJ} = \text{Valores que excedam R\$ 20 mil} * 10\% \quad (21)$$

Assim, o Lucro líquido é calculado conforme a Equação (22):

$$\text{LL} = \text{LO} - \text{CSLL} - \text{IRPJ} - \text{Adicional IRPJ} \quad (22)$$

3.3.2 Fluxo de caixa

Foi então elaborado o fluxo de caixa projetado para um período de seis anos, considerando como investimento inicial a soma dos valores correspondentes ao CAPEX e ao capital de giro necessário para o funcionamento da indústria, que foi estipulado como sendo 110% do custo de operação de um mês em alta demanda, esse valor foi escolhido com o intuito de haver o valor necessário para operação mensal, mas garantindo uma margem de segurança para a operação.

Os valores referentes aos custos operacionais e ao preço de venda do polipropileno reciclado foram ajustados anualmente com base na variação média do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) dos últimos 20 anos, conforme apresentado na Tabela (18).

Tabela 18 - Valores de IPCA de 2005 a 2024

Ano	IPCA	Ano	IPCA
2005	5,69	2015	10,67
2006	3,14	2016	6,29
2007	4,46	2017	2,95
2008	5,90	2018	3,75
2009	4,31	2019	4,31
2010	5,91	2020	4,52
2011	6,50	2021	10,06
2012	5,84	2022	5,79
2013	5,91	2023	4,62
2014	6,41	2024	4,83
Média 20 anos		5,59	

Fonte: IBGE (2025)

3.3.2 Valor presente líquido

O valor presente líquido (VPL), foi calculado usando o Microsoft Excel como ferramenta de cálculo. Para o cálculo é necessário o valor de investimento inicial e que seja montado um fluxo de entrada de caixa para cada nível de demanda, a definição de uma taxa de desconto de custo de capital, adotaremos como taxa mínima de atratividade (TMA) o valor da do Certificado de Depósito Interbancário (CDI), em abril de 2025, 14,65%.

3.3.4 TIR

A taxa interna de retorno (TIR) foi calculada usando o Microsoft Excel como ferramenta de cálculo. Selecionando o valor de investimento inicial do ano 0, contando com valor de capital de giro e entradas de caixa dos anos subsequentes.

3.3.5 Payback descontado

Para chegar ao tempo de payback descontado do investimento, primeiro é necessário calcular os valores presentes acumulados de cada ano. O tempo de payback descontado será calculado por meio de tabelas do excel, o cálculo será feito em relação ao primeiro ano em que o valor presente acumulado estive positivo, assim no excel, o valor de o último ano negativo

menos o quociente do saldo do último ano negativo no VP acumulado, pelo valor presente do primeiro ano positivo.

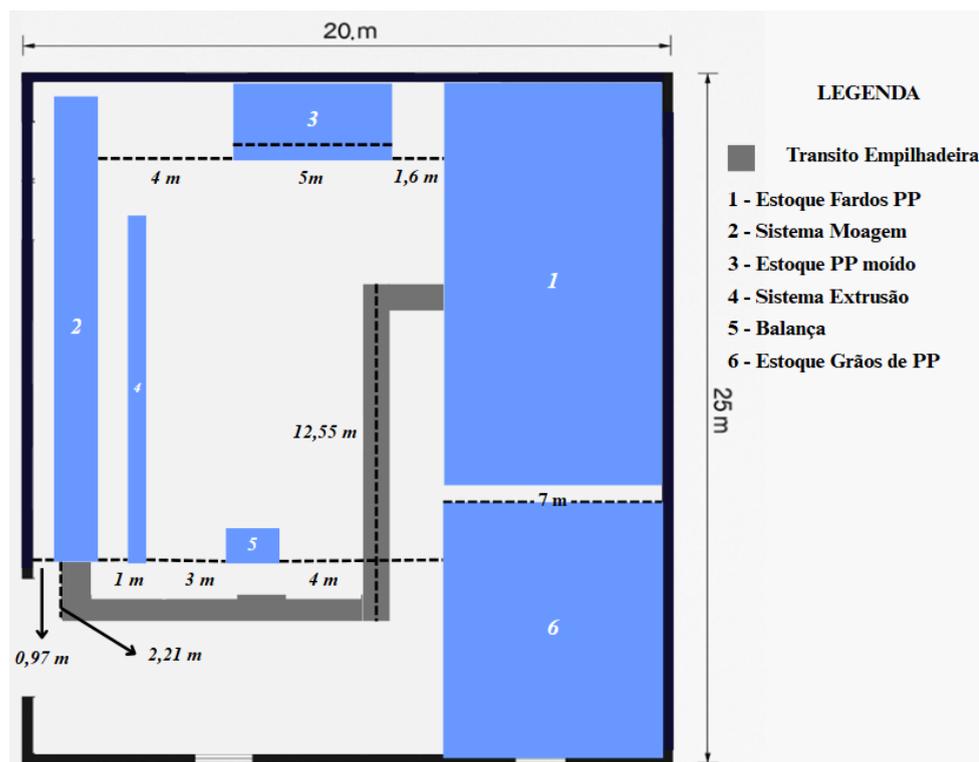
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos pelas simulações no software ARENA, assim como um estudo de confiabilidade estatística para cada cenário de demanda. Também serão estimados os custos de instalação da unidade industrial, simulação da capacidade produtiva e do tempo de ocupação das máquinas em três diferentes níveis de demanda (baixa, média e alta) por meio do software Arena, e calculado os custos variáveis mensais da indústria em cada nível de demanda, e o tempo necessário para o retorno do capital investido, com base na análise do VPL e TIR, com payback descontado como um complemento de apoio à decisão.

4.1 Montagem do Layout

A partir das dimensões das máquinas dos sistemas de moagem e extrusão, e dimensões estipuladas para indústria montou-se um layout e um trajeto de tráfego da empilhadeira, representado pela Figura (10).

Figura 10 - Layout Indústria



Fonte: Autor

Com o layout montado foi também montado o trajeto percorrido pela empilhadeira, com objetivo de determinar o tempo de movimentação entre o estoque e balança e entre a balança e a separação, os tempos de movimentação são mostrados na Tabela (19) e Tabela (20).

Tabela 19 - Distância entre o estoque e a balança

Distância estoque até balança (m)

4
12,55
1
2,21
Total 19,76
Fonte: Autor

Tabela 20 - Distância entre a balança e o moinho

Distância balança até o moinho (m)
2,2
1
2
0,6
2
0,715
Total 8,515
Fonte: Autor

O tempo total em que a empilhadeira percorre o trajeto do estoque até a entrada do fardo do polipropileno no sistema é de 28,27 metros, usando o a velocidade de 2 m/s temos um tempo de movimentação de 14,13 segundos. Para definir o tempo de pesagem foi necessário escolher um valor determinístico, pois não foi possível fazer coletas que permitissem fazer cálculos, foi escolhido então tempo de 10 segundos, assim o tempo de transporte é de 24,13 segundos. Com o intuito de representar de forma mais fiel o comportamento estocástico do sistema produtivo foi adicionado uma variância de 5 segundos, já que fatores como, interferência de operadores, tráfego interno e localização dos materiais podem influenciar o tempo final de transporte.

Dessa forma, considera-se um tempo mínimo de 19,13 segundos, um tempo mais provável de 24,13 segundos e um tempo máximo de 29,13 segundos para o processo de transporte e pesagem de fardos de polipropileno reciclado no modelo de simulação.

A distribuição escolhida para representar o processo foi a triangular, pois de acordo com Kelton (2015), se dentre os tempos representados existe um tempo mais provável com variações em torno desse tempo, a distribuição triangular é a recomendada e é frequentemente usada por poder captar processos com pequenas ou grandes variações de probabilidade e tem parâmetros

fáceis de serem compreendidos. A distribuição triangular é representada por um tempo mínimo, uma moda (tempo provável) e um valor máximo, que para o sistema descrito está representado como, triangular (19,13; 24,13; 29,13).

4.1.1 Análise de sensibilidade

Para validar os tempos encontrados foi feita a análise de sensibilidade dos tempos de movimentação, apresentados na Tabela (21).

Tabela 21 - Análise de sensibilidade baixa demanda

Empilhadeira	Porcentual de ocupação	Tempo necessário para produção (horas)
(19,13 ± 5) segundos	1,41%	5,9783
(24,13 ± 5) segundos	1,78 %	5,9797
(29,13 ± 5) segundos	2,15%	5,9811

Fonte: Autor

Com base nos dados analisados, houve baixa sensibilidade do modelo, apresentando pouca variação nos resultados de output. Nos trazendo maior confiabilidade nos resultados do modelo.

4.2 Simulação nos três cenários de demanda

4.2.1 Baixa demanda

Com a simulação do processo industrial em um cenário de baixa demanda, verificou-se que os equipamentos apresentaram baixo índice de utilização. Observou-se que o moinho, a secadora, a lavadora e o tanque de descontaminação permaneceram em operação apenas 33,44% do tempo, enquanto a extrusora e a granuladora apresentaram uma ocupação de 59,36%, empilhadeira 1,78% e os separadores de sucata 84,10% no período operante de 8 horas como mostra a Tabela (22).

Tabela 22 - Índice de ocupação de equipamentos em baixa demanda

ProjectName	Name	Type	Source	Average
Baixa demanda	Descontaminação	Number Busy	Resource	0,3344644
Baixa demanda	Empilhadeira	Number Busy	Resource	0,01778146
Baixa demanda	Extrusora	Number Busy	Resource	0,59400877
Baixa demanda	Granuladora	Number Busy	Resource	0,59400877
Baixa demanda	Lavadoura	Number Busy	Resource	0,3344644

Baixa demanda	Moinho	Number Busy	Resource	0,3344644
Baixa demanda	Secadora	Number Busy	Resource	0,3344644
Baixa demanda	Separador de Sucata	Number Busy	Resource	0,84106647

Fonte: Elaboração do autor baseado no ARENA

Além disso, identificou-se que seriam necessários, no mínimo, dois separadores de sucata para atender à demanda de alimentação das máquinas. Cada separador demonstrou capacidade de processar 2,65 kg/min de plástico, assim em baixa demanda considerando o número de separadores descritos na Tabela (16), podemos calcular a capacidade produtiva diária por meio da Equação (23).

$$\text{Capacidade diária} = \text{separadores} * 2,65 \text{ kg/h} * 60 \text{ min} * 8 \text{ h} \quad (23)$$

Chegamos por meio da Equação (23) em uma capacidade produtiva de 2544 kg/dia, produção diária superior a necessária em baixa demanda, estimada em 1600 kg diária em a uma jornada de trabalho de oito horas.

