

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ARY CHAGAS PORTUGAL

**GESTÃO DE ESTOQUE DE PRODUTOS QUÍMICOS EM UMA INDÚSTRIA DE
PROTEÍNA DE SOJA**

CAMPO GRANDE
2025

ARY CHAGAS PORTUGAL

**GESTÃO DE ESTOQUE DE PRODUTOS QUÍMICOS EM UMA INDÚSTRIA DE
PROTEÍNA DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Carolina Lino
Martins Pompêo de Camargo

CAMPO GRANDE
2025

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um modelo de Planejamento e Controle da Produção (PCP) voltado para a gestão dos insumos químicos críticos utilizados no processamento de proteínas de soja. A pesquisa teve como motivação principal a recorrência de atrasos no descarregamento de caminhões entre 2023 e 2024, ocasionados pela ausência de parâmetros definidos para estoque de segurança e ponto de ressuprimento, o que resultava em custos significativos com diárias de caminhões. Com base em dados históricos de consumo, variabilidade, lead time e capacidade dos tanques, foram calculados os níveis adequados de estoque de segurança (ES) e ponto de ressuprimento (PR) para Ácido Clorídrico, Soda Membrana e Etanol. Em seguida, simulações foram realizadas considerando cenários de consumo médio, consumo máximo e atraso no lead time. Os resultados mostraram que, em todas as simulações, os estoques se mantiveram acima dos níveis críticos e que o PR acionou o reabastecimento no momento correto, garantindo autonomia operacional e eliminando risco de ruptura. A implementação do modelo no ano de 2025 resultou na eliminação completa dos custos com diárias de caminhão, representando economia anual aproximada de R\$ 208.000,00. O trabalho demonstra que ferramentas básicas de PCP, quando aplicadas com análise técnica e disciplina operacional, podem resolver problemas relevantes, reduzir custos e aumentar a confiabilidade do processo produtivo. Conclui-se que o modelo desenvolvido é robusto, sustentável e replicável para outras áreas da planta.

Palavras-chave: Planejamento e Controle da Produção; Estoque de Segurança; Ponto de Ressuprimento; Insumos Químicos; Proteína de Soja.

ABSTRACT

This study presents the development and application of a Production Planning and Control (PPC) model aimed at managing the critical chemical inputs used in soy protein processing. The research was motivated by the recurring delays in truck unloading observed between 2023 and 2024, caused by the absence of defined parameters for safety stock and reorder point, which resulted in significant annual costs due to truck detention fees. Based on historical data of consumption, variability, lead time, and tank capacity, appropriate safety stock (SS) and reorder point (RP) levels were calculated for Hydrochloric Acid, Membrane-Grade Caustic Soda, and Ethanol. Simulations were then carried out considering scenarios of average consumption, maximum consumption, and delayed deliveries. The results showed that in all simulated scenarios, stock levels remained above critical limits, and the RP triggered replenishment at the appropriate time, ensuring operational autonomy and eliminating the risk of stockouts. The implementation of the model in 2025 resulted in the complete elimination of truck detention costs, generating an annual savings of approximately R\$ 208,000. The study demonstrates that basic PPC tools, when supported by accurate data and disciplined operational application, can effectively solve critical industrial problems, reduce costs, and enhance process reliability. The proposed model is robust, sustainable, and replicable across other areas of the plant.

Keywords: Production Planning and Control; Safety Stock; Reorder Point; Chemical Inputs; Soy Protein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas do desenvolvimento do trabalho	20
Figura 2 – Simulação Cenário 1 – Soda Membrana	31
Figura 3 – Simulação Cenário 1 – HCl	32
Figura 4 – Simulação Cenário 1 – Etanol	32
Figura 5 – Simulação Cenário 2 – Soda Membrana	33
Figura 6 – Simulação Cenário 2 – HCl	33
Figura 7 – Simulação Cenário 2 – Etanol	34
Figura 8 – Simulação Cenário 3 – Soda Membrana	35
Figura 9 – Simulação Cenário 3 – HCl	35
Figura 10 – Simulação Cenário 3 – Etanol	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos insumos químicos analisados	20
Tabela 2 – Relação entre proteínas geradas e químicos utilizados	20
Tabela 3 – Produção média diária das plantas	22
Tabela 4 – Consumo específico (L/t)	22
Tabela 5 – Consumos médios (2023–2025)	22
Tabela 6 – KPI's de consumo, lead time e variabilidade	23
Tabela 7 – Registros de consumos máximos e mínimos	23
Tabela 8 – Estoque de segurança calculados	27
Tabela 9 – Pontos de ressuprimento calculados	28
Tabela 10 – Atrasos Simulados versus autonomia disponível	34
Tabela 11 – Cargas com diária por químico	37
Tabela 12 – Custo anual antes da implementação (2023–2024)	38

Sumário

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Justificativa	8
1.2. Objetivos	10
1.3. Estrutura deste relatório	10
2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	Error! Bookmark not defined.
2.1. Planejamento e Controle da Produção (PCP)	Error! Bookmark not defined.
2.2. Gestão de Insumos e Materiais	Error! Bookmark not defined.
2.3. Classificação e Controle de Estoques (Curva ABC, Giro, Cobertura) ..	Error! Bookmark not defined.
2.4. MRP e Sistemas de Apoio ao Planejamento (ERP, Dashboards e Planilhas)	Error! Bookmark not defined.
2.5. Estoque de Segurança e Ponto de Ressuprimento	Error! Bookmark not defined.
2.6. Indicadores de Desempenho na Gestão de Insumos e PCP	Error! Bookmark not defined.
2.7. Processo Produtivo de Proteína de Soja (Human Nutrition)	Error! Bookmark not defined.
3. METODOLOGIA	12
3.1. Definição do problema	12
3.2. Coleta e organização dos dados	13
3.2.1. Caracterização dos insumos químicos	13
3.2.2. Produção média das plantas e consumo específico (L/t)	15
3.2.3. Dados históricos de consumo, variabilidade e lead time	16
3.3. Construção do modelo de dimensionamento de estoques	17
3.3.1. Consumo médio e variabilidade	17
3.3.2. Estoque de segurança	17
3.3.3. Ponto de ressuprimento	18
3.3.4. Capacidade de tanque e folga de segurança	18
3.3.5. Simulação de cenários operacionais	19
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	20
4.1. Estoque de segurança (ES)	20
4.1.1. Nível de serviço e sua aplicação	20
4.1.2. Cálculo do estoque de segurança	20
4.2. Ponto de ressuprimento (PR)	21
4.2.1. Cálculo do Ponto de ressuprimento	21
4.3. Simulação de cenários operacionais	22
4.3.1. Consumo médio diário (Cenário 1)	22
4.3.2. Consumo máximo diário (Cenário 2)	24
4.3.3. Atrasos de Lead Time (Cenário 3)	26
4.4. Impacto Financeiro da implementação do PCP	28
5. CONCLUSÃO	31
Referências	32