Considerando a capacidade produtiva dos dois separadores, e a demanda diária de 1600 kg, através da simulação identificou-se que a produção foi integralmente atendida em 5,97 horas de operação.

4.2.1.1 Confiabilidade estatística baixa demanda

Para assegurar a confiabilidade estatística dos resultados obtidos na simulação, com 95% de nível de confiança, foram adotadas medidas fundamentais de controle e validação. Inicialmente, definiu-se um tamanho amostral adequado, como se observa na Equação (24), com base no desvio padrão estimado e na margem de erro tolerável, garantindo que a variabilidade dos dados fosse suficientemente capturada.

$$n = \left(\frac{\frac{Z_{\alpha}}{2} \times \sigma}{\varepsilon} \right)^2 \quad (24)$$

Onde:

- n = tamanho amostral necessário
- $\frac{Z_{\alpha}}{2}$ = valor da normal padrão correspondente ao nível de confiança (1,96 para 95%)
- σ = desvio padrão populacional (ou estimado a partir de uma amostra)
- ε = margem de erro máxima tolerada

A partir de 100 amostras de tempo simulados, foi obtida um desvio padrão de 0,00053168 horas, e foi definido como margem de erro tolerável 0,0001 horas. Assim obtive-se um tamanho amostral necessário de 103.

Assim foram simulados 103 cenários em baixa demanda, como é mostrado na Tabela (23).

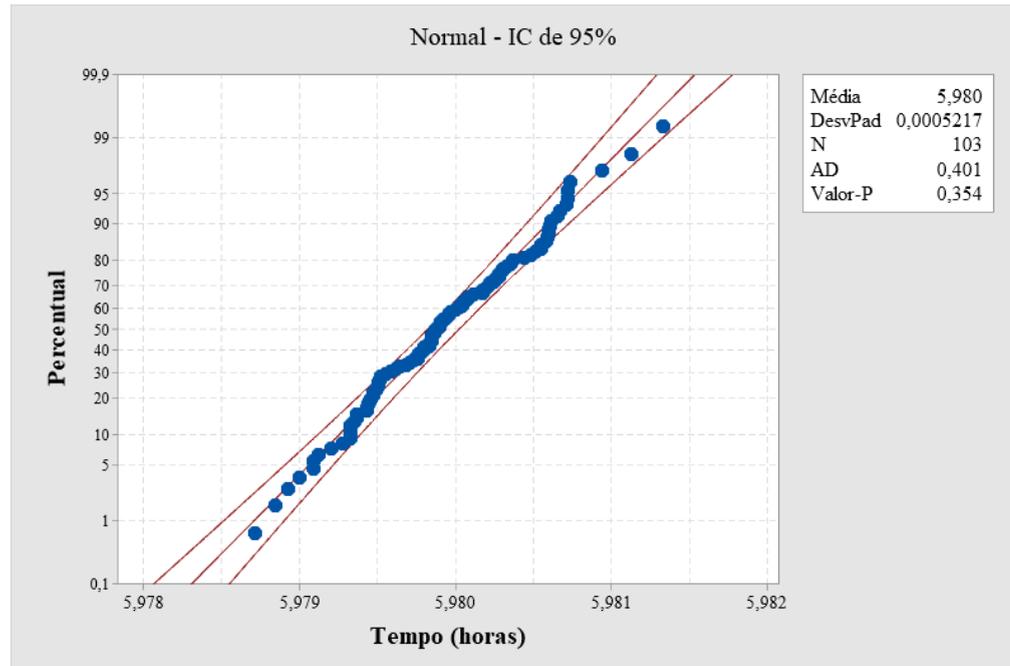
Tabela 23 – Tempo das amostras em baixa demanda

Tempo das simulações baixa demanda (horas)				
5,97971	5,98044	5,980062	5,980325	5,980247
5,979274	5,979201	5,978927	5,980721	5,979785
5,979351	5,980222	5,979758	5,979497	5,979644
5,979874	5,9798	5,980303	5,979966	5,979121
5,980612	5,98071	5,97983	5,979765	5,979899
5,979686	5,979457	5,979954	5,980078	5,97952
5,978996	5,979963	5,980351	5,979832	5,979323
5,97962	5,979362	5,979322	5,979863	5,97871
5,980651	5,980596	5,980276	5,980176	5,981332
5,979901	5,980041	5,979439	5,979365	5,980717
5,979486	5,98055	5,979937	5,980193	5,978847
5,980174	5,979759	5,97947	5,979895	5,980217
5,980045	5,979325	5,980368	5,980673	5,979732
5,979507	5,97992	5,979552	5,979849	5,979903
5,980591	5,979088	5,979434	5,980551	5,980599
5,979328	5,979844	5,980083	5,980026	5,979469
5,980581	5,979506	5,980276	5,979586	5,979449
5,980479	5,980735	5,979796	5,980942	5,979864
5,979432	5,97985	5,980114	5,97909	5,979511
5,979849	5,980296	5,981131	5,980609	5,97952
5,980517	5,980251	5,979999		

Fonte: Elaboração do autor

A partir dos tempos simulados foi montado um gráfico de probabilidade, para determinar se a distribuição dos dados é normal, como mostra a Figura (11)

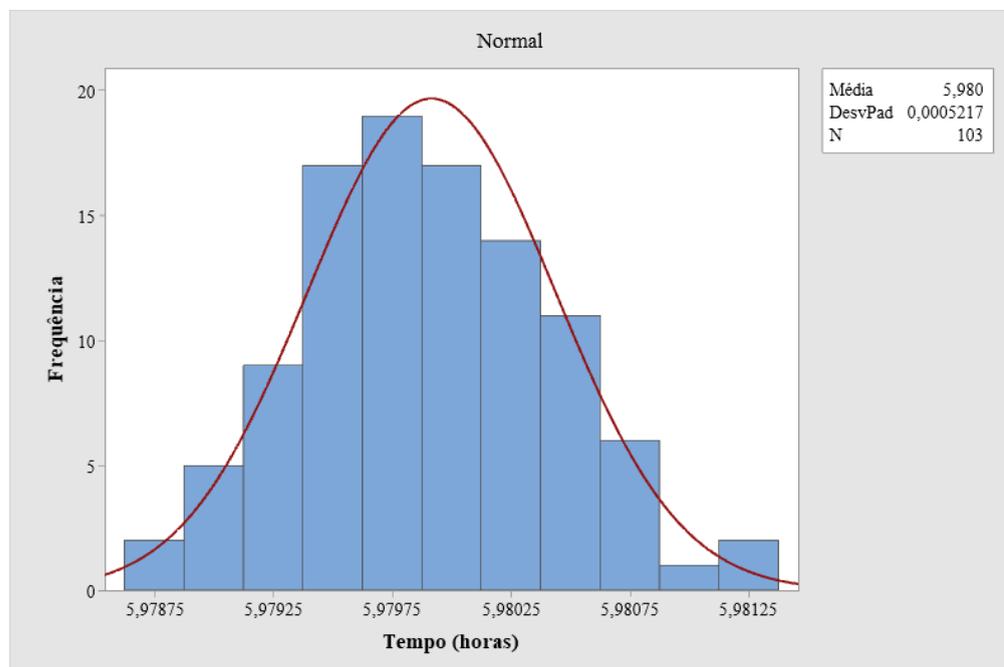
Figura 11 – Gráfico de probabilidade para baixa demanda



Fonte: Elaboração do autor

Como pode ser observado os valor-P é de 0,354, sendo superior a 0,05, não rejeitando a hipótese nula. Os dados não apresentam evidência suficiente para rejeitar a hipótese de que é uma distribuição normal.

Figura 12– Histograma baixa demanda



Fonte: Autor

Em seguida, aplicou-se o Teorema Central do Limite mostrado na Equação (25), para obter intervalo de confiança considerando amostras com $n > 30$.

$$IC = \bar{x} \pm \frac{z_{\alpha}}{2} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

Onde:

- \bar{x} = média amostral
- $\frac{z_{\alpha}}{2}$ = valor da normal padrão correspondente ao nível de confiança (1,96 para 95%)
- s = desvio padrão amostral
- n = tamanho da amostra

Dessa forma temos que o intervalo de confiança é de $5,9799162 \pm 0,000100743$, com nível de confiança de 95%.

O baixo desvio padrão apresentado nas simulações, é atribuído a em grande parte aos processos de moagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação terem valores de tempo constantes.

4.2.2 Simulação média demanda

Com a simulação do processo industrial em um cenário de média demanda, verificou-se que os equipamentos apresentaram baixo índice de utilização. Observou-se que o moinho, a secadora, a lavadora e o tanque de descontaminação permaneceram em operação apenas 47,87% do tempo, enquanto a extrusora e a granuladora apresentaram uma ocupação de 85,03%, empilhadeira 2,6% e os separadores de sucata 80,24% no período operante de 8 horas como mostra a Tabela 24

Tabela 24 - Índice de ocupação de equipamentos em média demanda

ProjectName	Name	Type	Source	Average
Média demanda	Descontaminação	Number Busy	Resource	0,47878
Média demanda	Empilhadeira	Number Busy	Resource	0,026
Média demanda	Extrusora	Number Busy	Resource	0,85032
Média demanda	Granuladora	Number Busy	Resource	0,85032
Média demanda	Lavadoura	Number Busy	Resource	0,47878
Média demanda	Moinho	Number Busy	Resource	0,47878
Média demanda	Secadora	Number Busy	Resource	0,47878
Média demanda	Separador de Sucata	Number Busy	Resource	0,80244

Fonte: ARENA

Além disso, identificou-se que seriam necessários, no mínimo, três separadores de sucata para atender à demanda de alimentação das máquinas, diferente do esperado, como é apresentado na Tabela (16), já que a produção diária de 300 kg/h é de 2400 kg e 2 separadores de sucata tem capacidade de separar 2544 kg por dia. No entanto, durante a simulação percebeu-se que seriam necessárias 8.49 horas para realizar a produção de 2400 kg. Assim, o número de separadores de sucata para a média demanda necessitou ser ajustado para 3.

Por meio da Equação (23), foi encontrada uma capacidade produtiva de 3816 kg/dia, produção diária superior a necessária em média demanda, estimada em 2400 kg diária em a uma jornada de trabalho de oito horas.

Um novo número de separadores de sucata foi estipulo assim para a média demanda, como descrito na Tabela (25).

Tabela 25: Tempo de separação dos fardos de polipropileno real

Demanda	Quantidade de separadores	Tempo de separação (min)
Alta demanda	3	12,58
Média demanda	3	12,58
Baixa demanda	2	18,87

Fonte: Autor

Para suprir a demanda do módulo de separação dos fardos para 3 separadores, foi também atualizado o tempo de chegada dos fardos no processo, como mostra a Tabela (26).