1. INTRODUÇÃO

A soja consolidou-se como uma das principais culturas agrícolas do mundo, ocupando posição estratégica no abastecimento de proteínas para diferentes cadeias produtivas. A proteína de soja, em particular, destaca-se como um ingrediente versátil, presente na formulação de produtos alimentícios, suplementos nutricionais, rações animais, cosméticos e insumos industriais. Sua ampla utilização decorre de características como elevado valor nutricional, propriedades funcionais adequadas para processamento e competitividade em relação a outras fontes proteicas (FAO, 2023).

O Brasil, enquanto um dos maiores produtores mundiais de soja, exerce papel determinante na oferta global de proteína vegetal. De acordo com a ABIOVE (2024), o complexo soja movimenta bilhões de reais anualmente e abastece indústrias de diversos segmentos, refletindo sua importância econômica e sua capilaridade produtiva. A cadeia industrial da proteína de soja, composta por plantas de esmagamento, refinadores, concentradores e fabricantes de ingredientes, tem expandido sua relevância frente ao crescimento do mercado plant-based e à busca por alternativas sustentáveis às proteínas de origem animal.

Esse cenário de crescimento contínuo e diversificação de aplicações impõe desafios operacionais significativos às indústrias do setor. A gestão eficiente dos insumos, especialmente daqueles considerados críticos para o processo produtivo, torna-se indispensável para garantir a continuidade da produção, minimizar perdas e otimizar custos. Entre os insumos essenciais encontram-se diferentes tipos de proteína de soja, cujos níveis de pureza, funcionalidade e granulometria influenciam diretamente a qualidade do produto final e a estabilidade do processo.

Além dos insumos proteicos propriamente ditos, a cadeia industrial da soja depende de substâncias químicas fundamentais para as transformações físico-químicas envolvidas no processo, tais como ácido clorídrico, soda cáustica e etanol. Esses insumos frequentemente classificados como críticos sustentam etapas sensíveis como solubilização, precipitação, extração e purificação das proteínas. Assim, sua indisponibilidade gera impactos imediatos: paralisação da produção, desperdício de matérias-primas, risco operacional e elevação dos custos industriais. Em operações contínuas, mesmo pequenas variações no abastecimento podem comprometer toda a cadeia produtiva.

A variabilidade da demanda, a sazonalidade da matéria-prima, os custos logísticos e a necessidade de atender a especificações rígidas reforçam a importância de sistemas robustos de Planejamento e Controle da Produção (PCP). O PCP desempenha papel fundamental na coordenação dos recursos, no estabelecimento de planos de abastecimento, no cálculo de necessidades de materiais e no alinhamento entre fluxo produtivo, estoques e capacidade operacional. Conforme Tubino (2017), um PCP eficiente reduz incertezas, melhora o sincronismo entre atividades e contribui para maior estabilidade operacional, sendo especialmente relevante em processos contínuos com forte dependência de insumos críticos.

Nesse contexto, a gestão de insumos químicos não pode basear-se em práticas reativas ou empíricas. A ausência de parâmetros estruturados como níveis de estoque de segurança, pontos de ressuprimento, controle estatístico de consumo e análise de capacidade de armazenagem tende a gerar gargalos recorrentes, atrasos no recebimento, custos extras e risco de interrupção da linha de produção. A aplicação de técnicas de PCP torna-se, portanto, não apenas desejável, mas imprescindível para garantir previsibilidade, segurança operacional e uso eficiente dos recursos.

Aplicar métodos de PCP às rotinas de gestão de insumos de indústrias de proteína de soja permite estabelecer níveis precisos de estoque, reduzir desperdícios, mitigar riscos logísticos e propor estratégias que equilibrem custo e disponibilidade. Além disso, possibilita o desenvolvimento de modelos quantitativos capazes de antecipar cenários, apoiar decisões e fortalecer a resiliência da operação frente às mudanças de demanda e às incertezas da cadeia de suprimentos.

Foi nesse cenário que surgiu o problema central deste estudo: apesar de os fornecedores cumprirem os prazos de entrega, a planta enfrentava atrasos recorrentes no descarregamento das cargas devido à ausência de parâmetros estruturados que definissem o momento ideal para reposição dos insumos. A falta de critérios formais para estoque de segurança e ponto de ressuprimento fazia com que os tanques não tivessem volume disponível para receber os caminhões no momento da chegada, gerando custos com diárias, risco de paralisação do processo produtivo e perda de eficiência operacional. Assim, a necessidade de estabelecer um modelo confiável de dimensionamento de estoques justificou a condução deste trabalho.

1.1. JUSTIFICATIVA

A gestão de insumos é uma atividade central para indústrias de proteína de soja, especialmente devido ao elevado impacto operacional e financeiro decorrente de falhas nesse processo. A ausência de controles eficazes pode resultar em:

- 1) Interrupções na produção;
- 2) Elevação dos custos de estoque;
- 3) Desperdício de matérias-primas;
- 4) Perda de competitividade;
- 5) Incapacidade de atender à demanda nos prazos estabelecidos.

A aplicação de ferramentas de Planejamento e Controle da Produção permitirá à indústria compreender com maior profundidade a dinâmica de consumo dos insumos, identificar gargalos, otimizar estoques e melhorar a previsibilidade de compras. Além disso, possibilitará a elaboração de planos que contribuam para decisões de curto, médio e longo prazo, reduzindo ineficiências e aumentando o desempenho operacional. Assim, o presente estudo se justifica por sua relevância prática e por seu potencial de impacto na competitividade e sustentabilidade do processo produtivo.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho possui como objetivo geral a busca pela eficiência operacional, reduzir custos e aumentar a confiabilidade produtiva.

Para tanto, pretende-se, especificamente:

- 1) Mapear o processo produtivo e o fluxo de insumos na indústria analisada;
- 2) Identificar os insumos críticos e seus padrões de consumo;
- 3) Levantar restrições operacionais e variáveis relevantes para a gestão de insumos;
- 4) Propor melhorias ao processo de gestão de insumos com base nas análises realizadas.

1.3. ESTRUTURA DESTE RELATÓRIO

Este relatório está organizado da seguinte forma:

- 1) Introdução: contextualização do setor de proteína de soja, apresentação do problema e definição dos objetivos.
- 2) Referencial teórico: conceitos relacionados à soja, insumos industriais, gestão de materiais e práticas de PCP.

- 3) Metodologia: descrição dos procedimentos adotados, métodos utilizados e dados coletados.
- 4) Resultados: apresentação das análises realizadas e das propostas de melhoria baseadas na aplicação das ferramentas de PCP.
- 5) Conclusão: síntese dos resultados, limitações identificadas e sugestões para futuras pesquisas.

2. METODOLOGIA

A metodologia contempla: definição do problema, coleta e organização dos dados, construção do modelo de dimensionamento de estoques, validação da proposta e implementação dos resultados na rotina da planta industrial.

O estudo foi realizado em uma empresa de grande porte que atua no agronegócio e na indústria de nutrição, com atividades que incluem o processamento de soja, produção de biodiesel, fabricação de rações para nutrição animal, produção de proteínas concentradas e isoladas de soja e comercialização de ingredientes utilizados pela indústria de alimentos e bebidas. A planta industrial em que se aplicou este trabalho possui processos contínuos e altamente integrados, que exigem regularidade no fornecimento de insumos críticos para evitar interrupções de produção.

A aplicação foi conduzida especificamente no setor responsável pelo recebimento e gestão dos insumos químicos utilizados no tratamento da proteína de soja, área que integra atividades de Almoxarifado Químico, Controle Operacional e Planejamento de Materiais. Esse setor conta com equipe enxuta, responsável pelo monitoramento dos tanques, acompanhamento do consumo diário, programação de recebimentos e interface direta com fornecedores e com a produção. Dentro desse contexto operacional, tornou-se evidente a necessidade de aprimorar o controle dos estoques de Ácido Clorídrico, Soda Membrana e Etanol, insumos fundamentais para as reações químicas que possibilitam as etapas de solubilização, precipitação e purificação das proteínas.

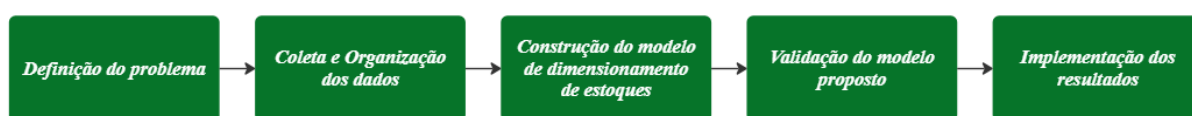


Figura 1 – Etapas do desenvolvimento do trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

2.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A etapa inicial consistiu em identificar e delimitar o problema operacional relacionado ao recebimento e armazenagem dos insumos químicos. Observou-se que, entre 2023 e 2024, aproximadamente 95% das entregas apresentaram atrasos na descarga, gerando custos recorrentes de diárias de caminhão, estimadas em R\$ 2.000,00 por dia.

A análise indicou que os atrasos não estavam relacionados ao desempenho logístico dos fornecedores, que cumpriam os prazos de entrega, mas sim à ausência de parâmetros

formalizados de estoque de segurança e ponto de ressuprimento. Em muitos casos, o volume disponível nos tanques não permitia o descarregamento da carga padrão de 30 m³, devido à necessidade de manter folga mínima de 10 m³ por razões de segurança, seja pela possibilidade de falha no medidor de nível ou pelo risco de transbordamento.

Assim, o problema central foi definido como:

Dimensionar adequadamente os estoques de segurança e os pontos de ressuprimento dos insumos químicos críticos, visando eliminar atrasos no descarregamento, reduzir custos com diárias e garantir alta confiabilidade no abastecimento da planta.

2.2. COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Esta etapa envolveu a obtenção, tratamento e estruturação dos dados necessários à construção do modelo de PCP. Foram utilizados registros internos de consumo, informações de Produção e Suprimentos, características dos tanques, lead times históricos, bem como dados operacionais de cada planta produtiva.

2.2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS INSUMOS QUÍMICOS

A Tabela 1 apresenta a caracterização dos três insumos analisados, considerando forma de recebimento, local de armazenagem, capacidade dos tanques e frequência média de abastecimento.