Tabela 26 Tempo ótimo entre chegada dos fardos média demanda

Tempo	Média demanda
Tempo de separação (segundos)	754,72
Tempo de pesagem (segundos)	43,27
tempo de chegada (segundos)	711
tempo de chegada (minutos)	11,86

Fonte: Autor

Com os novos tempos de separação e de chegada dos fardos e considerando a capacidade produtiva dos três separadores, através da simulação identificou-se que a demanda diária de 2400 toneladas foi integralmente atendida em aproximadamente 6,26 horas de operação.

4.2.2.1 Confiabilidade estatística média demanda

Para assegurar a confiabilidade estatística dos resultados obtidos na simulação, com 95% de nível de confiança, foram adotadas medidas fundamentais de controle e validação. Inicialmente, definiu-se um tamanho amostral adequado, como se observa na Equação (24), com base no desvio padrão estimado e na margem de erro tolerável, garantindo que a variabilidade dos dados fosse suficientemente capturada.

A partir de 100 amostras de tempo simulados, foi obtida um desvio padrão de 0,000526337 horas, e foi definido como margem de erro tolerável 0,0001 horas. Assim usando a Equação (24), obteve-se um tamanho amostral necessário de 107 amostras de tempo.

Assim foram simulados 107 cenários em média demanda, como é mostrado na Tabela (27).

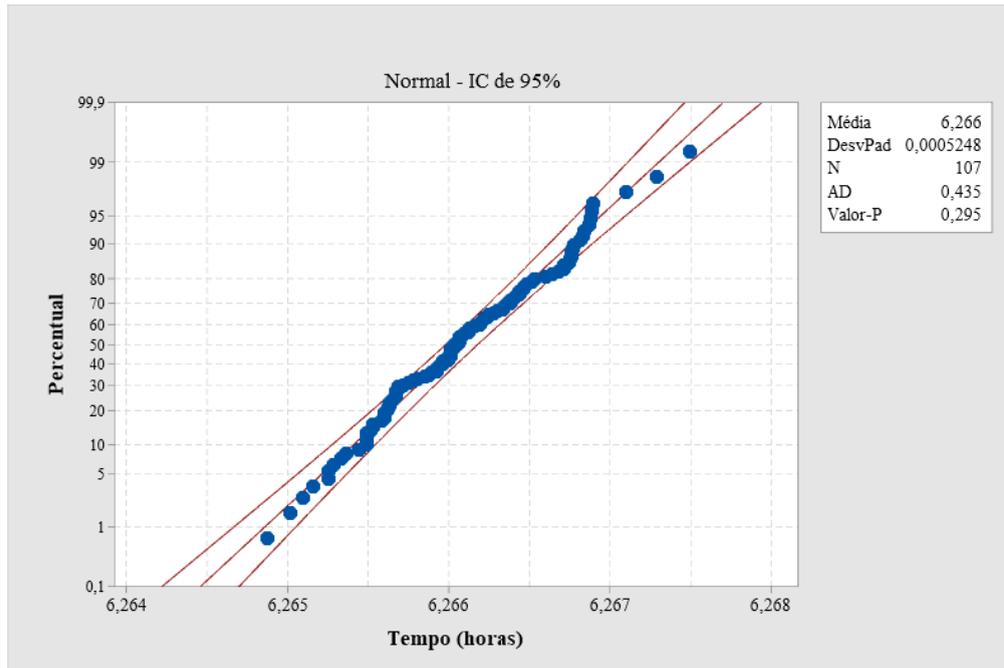
Tabela 27 – Tempo das amostras em média demanda

Tempo das simulações média demanda (horas)						
6,2658764	6,2667475	6,2659253	6,2661206	6,2661655	6,2667173	6,2668838
6,2654408	6,2666459	6,2654913	6,2665174	6,2664911	6,2661929	6,2650132
6,2655175	6,2655990	6,2660865	6,2654886	6,2668879	6,2657528	6,2663839
6,2660408	6,2660154	6,2652543	6,2664428	6,2656640	6,2671091	6,2658985
6,2667789	6,2666833	6,2660109	6,2656059	6,2661329	6,2652562	6,2660696
6,2658528	6,2666071	6,2656725	6,2661031	6,2659320	6,2667759	6,2667659
6,2651625	6,2653680	6,2669021	6,2656366	6,2662449	6,2664132	6,2656357
6,2657865	6,2663883	6,2660168	6,2665351	6,2659990	6,2659512	6,2656159
6,2668178	6,2659671	6,2664631	6,2657189	6,2660299	6,2658103	6,2660307
6,2660673	6,2668764	6,2664176	6,2656005	6,2663423	6,2652872	6,2656773
6,2656528	6,2656241	6,2662291	6,2662499	6,2655312	6,2660657	6,2656867
6,2663411	6,2661297	6,2650936	6,2664429	6,2663600	6,2656864	6,2668480
6,2662112	6,2655281	6,2659244	6,2659631	6,2660612	6,2654895	6,2655904
6,2656734	6,2667623	6,2664700	6,2662810	6,2668396	6,2648771	6,2653342
6,2667573	6,2662073	6,2659965	6,2672976	6,2660157	6,2674988	6,2663082
6,2654944	6,2667168					

Fonte: Elaboração do autor

A partir dos tempos simulados foi montado um gráfico de probabilidade, para determinar se a distribuição dos dados é normal, como mostra a Figura (13)

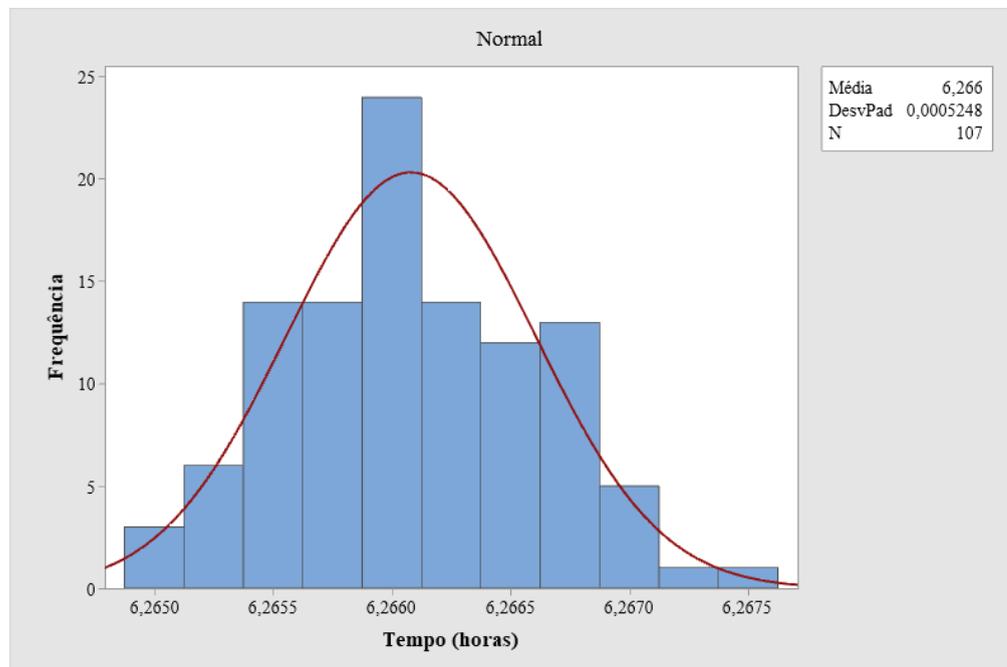
Figura 13 – Gráfico de probabilidade para média demanda



Fonte: Elaboração do autor

Como pode ser observado os valor-P é de 0,295, sendo superior a 0,05, não rejeitando a hipótese nula. Os dados não apresentam evidência suficiente para rejeitar a hipótese de que é uma distribuição normal.

Figura 14– Histograma média demanda



Fonte: Autor

Em seguida, aplicou-se o Teorema Central do Limite mostrado na Equação (25), para obter intervalo de confiança considerando amostras com $n > 30$.

Dessa forma temos que o intervalo de confiança é de $6,2660805 \pm 9,9441 \times 10^{-5}$, com nível de confiança de 95%.

O baixo desvio padrão apresentado nas simulações, é atribuído a em grande parte aos processos de moagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação terem valores de tempo constantes.

4.2.3 Simulação alta demanda

Na produção de alta demanda, observou-se um comportamento inicialmente não esperado, através da simulação foi identificado um gargalo na produção, sendo o sistema capaz de produzir apenas 3100 kg por dia ou 410,75 kg/h. Com a simulação do processo industrial em um cenário de alta demanda, verificou-se que os equipamentos apresentaram um alto índice de utilização, como demonstrado pela Tabela (28).

Tabela 28 - Índice de ocupação de equipamento em alta demanda

ProjectName	Name	Type	Source	Average
Alta demanda	Descontaminação	Number Busy	Resource	0,50393
Alta demanda	Empilhadeira	Number Busy	Resource	0,02722
Alta demanda	Extrusora	Number Busy	Resource	0,89497
Alta demanda	Granuladora	Number Busy	Resource	0,89497
Alta demanda	Lavadoura	Number Busy	Resource	0,50393
Alta demanda	Moinho	Number Busy	Resource	0,50393
Alta demanda	Secadora	Number Busy	Resource	0,50393
Alta demanda	Separador de Sucata	Number Busy	Resource	0,84458

Fonte: Autor

Além disso, identificou-se não haver diferença significativa no aumento do número de separadores a partir de 3, dentro do turno de 8 horas. Já que com 3 ou 4 separadores apresentam a mesma produção. Excedendo o período de 8 horas identificou-se para 3 separadores demoraria 8,92 horas para concluir a produção de 3600 kg e com 4 operadores levaria 8.87.

Teoricamente a capacidade produtiva diária de 3 separadores excederia a produção necessária durante alta demanda, como pode ser observado pelo cálculo usando a Equação (23).

Com três operadores o sistema teria uma capacidade produtiva teórica de 3816 kg/dia, já com 4 operadores teríamos uma produção de 5088 kg/dia. No entanto, no período efetivo de 8 horas foram produzidos apenas 3100 kg com 3 separadores e 3200 kg com 4 separadores.

4.2.3.1 Confiabilidade estatística alta demanda

Para assegurar a confiabilidade estatística dos resultados obtidos na simulação, com 95% de nível de confiança, foram adotadas medidas fundamentais de controle e validação. Inicialmente, definiu-se um tamanho amostral adequado, como se observa na Equação (24),

com base no desvio padrão estimado e na margem de erro tolerável, garantindo que a variabilidade dos dados fosse suficientemente capturada.

A partir de 100 amostras de tempo simulados, foi obtida um desvio padrão de 0,000526337 horas, e foi definido como margem de erro tolerável 0,0001 horas. Assim usando a Equação (24), obteve-se um tamanho amostral necessário de 107 amostras de tempo.

Assim foram simulados 107 cenários em média demanda, como é mostrado na Tabela (29).

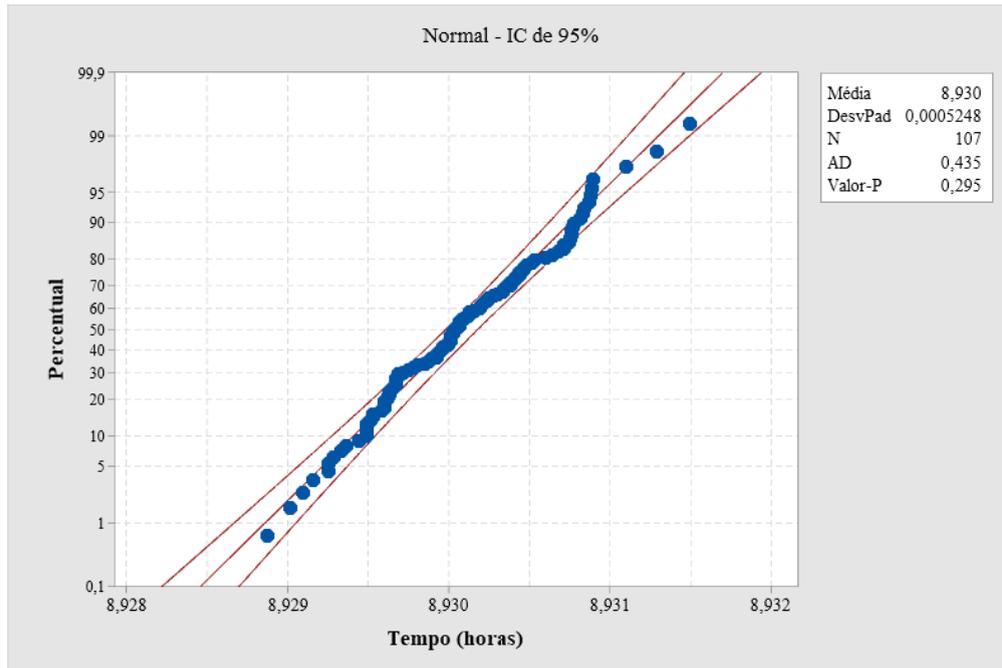
Tabela 29 – Tempo das amostras em alta demanda

Tempo das simulações alta demanda (horas)						
8,929876	8,930748	8,929925	8,930121	8,930166	8,93072	8,93088
8,929441	8,930646	8,929491	8,930517	8,930491	8,93019	8,92901
8,929518	8,929599	8,930087	8,929489	8,930888	8,92975	8,93038
8,930041	8,930015	8,929254	8,930443	8,929664	8,93111	8,9299
8,930779	8,930683	8,930011	8,929606	8,930133	8,92926	8,93007
8,929853	8,930607	8,929673	8,930103	8,929932	8,93078	8,93077
8,929163	8,929368	8,930902	8,929637	8,930245	8,93041	8,92964
8,929787	8,930388	8,930017	8,930535	8,929999	8,92995	8,92962
8,930818	8,929967	8,930463	8,929719	8,93003	8,92981	8,93003
8,930067	8,930876	8,930418	8,929601	8,930342	8,92929	8,92968
8,929653	8,929624	8,930229	8,93025	8,929531	8,93007	8,92969
8,930341	8,93013	8,929094	8,930443	8,93036	8,92969	8,93085
8,930211	8,929528	8,929924	8,929963	8,930061	8,92949	8,92959
8,929673	8,930762	8,93047	8,930281	8,93084	8,92888	8,92933
8,930757	8,930207	8,929997	8,931298	8,930016	8,9315	8,93031
8,929494	8,930717					

Fonte: Elaboração do autor

A partir dos tempos simulados foi montado um gráfico de probabilidade, para determinar se a distribuição dos dados é normal, como mostra a Figura (14)

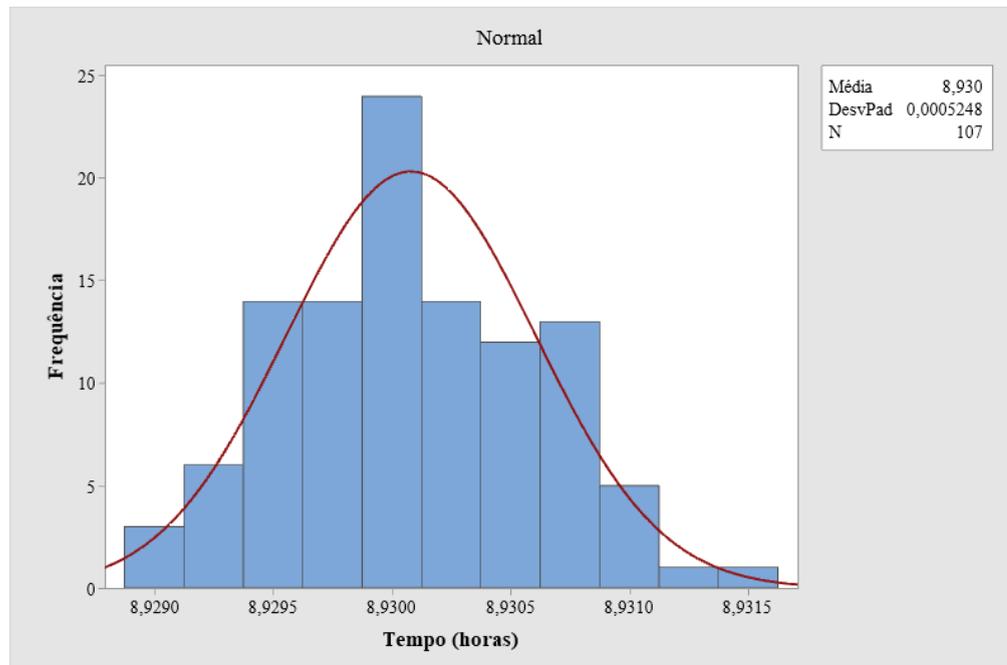
Figura 14 – Gráfico de probabilidade para alta demanda



Fonte: Elaboração do autor

Como pode ser observado os valor-P é de 0,295, sendo superior a 0,05, não rejeitando a hipótese nula. Os dados não apresentam evidência suficiente para rejeitar a hipótese de que é uma distribuição normal.

Figura 15– Histograma alta demanda



Fonte: Autor

Em seguida, aplicou-se o Teorema Central do Limite mostrado na Equação (25), para obter intervalo de confiança considerando amostras com $n > 30$.

Dessa forma temos que o intervalo de confiança é de $8,9300805 \pm 9,9441 \times 10^{-5}$, com nível de confiança de 95%.

O baixo desvio padrão apresentado nas simulações, é atribuído a em grande parte aos processos de moagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação terem valores de tempo constantes.

4.3 Cálculo de investimentos e despesas

4.3.1 Investimento Inicial

Para o cálculo do investimento inicial necessário à implantação da fábrica, foi considerada a soma do CAPEX, que engloba os custos com construção civil, aquisição de equipamentos e instalações, com o capital de giro, destinado a cobrir os gastos operacionais mensais, calculado como 110% do valor dos custos mensais na alta demanda. Esse valor total representa o montante necessário para viabilizar tanto a estrutura física quanto a sustentação financeira da operação no curto prazo.

4.3.2 Custos em baixa demanda

4.3.2.1 Custos energéticos em baixa demanda

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação, foi possível estimar o tempo de operação diária de cada equipamento e, conseqüentemente, calcular os custos de produção variáveis. Como o consumo diário de energia elétrica para o cenário de baixa demanda, considerando a utilização reduzida dos equipamentos na planta industrial.

Com o resultado do índice de uso de cada máquina, apresentado na Tabela (30), é possível estimar o consumo energético de cada máquina, apresentado na Tabela (31).

Tabela 30 - Uso das máquinas baixa demanda

Nome	Índice de utilização	Turno diário	Horas de uso
Tanque de descontaminação	33,45%	8	2,68
Extrusora	59,40%	8	4,75
Granuladora	59,40%	8	4,75
Lavadora	33,45%	8	2,68
Moinho	33,45%	8	2,68
Secadora	33,45%	8	2,68

Fonte: Autor

Tabela 31 - Consumo diário de energia baixa demanda

Equipamentos	Potência do motor (CV)	Consumo estimado (kW/h)	Tempo de operação (h/dia)	Consumo por dia (kW/h)
Esteira de alimentação	2	1,47	4,75	6,99
Moinho (moagem)	50	36,77	2,68	98,40
Lavadora	30	22,06	2,68	59,04
Tanque de descontaminação	6	4,41	2,68	11,81
Secadora centrífuga	30	22,06	2,68	59,04
Extrusora de grão	100	73,55	4,75	349,51
Granuladora	7	5,15	4,75	24,47
Total	225	165,48	8,00	609,25

Fonte: Autor

Dessa forma conseguimos estimar o consumo de energia mensal da indústria durante baixa demanda, realizando os cálculos a partir dos dados usando a Equação (6) e Equação (7), e incidindo uma alíquota de 17% de ICMS chegamos a um custo mensal de energia de R\$13.161,96 em um cenário de baixa demanda.

4.3.2.2 Custos de água e esgoto em baixa demanda

Diferentemente da energia elétrica, os custos mensais com água variam proporcionalmente ao volume de produção, uma vez que a água é utilizada em proporção com os quilos reciclados. Para este estudo, estimou-se um consumo de 2,7 litros de água por quilograma de plástico reciclado.

Dessa forma calculamos por meio da Equação (8) o volume mensal consumido de água no cenário de média demanda, chegando a um valor de $91,08 m^3$, conforme a Tabela (32) descreve.

Tabela 32 - Consumo de água mensal em baixa demanda

Descrição	Baixa demanda	Unidade
Produção diária	1600	kg/h
Consumo de água por kg	2,7	L/kg
Dias úteis ano	253	dias

Consumo mensal	91,08	m ³ /mês
----------------	-------	---------------------

Fonte: Autor

O custo mensal da água é calculado a partir da perda de água do sistema de reuso, que é 8,30% da água que passa pelo sistema, temos uma perda de 7,55 m³ de água que precisam ser repostos no sistema produtivo, sendo um valor inferior a 10 m³ mensais, a tarifa de água será de R\$16,54 e a de esgoto de R\$11,58, de acordo com a Tabela 33.