Tabela 1 – Caracterização dos insumos químicos analisados

Insumo	Forma de recebimento	Armazenagem	Capacidade do tanque (m ³)	Frequência de recebimento
Ácido Clorídrico	Caminhão granel (30 m ³)	Tanque	90	1 carga/semana

Etanol	Caminhão granel (30 m ³)	Tanque	100	1 carga a cada 2 meses
Soda Membrana	Caminhão granel (30 m ³)	Tanque	100	1 carga/semana

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A relação entre os tipos de proteína produzidos e os insumos utilizados encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação entre proteínas geradas e químicos utilizados

Proteína que são geradas	Químico utilizado
Proteínas Isoladas (Nutrição Humana)	Ácido Clorídrico e Soda Membrana
Proteínas Funcionais (Nutrição Humana)	Ácido Clorídrico e Soda Membrana
Proteínas Concentradas (Nutrição Humana)	Etanol
Proteínas destinadas à nutrição animal	Etanol

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Essa caracterização reforça a criticidade dos insumos, pois qualquer indisponibilidade resulta em paradas de diferentes linhas produtivas.

2.2.1.1. ÁCIDO CLORÍDRICO

O Ácido Clorídrico é utilizado no processo de obtenção de proteínas isoladas e concentradas de soja principalmente para ajuste de pH. Sua função é reduzir o pH da solução proteica até a faixa do ponto isoelétrico, permitindo a precipitação controlada das proteínas, que é uma etapa crítica para separação, purificação e rendimento do produto final.

Além dessa função, o HCl também é empregado em ajustes posteriores de pH para garantir estabilidade, qualidade sensorial e conformidade com os padrões operacionais. Por influenciar diretamente a eficiência da etapa de precipitação, trata-se de um insumo essencial para o processo industrial.

2.2.1.2. ETANOL

O Etanol é utilizado principalmente na produção de proteínas destinadas à nutrição animal e em processos de extração específicos. Ele atua como solvente para remoção de compostos indesejáveis, como lipídios residuais e fatores antinutricionais, melhorando o valor nutricional do produto.

Um aspecto importante da sua utilização é que o etanol opera em ciclo fechado: durante o processo, ele volatiliza, é capturado pelo sistema de vaporização e posteriormente condensado e recuperado, retornando ao estado líquido e sendo reutilizado. Essa característica reduz perdas e faz com que seu consumo apresente alta variabilidade, influenciando diretamente o dimensionamento do estoque de segurança.

2.2.1.3. SODA MEMBRANA

A Soda Membrana (NaOH) é utilizada como agente alcalinizante para elevar o pH nas etapas iniciais do processo de extração proteica. O aumento de pH permite a solubilização das proteínas, facilitando sua separação das fibras e demais componentes do grão.

É importante destacar que o termo “Soda Membrana” não se refere a um produto diferente, mas à forma de produção do hidróxido de sódio. Trata-se de uma soda cáustica produzida pelo método de eletrólise por membrana, que utiliza uma membrana semipermeável para separar os compartimentos da célula eletrolítica. Esse processo resulta em um produto de maior pureza, livre de contaminantes associados a métodos antigos (como células de mercúrio ou diafragma), sendo por isso amplamente utilizado em indústrias alimentícias e de ingredientes.

Posteriormente, a Soda também é necessária para ajustes finos de pH após a precipitação, garantindo estabilidade e preparo adequado da solução para as etapas finais. Por estar diretamente ligada ao controle de pH, assim como o HCl, seu consumo acompanha variações do mix produtivo e tem impacto direto nas necessidades de estoque.

2.2.2. PRODUÇÃO MÉDIA DAS PLANTAS E CONSUMO ESPECÍFICO (L/T)

Para avaliar o comportamento dos insumos e normalizar o consumo por tonelada produzida, foi levantada a produção média das plantas onde cada insumo é utilizado.

Tabela 3 – Produção média diária das plantas

Planta / Processo	Insumo(s) Utilizados	Produção Média (t/dia)
Proteínas isoladas e funcionais	Ácido Clorídrico e Soda	76 t/dia
Processos etanólicos / nutrição animal	Etanol	50 t/dia

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Com base nas médias diárias de consumo, calculou-se o consumo específico por tonelada produzida.

Tabela 4 – Consumo específico (L/t)

Insumo	Consumo Médio Diário (L/dia)	Produção (t/dia)	Consumo Específico (L/t)
Etanol	844,80	50	16,90
Ácido Clorídrico	3.920,55	76	51,58
Soda Membrana	3.749,54	76	49,34

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Esses valores permitem compreender a influência direta da intensidade produtiva no comportamento dos insumos, auxiliando na definição dos parâmetros de estoque.

2.2.3. DADOS HISTÓRICOS DE CONSUMO, VARIABILIDADE E LEAD TIME

Foram levantados os consumos anuais de Etanol, Ácido Clorídrico e Soda Membrana para o período de 2023 a 2025, a partir de registros internos. A Tabela 5 apresenta as médias de consumo em litros por ano, bem como a média geral do período para cada insumo.

Tabela 5 – Consumos médios (2023–2025)

Ano	Etanol (L/dia)	Ácido Clorídrico (L/dia)	Soda Membrana (L/dia)
2023	836,12	3.950,54	3.800,00
2024	903,26	3.397,70	3.305,86
2025	795,02	4.413,42	4.142,77
Média	844,8	3.920,55	3.749,54

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Os KPI's consolidados encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – KPI's de consumo, lead time e variabilidade

KPI's	Etanol	Ácido Clorídrico	Soda Membrana
Taxa de consumo (média de consumo por dia) – L/dia	844,801	3.920,55	3.749,54
Lead time de entrega (dias)	14	7	7
Desvio padrão de consumo (L)	1.239,15	1.675,69	1.654,63

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para análise de cenários, foram registrados os limites históricos de consumo máximo e mínimo (Tabela 7).

Tabela 7 – Registros de consumos máximos e mínimos

KPI	Etanol	Ácido Clorídrico	Soda Membrana
Maior consumo diário (L)	2.083,95	5.596,24	5.404,17
Menor consumo diário (L)	0	2.244,87	2.094,91

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

2.3. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES

Com os dados organizados, foi desenvolvido um modelo para definição dos parâmetros de Planejamento e Controle da Produção aplicados aos insumos químicos críticos, com foco em estoque de segurança, ponto de ressuprimento e verificação da capacidade de recebimento dos tanques.