Tabela 33 - Custo mensal de água mensal em baixa demanda

Custos industriais de água/demanda					
200 kg/h	Passa pelo sistema	Perda	Custo água	Custo esgoto	Total
-	-	8,30%	R\$ 16,54	R\$ 11,58	R\$ 28,12
Mensal	91,08 m ³	7,55	R\$ 125,04	R\$ 87,54	R\$ 212,58

Fonte: Autor

4.3.2.3 Custos da matéria prima em baixa demanda

Por meio dos dados coletados de preço de compra do polipropileno descritos na Tabela (10), conseguimos estimar os custos com matéria prima para a produção de 1600 kg diários com grânulos de polipropileno preto (PP), através da Equação (9), assim temos que o custo de matéria prima mensal para a produção de baixa demanda é de R\$ 84.335,00.

4.3.2.4 Custos de mão de obra em baixa demanda

Os dados referentes à quantidade de funcionários operadores de maquinário, exceto número de separadores de sucata, foram fornecidos pela empresa do Paraná fornecedora dos dados das máquinas, presentes na Tabela (8) e Tabela (9). E a por meio da média salarial presente na Tabela (10), podemos calcular os custos referentes aos pagamentos dos funcionários, como pode ser observado na Tabela (34).

Tabela 34 – Custos com funcionários em baixa demanda

Funcionários	Média salarial	200 kg/h	Custos
Separador de Sucata	R\$ 1.738,01	2	R\$ 3.476,02
Operador de Extrusora	R\$ 2.368,41	2	R\$ 4.736,82

Operador de Moinho	R\$ 2.003,84	2	R\$ 4.007,68
Operador de Empilhadeira	R\$ 2.135,00	1	R\$ 2.135,00

Fonte: Autor

Dessa forma, a partir dos custos calculados, formamos o OPEX mensal em cenário de baixa demanda, apresentado na Tabela (35).

Tabela 35- OPEX em cenário de baixa demanda

OPEX baixa demanda	
Descrição	Custos mensais
	R\$
Custo água	212,58
Funcionários	R\$ 14.355,52
Energia	R\$ 11.257,10
Matéria prima	R\$ 84.335,00
Total	R\$ 110.160,20

Fonte: Autor

4.3.3 Custos em Média Demanda

4.3.3.1 Custos energéticos em média demanda

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação, foi possível estimar o tempo de operação diária de cada equipamento e, conseqüentemente, calcular os custos de produção variáveis. Como o consumo diário de energia elétrica para o cenário de média demanda, considerando a utilização reduzida dos equipamentos na planta industrial.

Com o resultado do índice de uso de cada máquina, apresentado na Tabela (36), é possível estimar o consumo energético de cada máquina, apresentado na Tabela (37).

Tabela 36 - Uso das máquinas média demanda

Nome	Índice de utilização	Turno diário (h)	Horas de uso
Tanque de descontaminação	47,84%	8	3,83
Extrusora	84,97%	8	6,80
Granuladora	84,97%	8	6,80
Lavadora	47,84%	8	3,83
Moinho	47,84%	8	3,83
Secadora	47,84%	8	3,83

Fonte: Autor

Tabela 37 - Consumo diário de energia média demanda

Equipamentos	Potência motor (CV)	Consumo estimado (kW/h)	Tempo de operação (h/dia)	Consumo por dia (kW/h)
Esteira de alimentação	2	1,47	6,80	10,01
Moinho (moagem)	50	36,77	3,83	140,86
Lavadora	30	22,06	3,83	84,51
Tanque de descontaminação	6	4,41	3,83	16,90
Secadora centrífuga	30	22,06	3,83	84,51
Extrusora de grão	100	73,55	6,80	500,33
Granuladora	7	5,15	6,80	35,02
Total	225	165,48	8	872,14

Fonte: Autor

Dessa forma conseguimos estimar o consumo de energia mensal da indústria durante baixa demanda, realizando os cálculos a partir dos dados usando a Equação (6) e Equação (7), e incidindo uma alíquota de 17% de ICMS chegamos a um custo mensal de energia de R\$15.899,23 em um cenário de baixa demanda.

4.3.3.2 Custos de água e esgoto em média demanda

Diferentemente da energia elétrica, os custos mensais com água variam proporcionalmente ao volume de produção, uma vez que a água é utilizada em proporção com os quilos reciclados. Para este estudo, estimou-se um consumo de 2,7 litros de água por quilograma de plástico reciclado.

Por meio da Equação (8), foi calculado o volume mensal consumido de água no cenário de média demanda, chegando a um valor de $136,62 m^3$, conforme a Tabela (38) descreve.

Tabela 38 - Consumo de água mensal em média demanda

Descrição	Média demanda	Unidade
Produção diária	2400	kg/h

Consumo de água por kg	2,7	L/kg
Dias úteis ano	253	dias
Consumo mensal	136,62	m ³ /mês

Fonte: Autor

O custo mensal da água em média demanda, apresentado na Tabela (39), é calculado a partir da perda de água do sistema de reuso, que é 8,30% da água que passa pelo sistema, temos uma perda de 11,33 m³ de água que precisam ser repostos no sistema produtivo, sendo um valor superior a 10 m³ mensais, a tarifa de água será de R\$31,85 e a de esgoto de R\$22,80 sendo calculado usando as tarifas das Águas Guariroba, apresentada na Tabela (12).

Tabela 39 - Custo mensal de água mensal em média demanda

Custos industriais de água / demanda					
300 kg/h	Passa pelo sistema	Perda	Custo água	Custo esgoto	Total
-	-	8,30%	R\$ 31,85	R\$ 22,30	R\$ 54,15
Mensal	136,62 m ³	11,33946	R\$ 361,16	R\$ 252,87	R\$ 614,03

Fonte: Autor

4.3.3.3 Custos da matéria prima em média demanda

Por meio dos dados coletados de preço de compra do polipropileno descritos na Tabela (10), conseguimos estimar os custos mensais com matéria prima em média demanda para a produção de 2400 kg diários com grânulos de polipropileno preto (PP), através da Equação (9), assim temos que o custo é de R\$ 126.500,00.

4.3.3.4 Custos de mão de obra em média demanda

Os dados referentes à quantidade de funcionários operadores de maquinário, exceto número de separadores de sucata, foram fornecidos pela empresa do Paraná fornecedora dos dados das máquinas, presentes na Tabela (8) e Tabela (9). E a média por meio da média salarial presente na Tabela (10), podemos calcular os custos referentes aos pagamentos dos funcionários em um cenário de média demanda, como pode ser observado na Tabela (40).

Tabela 40 - Custos funcionários média demanda

Funcionários	Média salarial	300 kg/h	Custos
Separador de Sucata	R\$ 1.738,01	3	R\$ 5.214,03
Operador de Extrusora	R\$ 2.368,41	2	R\$ 4.736,82
Operador de Moinho	R\$ 2.003,84	2	R\$ 4.007,68
Operador de Empilhadeira	R\$ 2.135,00	1	R\$ 2.135,00

Fonte: Autor

Dessa forma, a partir dos custos calculados, formamos o OPEX mensal em cenário de média demanda, apresentado na Tabela (41).

Tabela 41 - OPEX em cenário de média demanda

Média demanda	
Descrição	Custos mensais
	R\$
Custo água	614,03
	R\$
Funcionários	16.093,53
	R\$
Energia	16.020,84
Matéria prima	R\$ 126.500,00
Total	R\$ 159.228,40

Fonte: Autor

4.3.4 Custos em alta demanda

4.3.4.1 Custos energéticos em alta demanda

Com base nos resultados obtidos por meio da simulação, foi possível estimar o tempo de operação diária de cada equipamento e, conseqüentemente, calcular os custos de produção variáveis. Como o consumo diário de energia elétrica para o cenário de média demanda, considerando a utilização reduzida dos equipamentos na planta industrial.

Com o resultado do índice de uso de cada máquina, apresentado na Tabela (42), é possível estimar o consumo energético de cada máquina, apresentado na Tabela (43).

Tabela 42- Uso das máquinas alta demanda

Nome	Índice de utilização	Turno diário	Horas de uso
Tanque de descontaminação	50,39%	8	4,03
Extrusora	89,50%	8	7,16
Granuladora	89,50%	8	7,16
Lavadora	50,39%	8	4,03
Moinho	50,39%	8	4,03
Secadora	50,39%	8	4,03

Fonte: Autor

Tabela 43 - Consumo diário de energia alta demanda

Equipamentos	Potência motor (CV)	Consumo estimado (kW/h)	Tempo de operação (h/dia)	Consumo por dia (kW/h)
Esteira de alimentação	2	1,47	7,16	10,53
Moinho (moagem)	50	36,77	4,03	148,25
Lavadora	30	22,06	4,03	88,95
Tanque de descontaminação	6	4,41	4,03	17,79
Secadora centrífuga	30	22,06	4,03	88,95
Extrusora de grão	100	73,55	7,16	526,60
Granulador	7	5,15	7,16	36,86
Total	225	165,48	8	917,94

Fonte: Autor

Dessa forma conseguimos estimar o consumo de energia mensal da indústria durante baixa demanda, realizando os cálculos a partir dos dados usando a Equação (6) e Equação (7), e incidindo uma alíquota de 17% de ICMS chegamos a um custo mensal de energia de R\$16.376,10 em um cenário de baixa demanda.

4.3.4.2 Custos de água e esgoto em alta demanda

Usamos então a Equação (8), para calcular o volume mensal consumido de água no cenário de alta demanda, chegando a um valor de $187,05 \text{ m}^3$, conforme a Tabela (44) descreve.

Tabela 44 - Consumo de água mensal em alta demanda

Descrição	Alta demanda	Unidade
Produção diária	3286	kg/h
Consumo de água por kg	2,7	L/kg
Dias úteis ano	253	dias
Consumo mensal	187,05	m ³ /mês

Fonte: Autor

O custo mensal da água em alta demanda, apresentado na Tabela (45), é calculado a partir da perda de água do sistema de reuso, que é 8,30% da água que passa pelo sistema, temos uma perda de $15,53 \text{ m}^3$ de água que precisam ser repostos no sistema produtivo, sendo um valor superior a 10 m^3 mensais, a tarifa de água será de R\$31,85 e a de esgoto de R\$22,80 sendo calculado usando as tarifas das Águas Guariroba, apresentada na Tabela (12).

Tabela 45 - Custo mensal de água mensal em alta demanda

Custos industriais de água / demanda					
410,75 kg/h	Passa pelo sistema	Perda	Custo água	Custo esgoto	Total
-	-	8,30%	R\$ 31,85	R\$ 22,30	R\$ 54,15
Mensal	$187,06 \text{ m}^3$	15,53	R\$ 494,49	R\$ 346,22	R\$ 840,71

Fonte: Autor

4.3.4.3 Custos da matéria prima em alta demanda

Por meio dos dados coletados de preço de compra do polipropileno descritos na Tabela (13), estimou-se os custos mensais com matéria prima em alta demanda para a produção de 3286 kg diários com grânulos de polipropileno preto (PP), através da Equação (9), assim o custo é de R\$ 173.197,50 com matéria prima.

4.3.4.4 Custos de mão de obra em alta demanda

Os dados referentes à quantidade de funcionários operadores de maquinário, exceto número de separadores de sucata, foram fornecidos pela empresa do Paraná fornecedora dos dados das máquinas, presentes na Tabela (8) e Tabela (9). E a média por meio da média salarial presente na Tabela (9), podemos calcular os custos referentes aos pagamentos dos funcionários em um cenário de média demanda, como pode ser observado na Tabela (46).

Tabela 46 - Custos funcionários

Funcionários	Média salarial	450 kg/h	Custos
Separador de Sucata	R\$ 1.738,01	3	R\$ 5.214,03
Operador de Extrusora	R\$ 2.368,41	2	R\$ 4.736,82
Operador de Moinho	R\$ 2.003,84	2	R\$ 4.007,68
Operador de Empilhadeira	R\$ 2.135,00	1	R\$ 2.135,00

Fonte: Autor

Dessa forma, a partir dos custos calculados, formamos o OPEX mensal em cenário de média demanda, apresentado na Tabela (47).

Tabela 47 - Custos mensais em cenário de alta demanda

Alta demanda	
Descrição	Custos mensais
Custo água	R\$ 840,71
Funcionários	R\$ 16.093,53
Energia	R\$ 17.726,76
Matéria prima	R\$ 173.197,50
Total	R\$ 207.858,50

Fonte: Autor

4.4 Demonstração de resultado de exercício

Para o cálculo da Demonstração de resultado de exercício (DRE), apresentado na Tabela (48), foi feita uma análise mensal, na qual a partir da receita bruta gerada a partir do volume de produção dos volumes de produção pelo preço de compra do polipropileno descritos na Tabela (13), realizamos todas as deduções de impostos sobre receita bruta e custos descritos pela Tabela (47), para a alta demanda, Tabela (41) para média demanda e Tabela (35) para baixa demanda. Por fim, são deduzidos o IRPJ e CSLL, como descrito por Viceconti (2018), para obter o

resultado líquido, para o cálculo tributário foi escolhido o lucro presumido, que, pois a empresa entra no enquadramento de faturamento anual máximo de R\$78 milhões, permite também simplificar a declaração, utilizando percentuais fixos de presunção de lucro.

Tabela 48 - DRE mensal para cada nível de demanda

DRE - Demonstração do resultado do exercício de 1 mês			
Descrição	Alta demanda	Média demanda	Baixa demanda
Receita Bruta R\$	381034,50	278300,00	185537,00
Volume und.	69279	50600	33734
Preço R\$	5,50	5,50	5,50
Imposto sobre Receita Bruta R\$	-78683,62	-57468,95	-38313,39
ICMS - 17% R\$	-64775,87	-47311,00	-31541,29
PIS - 0,65% R\$	-2476,72	-1808,95	-1205,99
Confins - 3% R\$	-11431,04	-8349,00	-5566,11
Receita Líquida de Vendas R\$	302350,88	220831,05	147223,61
Custo do Produto Vendido R\$	-206507,84	-159106,79	-112065,06
Custo fixo R\$	-16093,53	-16093,53	-14355,52
Custo Variável R\$	-190414,31	-143013,26	-97709,54
Lucro Operacional - Resultado Bruto R\$	95843,04	61724,26	35158,54
Lucro Presumido R\$	30482,76	22264,00	14842,96
Imposto de Renda 15% R\$	-4572,41	-3339,60	-2226,44
Adicional Imposto de renda - 10% R\$	-1048,28	-226,40	0,00
Contribuição social - 9% R\$	-4115,17	-3005,64	-2003,80
Resultado líquido ou Lucro Líquido R\$	86107,17	55152,62	30928,30

Fonte: Autor

Ao utilizar o Lucro Presumido percebe-se os houve lucros líquidos superiores ao presumido, observado pelo quociente do resultado líquido pela receita bruta da Tabela (39), gerando um lucro real de 22,60% para alta demanda, 19,82% para média demanda e 16,67% para baixa demanda.

4.5 Fluxo de Caixa

Os fluxos de caixa foram montados considerando a variação do preço de venda do produto e dos custos, com reajuste anual levando em conta a média do IPCA nos períodos de 20 anos. Assim foram montados o fluxo de caixa de alta demanda mostrados nas tabelas (49) e (50).

Tabela 49 - Fluxo de caixa alta demanda parte 1

Fluxo de Caixa alta demanda

Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Receita R\$	-	4572414,00	4828011,94	5097897,81	5382870,30
Volume de Produção und.	-	831348	831348	831348	831348
Preço de venda R\$	-	5,50	5,81	6,13	6,47
(-) Gastos Variáveis R\$	-	-2284971,70	-2412701,62	-2547571,64	-2689980,89
(-) Gastos fixos R\$	-	-193122,36	-203917,90	-215316,91	-227353,13
Depreciação R\$	-	-	-	-	-
LAIR R\$	-	2094319,94	2211392,43	2335009,26	2465536,28
ICMS - 17% R\$	-	-777310,38	-820762,03	-866642,63	-915087,95
PIS - 0,65% R\$	-	-29720,69	-31382,08	-33136,34	-34988,66
COFINS - 3% R\$	-	-137172,42	-144840,36	-152936,93	-161486,11
Lucro Presumido R\$	-	365793,12	386240,96	407831,82	430629,62
IRPJ - 15% R\$	-	-54868,97	-57936,14	-61174,77	-64594,44
Adicional IR - 10% R\$	-	-12579,31	-14624,10	-16783,18	-19062,96
Contribuição social - 9% R\$	-	-49382,07	-52142,53	55057,30	58135,00
Lucro Líquido R\$	-	1399079,22	1475946,15	1667224,53	1759080,78
Depreciação R\$	-	-	-	-	-
FC Operacional R\$	-	1399079,22	1475946,15	1667224,53	1759080,78
Perm Investimento R\$	-2057112,01	-	-	-	-
Treinamento R\$	-	-	-	-	-
Capital de Giro R\$	-227158,62	-	-	-	-
Fluxo de caixa Líquido R\$	-2284270,63	-768601,48	707344,67	2374569,20	4133649,98

Fonte: Autor

Tabela 50- Fluxo de caixa alta demanda parte 2

Fluxo de Caixa alta demanda		
Descrição	Ano 5	Ano 6
Receita R\$	5683772,75	6001495,64
Volume de Produção und.	831348	831348
Preço de venda R\$	6,84	7,22
(-) Gastos Variáveis R\$	-2840350,82	-2999126,43
(-) Gastos fixos R\$	-240062,17	-253481,64
Depreciação R\$	-	-
LAIR R\$	2603359,76	2748887,57
ICMS - 17% R\$	-966241,37	-1020254,26
PIS - 0,65% R\$	-36944,52	-39009,72
COFINS - 3% R\$	-170513,18	-180044,87
Lucro Presumido R\$	454701,82	480119,65
IRPJ - 15% R\$	-68205,27	-72017,95
Adicional IR - 10% R\$	-21470,18	-24011,97
Contribuição social - 9% R\$	61384,75	64816,15
Lucro Líquido R\$	1856071,80	1958484,61
Depreciação R\$	-	-
FC Operacional R\$	1856071,80	1958484,61
Perm Investimento R\$	-	-
Treinamento R\$	-	-

Capital de Giro R\$	-	-
Fluxo de caixa Líquido R\$	5989721,78	7948206,39

Fonte: Autor

Usando o mesmo procedimento, utilizando todos os gastos de OPEX pelo IPCA médio do período de 20 anos, de 2005 até o ano de 2024, foi montado também o fluxo de caixa de média demanda, mostrados nas Tabela (51) e Tabela (52) a seguir.

Tabela 51 - Fluxo de caixa média demanda parte 1

Fluxo de Caixa média demanda					
Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Receita R\$	-	3339600,00	3526283,64	3723402,90	3931541,12
Volume de Produção und.	-	607200	607200	607200	607200
Preço de venda R\$	-	5,50	5,81	6,13	6,47
(-) Gastos Variáveis R\$	-	-1716159,09	-1812092,38	-1913388,35	-2020346,76
(-) Gastos fixos R\$	-	-193122,36	-203917,90	-215316,91	-227353,13
Depreciação R\$	-		0,00	0,00	0,00
LAIR R\$	-	1430318,55	1510273,36	1594697,64	1683841,24
ICMS - 17% R\$	-	-567732,00	-599468,22	-632978,49	-668361,99
PIS - 0,65% R\$	-	-21707,40	-22920,84	-24202,12	-25555,02
COFINS - 3% R\$	-	-100188,00	-105788,51	-111702,09	-117946,23
Lucro Presumido R\$	-	267168,00	282102,69	297872,23	314523,29
IRPJ - 15% R\$	-	-40075,20	-42315,40	-44680,83	-47178,49
Adicional IR - 10% R\$	-	-2716,80	-4210,27	-5787,22	-7452,33
Contribuição social - 9% R\$	-	-36067,68	-38083,86	40212,75	42460,64
Lucro Líquido R\$	-	928999,47	979588,94	1113431,87	1174331,11
Depreciação R\$	-	-			
FC Operacional R\$	-	928999,47	979588,94	1113431,87	1174331,11
Perm Investimento R\$	-2057112,01	-	-	-	-
Treinamento R\$	-	-	-	-	-
Capital de Giro R\$	-227158,62	-	-	-	-
Fluxo de caixa Líquido R\$	-2284270,63	-1355271,16	-375682,22	737749,65	1912080,75

Fonte: Autor

Tabela 52- Fluxo de caixa média demanda parte 2

Fluxo de Caixa média demanda		
Descrição	Ano 5	Ano 6
Receita R\$	4151314,27	4383372,73
Volume de Produção und.	607200	607200
Preço de venda R\$	6,84	7,22
(-) Gastos Variáveis R\$	-2133284,14	-2252534,72
(-) Gastos fixos R\$	-240062,17	-253481,64
Depreciação R\$	-	-
LAIR R\$	1777967,96	1877356,37
ICMS - 17% R\$	-705723,43	-745173,36

PIS - 0,65% R\$	-26983,54	-28491,92
COFINS - 3% R\$	-124539,43	-131501,18
Lucro Presumido R\$	332105,14	350669,82
IRPJ - 15% R\$	-49815,77	-52600,47
Adicional IR - 10% R\$	-9210,51	-11066,98
Contribuição social - 9% R\$	44834,19	47340,43
Lucro Líquido R\$	1238634,62	1306532,69
Depreciação R\$	-	-
FC Operacional R\$	1238634,62	1306532,69
Perm Investimento R\$	-	-
Treinamento R\$	-	-
Capital de Giro R\$	-	-
Fluxo de caixa Líquido R\$	3150715,37	4457248,06

Fonte: Autor

E por fim o fluxo de caixa de baixa demanda, mostrados nas Tabelas (53) e (54), a seguir.