2.3.1. CONSUMO MÉDIO E VARIABILIDADE

O primeiro passo consistiu em consolidar os consumos históricos apresentados na Tabela 5 (Consumo médio diário), bem como os indicadores de variabilidade e lead time listados na Tabela 6 (KPI's de consumo, variabilidade e lead time). Esses dados permitiram determinar o consumo médio, o desvio padrão e o comportamento da demanda ao longo do período analisado.

Também foi considerada a produção média das plantas e os consumos específicos por tonelada produzida, conforme Tabela 4 (Consumo específico – L/t). A normalização dos valores de consumo permitiu avaliar a demanda de modo proporcional à capacidade produtiva de cada linha.

2.3.2. ESTOQUE DE SEGURANÇA

Devido à criticidade dos insumos, cuja falta implica parada imediata da planta, optou-se por adotar nível de serviço elevado. O estoque de segurança (ES) foi dimensionado com base na variabilidade do consumo e no lead time de entrega, utilizando a formulação clássica:

Equação 1 – Cálculo do estoque de segurança

$$ES = Z \times \sigma \times LT$$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Onde:

- ES – estoque de segurança;
- Z – coeficiente associado ao nível de serviço desejado (valor elevado, em função da criticidade);
- σ – desvio padrão do consumo (Tabela 6);
- LT – lead time de entrega em dias (Tabela 6).

Além dos dados normais de consumo, utilizaram-se os picos observados na Tabela 7 (Registros de consumos máximos e mínimos) para testar a robustez do ES em cenários estressados.

2.3.3. PONTO DE RESSUPRIMENTO

O ponto de ressuprimento (PR) foi calculado a partir do consumo médio durante o lead time somado ao estoque de segurança:

Equação 2 – Cálculo do Ponto de ressuprimento

$$PR = (\text{Consumo médio diário} \times LT) + ES$$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Onde:

- **Consumo médio** – valores provenientes da Tabela 5;
- LT – lead time de entrega em dias (Tabela 6);
- **ES** – estoque de segurança.

Esse parâmetro define o momento em que deve ser recebido o pedido, garantindo que a reposição chegue antes de o estoque atingir níveis críticos.

2.3.4. CAPACIDADE DE TANQUE E FOLGA DE SEGURANÇA

O modelo também considerou as restrições físicas dos tanques e a necessidade de manter folga mínima de 10 m³ por questões de segurança. Assim, para verificar se a carga padrão (30 m³) poderia ser descarregada sem risco de transbordamento, utilizou-se:

Equação 3 – Cálculo do volume máximo recebível

$$\text{Volume máximo recebível} = \text{Capacidade do tanque} - \text{Volume atual} - 10 \text{ m}^3$$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Essa expressão foi aplicada aos dados da Tabela 1, permitindo simular situações em que o caminhão chega à planta e avaliar se há volume suficiente para descarregamento imediato.

2.3.5. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS OPERACIONAIS

Após o cálculo dos parâmetros de estoque, a última etapa consistiu na realização de simulações operacionais utilizando os dados de consumo médio (Tabela 5), variabilidade e lead time (Tabela 6), limites máximos e mínimos de consumo (Tabela 7) e consumo específico por tonelada produzida (Tabela 4). As simulações foram conduzidas em planilhas eletrônicas e tiveram como objetivo verificar se o modelo permanecia robusto sob diferentes condições de demanda. Os cenários definidos, foram escolhidos com base no histórico de acontecimento dos dois anos anteriores, sendo assim, simulando situações reais em que o processo já se encontrou antes.

Foram analisados principalmente três grupos de cenários:

- Cenários de demanda: considerando consumo médio e os picos operacionais registrados nas bases históricas;
- Cenários logísticos: avaliando atrasos moderados no lead time e sua influência sobre o estoque disponível no momento da chegada das cargas;
- Cenários de mix produtivo: simulando combinações entre proteínas isoladas, concentradas e destinadas à nutrição animal, cujas demandas influenciam diretamente o uso dos diferentes químicos.

Em cada simulação, verificou-se se o estoque se mantinha acima do nível crítico, se o ponto de ressuprimento era ativado com antecedência suficiente e se havia capacidade física para descarregar integralmente a carga padrão de 30 m³, respeitando a folga mínima operacional. O modelo foi considerado validado quando demonstrou desempenho satisfatório em todos os cenários, garantindo continuidade produtiva, ausência de risco de transbordamento e eliminação das diárias de caminhão.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da estruturação dos dados apresentada na metodologia, os resultados desta etapa buscam demonstrar a efetividade do modelo proposto na definição dos parâmetros de estoque e na eliminação dos atrasos no recebimento dos insumos químicos. São apresentados inicialmente os cálculos de estoque de segurança e ponto de ressuprimento, seguido das simulações operacionais e da análise do impacto financeiro associado à implementação. A organização dos resultados permite compreender de forma gradual como cada componente do modelo contribui para a estabilidade e confiabilidade do abastecimento químico da planta.

3.1. ESTOQUE DE SEGURANÇA (ES)

A definição do estoque de segurança constitui o primeiro elemento para garantir a continuidade da produção, especialmente considerando a alta criticidade dos insumos avaliados. A partir da variabilidade de consumo observada nos anos anteriores e do lead time médio de entrega, foi calculado o ES para cada químico utilizando um nível de serviço elevado, refletindo a necessidade de evitar qualquer risco de ruptura. Os cálculos detalhados permitem visualizar a relação entre variabilidade, tempo de reposição e confiabilidade operacional.

3.1.1. NÍVEL DE SERVIÇO E SUA APLICAÇÃO

NO nível de serviço representa a probabilidade de que o estoque não atinja a ruptura durante o lead time. Para insumos críticos, cuja falta gera parada imediata da planta, adota-se um nível de serviço elevado. Neste estudo foi utilizado um nível de serviço de **95%**, correspondente a **$Z = 1,96$** , valor amplamente empregado em processos industriais de alta relevância operacional.

3.1.2. CÁLCULO DO ESTOQUE DE SEGURANÇA

a) Ácido Clorídrico

$$\begin{aligned}ES (HCl) &= 1,96 \times 1.675,69 \times 7 \\ES (HCl) &= 1,96 \times 4.432,54 \\ES (HCl) &= 10.324 L\end{aligned}$$

b) Soda Membrana

$$\begin{aligned}ES(Soda) &= 1,96 \times 1.654,63 \times 7 \\ES(Soda) &= 1,96 \times 4.378,81 \\ES(Soda) &= 10.197 L\end{aligned}$$

c) Etanol

$$\begin{aligned}ES(Etanol) &= 1,96 \times 1.239,15 \times 14 \\ES(Etanol) &= 1,96 \times 4.667,30 \\ES(Etanol) &= 10.802 L\end{aligned}$$

Tabela 8– Estoque de segurança calculados

Insumo	ES (L)
Ácido Clorídrico	10.324
Soda Membrana	10.197
Etanol	10.802

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Ao final desta etapa, os valores encontrados estabelecem a base mínima de segurança que assegura a operação da planta mesmo em condições adversas de consumo ou eventuais atrasos no recebimento dos materiais.

3.2. PONTO DE RESSUPRIMENTO (PR)

Com o estoque de segurança definido, o passo seguinte consiste em determinar o ponto de ressuprimento, que representa o volume mínimo em que a nova carga deve chegar para que haja tempo e capacidade física suficiente para descarregar o caminhão sem comprometer a operação. O cálculo do PR incorpora a demanda esperada durante o lead time e o ES calculado anteriormente, consolidando assim o nível operacional seguro para o recebimento das cargas.

3.2.1. CÁLCULO DO PONTO DE RESSUPRIMENTO

a) Ácido Clorídrico

$$\begin{aligned}PR(HCl) &= (3.920,55 \times 7) + 10.324 \\PR(HCl) &= 27.443,85 + 10.324 = 37.768 L\end{aligned}$$

b) Soda Membrana

$$\begin{aligned}PR(Soda) &= (3.749,54 \times 7) + 10.197 \\PR(Soda) &= 26.246,78 + 10.197 = 36.444 L\end{aligned}$$

c) Etanol

$$PR(Etanol) = (844,80 \times 14) + 10.802$$
$$PR(Etanol) = 11.827,20 + 10.802 = 22.630 L$$

Tabela 9 – Pontos de ressuprimento calculados

Insumo	PR (L)
Ácido Clorídrico	37.768
Soda Membrana	36.444
Etanol	22.630

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Essa etapa completa o dimensionamento dos parâmetros de estoque, estabelecendo o marco de entrada da carga no processo. A partir desse ponto, torna-se possível simular o comportamento dos tanques sob diferentes cenários de operação, avaliando a robustez do sistema diante de variações de consumo, atrasos logísticos e alterações no mix produtivo.

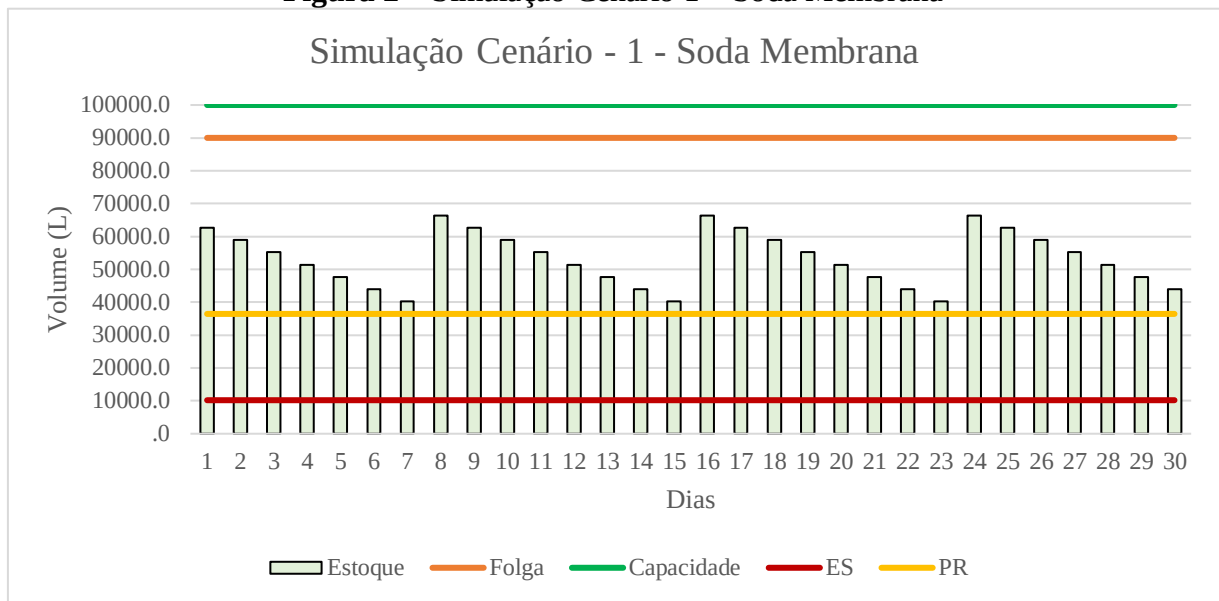
3.3. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS OPERACIONAIS

A partir dos parâmetros definidos para estoque de segurança (ES) e ponto de ressuprimento (PR), foi realizada uma série de simulações para avaliar o comportamento dos estoques dos insumos em condições reais de operação. Essas simulações permitem verificar se o modelo proposto sustenta a confiabilidade necessária para abastecimento da planta mesmo diante de oscilações de consumo, picos de demanda e atrasos potenciais no lead time.