Tabela 53- Fluxo de caixa baixa demanda parte 1

Fluxo de Caixa baixa demanda					
Descrição	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Receita R\$	-	2226400,00	2350855,76	2482268,60	2621027,41
Volume de Produção und.	-	404800	404800	404800	404800
Preço de venda R\$	-	5,50	5,81	6,13	6,47
(-) Gastos Variáveis R\$	-	-1172514,54	-1238058,10	-1307265,55	-1380341,69
(-) Gastos fixos R\$	-	-172266,24	-181895,92	-192063,90	-202800,28
Depreciação R\$	-	-	-	-	-
LAIR R\$	-	881619,22	930901,74	982939,15	1037885,44
ICMS - 17% R\$	-	-378488,00	-399645,48	-421985,66	-445574,66
PIS - 0,65% R\$	-	-14471,60	-15280,56	-16134,75	-17036,68
COFINS - 3% R\$	-	-66792,00	-70525,67	-74468,06	-78630,82
Lucro Presumido R\$	-	178112,00	188068,46	198581,49	209682,19
IRPJ - 15% R\$	-	-26716,80	-28210,27	-29787,22	-31452,33
Adicional IR - 10% R\$	-	6188,80	5193,15	4141,85	3031,78
Contribuição social - 9% R\$	-	-24045,12	-25389,24	-26808,50	-28307,10
Lucro Líquido R\$	-	555406,50	585112,13	616478,30	649597,83
Depreciação R\$	-	-	-	-	-
FC Operacional R\$	-	555406,50	585112,13	616478,30	649597,83
Perm Investimento R\$	-2057112,01	-	-	-	-
Treinamento R\$	-	-	-	-	-
Capital de Giro R\$	-227158,62	-	-	-	-
Fluxo de caixa Líquido R\$	-2284270,63	-1728864,13	-1143752,00	-527273,71	122324,13

Fonte: Autor

Tabela 54- Fluxo de caixa baixa demanda parte 2

Fluxo de Caixa média demanda		
Descrição	Ano 5	Ano 6
Receita R\$	2767542,84	2922248,49
Volume de Produção und.	404800	404800
Preço de venda R\$	6,84	7,22
(-) Gastos Variáveis R\$	-1457502,79	-1538977,20
(-) Gastos fixos R\$	-214136,81	-226107,06
Depreciação R\$	-	-
LAIR R\$	1095903,24	1157164,23
ICMS - 17% R\$	-470482,28	-496782,24
PIS - 0,65% R\$	-17989,03	-18994,62
COFINS - 3% R\$	-83026,29	-87667,45
Lucro Presumido R\$	221403,43	233779,88
IRPJ - 15% R\$	-33210,51	-35066,98
Adicional IR - 10% R\$	1859,66	622,01
Contribuição social - 9% R\$	-29889,46	-31560,28
Lucro Líquido R\$	684568,75	721494,54
Depreciação R\$	-	-
FC Operacional R\$	684568,75	721494,54
Perm Investimento R\$	-	-
Treinamento R\$	-	-
Capital de Giro R\$	-	-
Fluxo de caixa Líquido R\$	806892,88	1528387,42

Fonte: Autor

4.6 Valor presente líquido

Para o cálculo do VPL foi montado um fluxo de caixa para cada nível de demanda, como é apresentado pela Tabela (55), adotando o valor de investimento inicial encontrado no DRE nas Tabelas (49), Tabela (50), Tabela (51), Tabela (52), Tabela (53) e Tabela (54). No cálculo foi considerado como desconto de custo de capital a taxa mínima de atratividade (TMA) o valor da taxa CDI na data de realização do trabalho, 14,65%.

Tabela 55 - Fluxo de entrada de caixa para cada nível de demanda

Ano	Alta Demanda	Média Demanda	Baixa Demanda
0	-R\$ 2.285.756,36	-R\$ 2.285.756,36	-R\$ 2.285.756,36
1	R\$ 1.399.079,22	R\$ 928.999,47	R\$ 555.406,50
2	R\$ 1.475.946,15	R\$ 979.588,94	R\$ 585.112,13
3	R\$ 1.667.224,53	R\$ 1.113.431,87	R\$ 616.478,30
4	R\$ 1.759.080,78	R\$ 1.174.331,11	R\$ 649.597,83
5	R\$ 1.856.071,80	R\$ 1.238.634,62	R\$ 684.568,75
6	R\$ 1.958.484,61	R\$ 1.306.532,69	R\$ 721.494,54

Fonte: Autor

A partir dos valores do fluxo de caixa e a TMA, utiliza-se a Equação (1) para obter os valores de VPL descritos na Tabela (56).

Tabela 56- VPL de 6 anos em cada cenário de demanda

Descrição	Alta Demanda	Média Demanda	Baixa Demanda
VPL do Projeto	R\$ 3.981.097,27	R\$ 1.888.816,82	R\$ 92.105,99

Fonte: Autor

4.7 Taxa interna de retorno

Por meio dos valores de fluxo de caixa apresentados na Tabela (55), foi montando os cálculos para a taxa interna de retorno para cada nível de demanda, por meio da Equação (2), e seus resultados são apresentados na Tabela (57).

Tabela 57- TIR em cada cenário de demanda

Descrição	Alta Demanda	Média Demanda	Baixa Demanda
TIR do Projeto	64%	40%	16%

Fonte: Autor

Os resultados obtidos indicam que, no cenário de alta demanda, a TIR anual foi de 64%, enquanto nos cenários de média e baixa demanda os valores encontrados foram, respectivamente, 40% e 16% ao ano, evidenciando a forte correlação entre volume de produção e retorno financeiro do investimento.

4.8 Payback descontado

4.8.1 Payback descontado em alta demanda

O fluxo de caixa anual foi trazido a valor presente por meio do desconto da taxa mínima de atratividade e em seguida foi calculado o valor presente acumulado presente na Tabela (58), que é a soma dos valores presentes, essas somas foram feitas para cada nível de demanda, para calcular assim o payback descontado.

Tabela 58 - Valor presente acumulado em alta demanda

Alta demanda				
Ano	Fluxo de caixa	Valor presente	VP Acumulado	
0	-R\$ 2.285.756,36	-R\$ 2.285.756,36	-R\$ 2.285.756,36	
1	R\$ 1.399.079,22	R\$ 1.220.304,60	-R\$ 1.065.451,76	
2	R\$ 1.475.946,15	R\$ 1.122.851,68	R\$ 57.399,92	
3	R\$ 1.667.224,53	R\$ 1.106.297,46	R\$ 1.163.697,37	
4	R\$ 1.759.080,78	R\$ 1.018.097,91	R\$ 2.181.795,29	

5	R\$	1.856.071,80	R\$ 936.967,39	R\$ 3.118.762,68
6	R\$	1.958.484,61	R\$ 862.334,59	R\$ 3.981.097,27

Fonte: Autor

No ano dois o Valor Presente acumulado (VPA) já é positivo, assim, sabemos que o tempo de payback é inferior a 2 anos, para determinarem com precisão o tempo para o retorno dividimos o VPA de último ano em que estava negativo, no caso o primeiro ano, -R\$1.065.451,76, pelo valor presente (VP) do primeiro ano positivo, segundo ano, R\$1.122.851,68.

Chegamos assim a um valor de 1,95 anos de payback, para que o valor investido inicialmente retorne em um cenário de alta demanda, como pode ser visto na Tabela (61).

4.8.2 Payback descontado em média demanda

Tabela 59 - Valor presente acumulado em média demanda

Média demanda				
	Fluxo de caixa	Valor presente	VP Acumulado	
0	-R\$ 2.285.756,36	-R\$ 2.285.756,36	-R\$ 2.285.756,36	
1	R\$ 928.999,47	R\$ 810.291,73	-R\$ 1.475.464,63	
2	R\$ 979.588,94	R\$ 745.239,31	-R\$ 730.225,32	
3	R\$ 1.113.431,87	R\$ 738.824,81	R\$ 8.599,49	
4	R\$ 1.174.331,11	R\$ 679.664,10	R\$ 688.263,59	
5	R\$ 1.238.634,62	R\$ 625.277,67	R\$ 1.313.541,25	
6	R\$ 1.306.532,69	R\$ 575.275,56	R\$ 1.888.816,82	

Fonte: Autor

Percebemos ao analisar a tabela (59) que no ano dois o VP acumulado já é positivo, assim, sabemos que o tempo de payback é inferior a 3 anos, para determinarem com precisão o tempo para o retorno dividimos o VPA de último ano em que estava negativo, no caso o primeiro ano, -R\$730.225,32, pelo VP do primeiro ano positivo, segundo ano, R\$738.824,81.

Chegamos assim a um valor de 2,99 anos de payback, para que o valor investido inicialmente retorne em um cenário de média demanda, como pode ser visto na Tabela (61).

4.8.3 Payback descontado em baixa demanda

Tabela 60 - Valor presente acumulado em baixa demanda

Baixa demanda				
	Fluxo de caixa	Valor presente	VP Acumulado	
0	-R\$ 2.285.756,36	-R\$ 2.285.756,36	-R\$ 2.285.756,36	
1	R\$ 555.406,50	R\$ 484.436,55	-R\$ 1.801.319,81	
2	R\$ 585.112,13	R\$ 445.134,22	-R\$ 1.356.185,59	
3	R\$ 616.478,30	R\$ 409.068,10	-R\$ 947.117,49	

4	R\$	649.597,83	R\$ 375.965,79	-R\$ 571.151,70
5	R\$	684.568,75	R\$ 345.578,55	-R\$ 225.573,15
6	R\$	721.494,54	R\$ 317.679,14	R\$ 92.105,99

Fonte: Autor

Percebemos ao analisar também a Tabela (60) que no ano dois o VP acumulado já é positivo, assim, sabemos que o tempo de payback é inferior a 6 anos, para determinarem com precisão o tempo para o retorno dividimos o valor do VP acumulado de último ano em que estava negativo, no caso o primeiro ano, -R\$225.573,15, pelo valor presente do primeiro ano positivo, segundo ano, R\$317.679,14.