3.3.1. CONSUMO MÉDIO DIÁRIO (CENÁRIO 1)

O primeiro cenário simula o comportamento dos estoques considerando o consumo médio diário de cada insumo, conforme os valores históricos utilizados nos cálculos de PR e ES. O objetivo é verificar se, em uma operação estável, os níveis definidos atendem à demanda sem aproximação dos limites críticos.

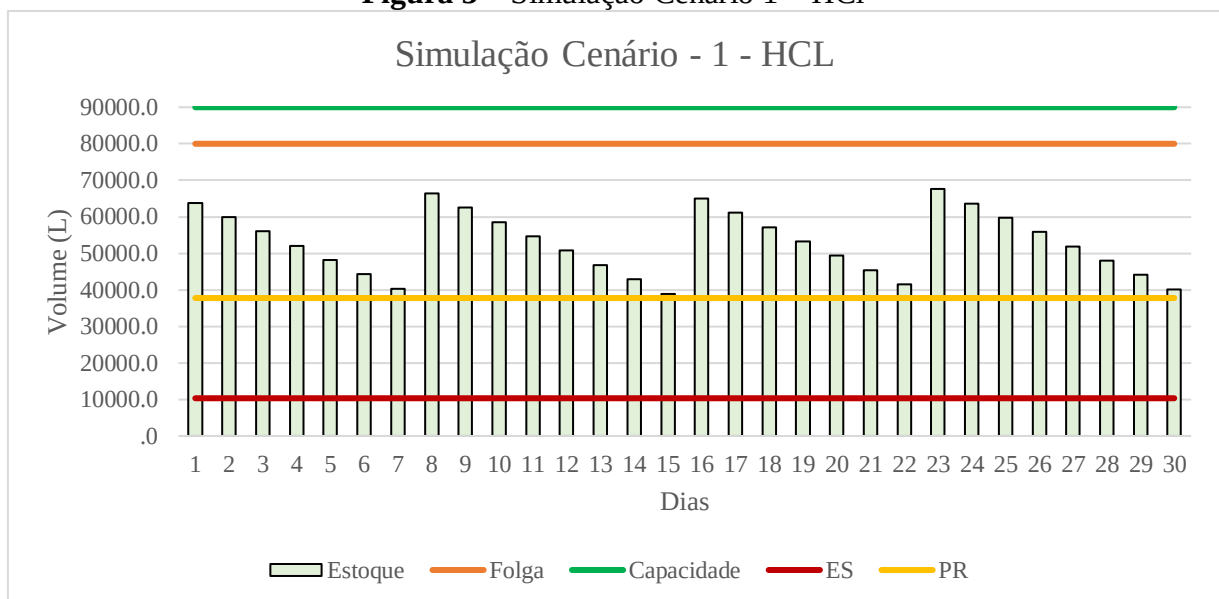
Figura 2 – Simulação Cenário 1 – Soda Membrana



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O comportamento da Soda Membrana apresenta oscilações compatíveis com o consumo médio diário. Observa-se que, mesmo durante dias de consumo mais acentuado, o estoque permanece confortavelmente acima do ES. Sempre que o nível toca o PR, o tanque recebe a carga de 30.000 L, reposicionando o estoque na zona superior do gráfico. A folga obrigatória de 10 m³ abaixo da capacidade é respeitada em todos os ciclos, e a curva mostra estabilidade com elevada segurança operacional.

Figura 3 – Simulação Cenário 1 – HCl

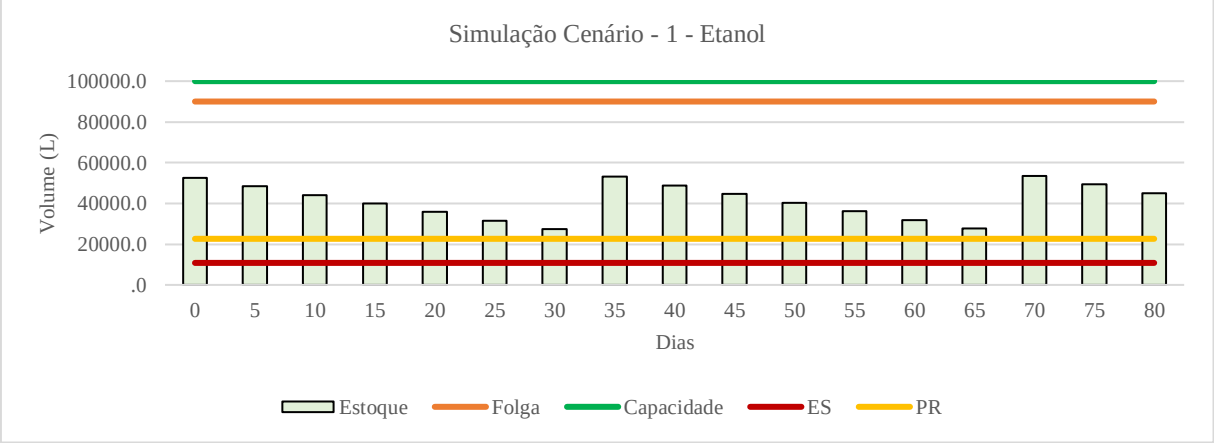


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para o HCl, o padrão é semelhante: o estoque oscila diariamente, mas se mantém distante do ES. O ressuprimento acontece exatamente no ponto definido pelo PR, e a carga de

30.000 L recoloca o volume em patamar seguro. A estabilidade é evidente, e o consumo médio não apresenta risco de aproximação do nível crítico, estando o sistema completamente sob controle.