Assim o tempo necessário para que o valor investido inicialmente retorne em um cenário de baixa demanda é de 5,71 anos, como pode ser visto na Tabela (61).

Tabela 61- Tempo de Payback descontado

Descrição	Alta demanda	Média demanda	Baixa demanda
Tempo de Payback (Anos)	1,95	2,99	5,71

Fonte: Autor

Ao analisar os indicadores financeiros gerados nos três cenários de demanda simulados conseguimos evidenciar a viabilidade econômica do projeto de implantação da indústria de reciclagem mecânica de polipropileno, apresentando valores de VPL positivos como mostra a Tabela (56) e apresentando uma TIR, descritas na Tabela (57), que superam amplamente a TMA de 14,65% em todas as simulações. No entanto, esses números demonstram a forte sensibilidade do retorno financeiro ao volume de produção, o que indica a importância de a capacidade instalada ser explorada de forma eficiente. Os resultados de payback demonstram também que o retorno ocorre dentro de horizontes razoáveis, 1,95 anos para o cenário de alta demanda, 2,99 anos para a demanda média e 5,71 anos para a baixa demanda. A recuperação rápida do investimento em níveis mais elevados de produção evidencia a robustez do modelo econômico da indústria proposta.

5 CONCLUSÃO

O plástico é um grande desafio de gestão de resíduos sólidos para o mundo, e com o crescimento populacional, consumo de plástico e métodos de substituição ainda não escaláveis, o desafio ainda parece longe de ser solucionado. Nesse contexto, a reciclagem de plástico se apresenta como uma alternativa para mitigar os impactos negativos gerados pela produção e má gestão desse poluente. No entanto, os desafios de competitividade enfrentados pelo plástico reciclado em relação ao plástico virgem em conjunto com a taxa de mortalidade de empresas e indústrias novas no Brasil, torna desafiador a abertura de novas fábricas de reciclagem de plástico.

Diante disso, a pesquisa teve como objetivo geral, avaliar a viabilidade econômica de uma indústria de reciclagem mecânica de polipropileno, na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, em diferentes cenários de demanda. Foi identificado que em todos os cenários analisados no período de 6 anos o valor de TIR é superior a TMA, assim como o VPL apresentou valores superiores a zero, e para o tempo de payback descontado, métrica auxiliar de análise, foi encontrado um tempo de retorno de investimento de 1,95 anos em alta demanda, e 5,71 anos em baixa demanda, período curto que reduz risco externos ao projeto, garantindo assim a viabilidade econômica da implantação.

A montagem do layout da indústria foi concluída, permitindo a simulação dos tempos de movimentação de materiais pela empilhadeira na fábrica, assim como validou o espaço inicialmente proposto para a construção do galpão industrial, de 500 m².

Modelar e simular o processo produtivo em diferentes níveis de demanda foi imprescindível para realizar o estudo de viabilidade, permitindo não só identificar a capacidade real, que em cenário de alta demanda, não era a mesma do maquinário, chegando a um máximo de 410,75 kg por hora, mas também realizar um estudo mais preciso dos custos de produção, através dos dados de tempo de uso das máquinas e de produção.

O objetivo de calcular o CAPEX e OPEX da fábrica foi efetivamente concluído, e foi um dos pontos chave para chegar aos dados para análise de viabilidade econômica, e por meio da correção anual dos custos operacionais com base na média histórica da inflação, utilizando o IPCA como índice de referência, trouxe maior solidez aos dados utilizados nos fluxos de caixa e contribuiu para que os resultados financeiros refletissem condições próximas da realidade do setor produtivo brasileiro.

O objetivo de estimar os fluxos de caixa e calcular os indicadores financeiros foi uma etapa fundamental, que permitiu aplicar métricas de avaliação de investimento clássicas e muito utilizadas por grandes empresas na análise de investimentos, proporcionando uma análise

quantitativa do retorno financeiro do projeto, oferecendo suporte técnico confiável para tomada de decisão de investimento.

A hipótese de que em baixa demanda não seria viável a instalação de fábrica foi refutada, já que os indicadores de análise financeira empregados, mesmo nesse nível de demanda, apresentaram valores positivos para os critérios no período de análise de seis anos. Isso mostra que embora o retorno se apresente menor que nos cenários de média e alta demanda, o investimento ainda se revela como sendo economicamente viável no longo prazo.

Por meio dessas análises podemos então dizer que é economicamente viável implantar uma indústria de reciclagem mecânica de plásticos na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, já que a mesma atende todos os critérios de decisão de investimentos, apresentando valores positivos para o VPL e TIR.

Algumas dificuldades e limitações se apresentaram durante o desenvolvimento do trabalho, impactando a abrangência de determinadas análises. Não foi possível coletar dados reais de tempo de movimentação da empilhadeira, o que exigiu utilização de estimativas teóricas para representar essa etapa na simulação. Além disso, o estudo foi restrito ao polipropileno preto, por não conseguir obter dados confiáveis sobre os outros plásticos e cores. Também não foi possível obter dados da vida útil dos equipamentos, impossibilitando o cálculo da depreciação dos bens para dedução do imposto de renda. Por fim, não foi possível coletar dados de benchmarking nem levantar dados concretos sobre a demanda regional, o que impediu a definição de parâmetros de mercado precisos para a indústria em Campo Grande, sendo necessário assim realizar simulações em diferentes demandas possibilitando construir cenários possíveis e úteis para a análise de viabilidade econômica.

Sugere-se que em futuras pesquisas seja aprimorado o modelo desenvolvido através de coleta de dados reais dos tempos de movimentação de materiais e o layout físico da planta, permitindo uma simulação mais precisa dos eventos reais. Além disso, a inclusão de outros tipos de plásticos e cores pode ampliar o escopo de análise e torná-la mais próxima à realidade das fábricas de reciclagem plástica.

Sugere-se também que seja considerado em futuros estudos também os valores de depreciação dos equipamentos como dedução no cálculo de IRPJ, tornando a análise financeira mais completa, já que o valor dos equipamentos é representativo no valor de investimento inicial da fábrica, permitindo que seja analisado seu impacto no tempo de retorno. Por fim, tendo em vista o impacto significativo dos custos com energia elétrica sobre os custos operacionais, destaca-se a importância de incluir no estudo de viabilidade econômica a adoção

de um sistema de geração energia elétrica solar fotovoltaica como alternativa para a redução de despesas operacionais e para o aumento da sustentabilidade do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- PICPLAST, **Reciclagem de plásticos no Brasil: estudo aponta índice de 24,3% para as embalagens em 2023**. Disponível em: <https://www.picplast.com.br/detalhe-noticia/reciclagem-de-plasticos-no-brasil-estudo-aponta-indice-de-243-para-as-embalagens-em-2023>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- OCDE. **Perspectivas globais sobre plásticos: impulsionadores econômicos, impactos ambientais e opções políticas**. Publicação da OCDE, Paris. 2022. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/global-plastics-outlook_de747aef-en.html. Acesso em: 17 jun. 2025.
- OCDE. **Melhorando os mercados de plásticos reciclados: tendências, perspectivas e respostas políticas**. Publicação da OCDE, Paris. 2018. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/improving-markets-for-recycled-plastics_9789264301016-en.html. Acesso em: 27 jun. 2025.
- População mundial chegará a 9,9 bilhões em 2054**. ONU News. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830966>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- Brizga, J; K. Hubacek e K. Feng. Os efeitos colaterais não intencionais dos bioplásticos: pegadas de carbono, terra e água. **One Earth**. v. 3, ed. 1, p. 45 - 53. 2020.
- GITMAN, L. J.; ZUTTER, C. J. **Princípios de administração financeira**. 14. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2017.
- GASPERI, Johnny et al. Microplastics in air: Are we breathing it in? **Current Opinion in Environmental Science & Health**, França, v. 1, p. 1-5, 2018.
- SPINACÉ, Márcia; PAOLI, Marco. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 65–72, 2005.
- FARIA, Flavia; PACHECO, Elen. A reciclagem de plástico a partir de conceitos de Produção Mais Limpa. **GEPROS**, Rio de Janeiro, ano. 6, n. 6, p. 93-107, 2011.
- ZANIN, Maria; MANCINI, Sandro. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**. São Carlos: EdUFSCAR, 2009.
- Silva, E. A., Araújo, I. M., & Moita, J. M., No. Eficiência energética na indústria de reciclagem e transformação de material plástico. **XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Teresina, 2014.
- PARAGON. **Introdução à simulação com Arena**, 6. ed. São Paulo, 2019.
- BIANQUINI, Vitor; HERCULANI, Rhadler. Simulação com o Software Arena: Um Estudo de Caso em uma Empresa de Armazenagem de Frios, **Advances in Global Innovation & Technology**. v. 3, n. 1, 2024.
- BIF, M. Quadro de Tarifas energia Mato Grosso do Sul. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://ajuda.energisa.com.br/wp-content/uploads/2024/05/Quadro-de-Tarifas-EMS.pdf>>. Acesso em: 21 maio. 2025.

IBGE. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?t=series-historicas&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=inflacao#plano-real-mes>. Acesso em: 24 jun. 2025.

KELTON, D.W.; SADOWSKI, R. P.; ZUPICK, N. B. **Simulation with Arena** 6. ed. New York. McGraw-Hill Education. 2015

EPE. Relatório Síntese 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 17 jun. 2025.

KALALI, Naderi et al. A Critical Review of the Current Progress of Plastic Waste Recycling Technology in Structural Materials. *Curr. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. v.40, 2023.

SINDUSCONMS. **Custos unitários básicos de construção**. 2025. Disponível em: <https://api.sindusconms.com.br/uploads/c812959da8da4a779c5feff9df2e7915.pdf>. Acesso em: 22 maio. 2025.

CARDOSO, L. D.; RANGEL, J. J. A; SHIMODA, E. Simulação Computacional para análise do transporte de tijolos produzidos no norte do estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 216–229, 2012.

ADMINISTRADOR. Legislação e Tarifas. Disponível em: <<https://www.aguasguariroba.com.br/legislacao-e-tarifas/>>. Acesso em: 21 maio. 2025

BORDONALLI, Angela; MENDES, Carlos. Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. **Eng Sanit Ambient**. v.14 n.2, p. 235-244, 2009.

MARTINS, Julia et al. **Bioacumulação por microplásticos e seu impacto na saúde pública**. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Ciências Biológicas. Universidade Anhembí Morumbi. 2022.

VICECONTI, Paulo; NEVES, Silvério das. **Contabilidade avançada e análises das projeções financeiras**. 18. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Uni, 2018.

RIBEIRO-BRASIL, Danielle et al. Contamination of stream fish by plastic waste in the Brazilian Amazon. **Environmental Pollution**. V. 266, Part. 1, 2020.