Figura 4 – Simulação Cenário 1 – Etanol



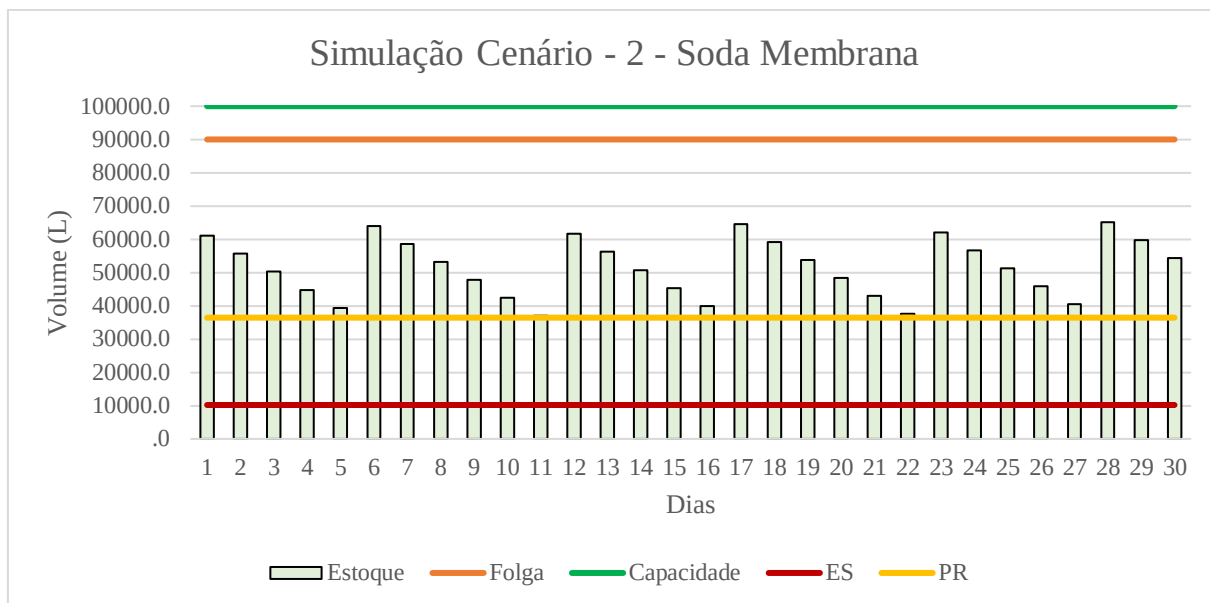
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

No caso do Etanol, o comportamento é ainda mais estável devido ao seu menor consumo médio. O estoque se reduz de forma suave ao longo dos dias, e o PR só é atingido após longos intervalos, o que corresponde à realidade: o recebimento ocorre a cada dois meses em média. Mesmo assim, o volume nunca se aproxima do ES, demonstrando grande autonomia e segurança operacional.

3.3.2. CONSUMO MÁXIMO DIÁRIO (CENÁRIO 2)

O segundo cenário representa a situação mais exigente do processo produtivo: o maior consumo diário registrado no histórico operacional. Esse cenário avalia como os tanques se comportam quando a planta opera em ritmo elevado, próximo aos limites máximos observados.

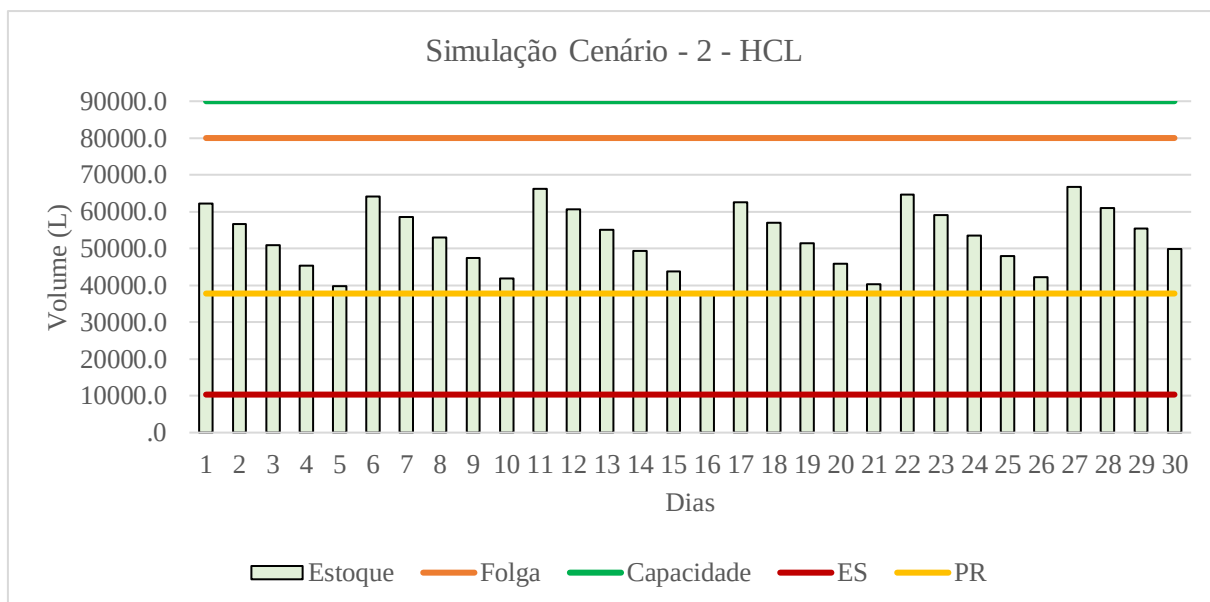
Figura 5 – Simulação Cenário 2 – Soda Membrana



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Sob consumo máximo, a curva de estoque apresenta quedas mais acentuadas entre os dias, reduzindo o intervalo entre ressuprimentos. Ainda assim, o nível do tanque permanece consistentemente acima do ES. A cada vez que o PR é atingido, a carga repõe o estoque de forma suficiente para garantir o distanciamento seguro do limite mínimo. Mesmo diante desse ritmo acelerado, o comportamento do estoque indica robustez operacional.

Figura 6 – Simulação Cenário 2 – HCl

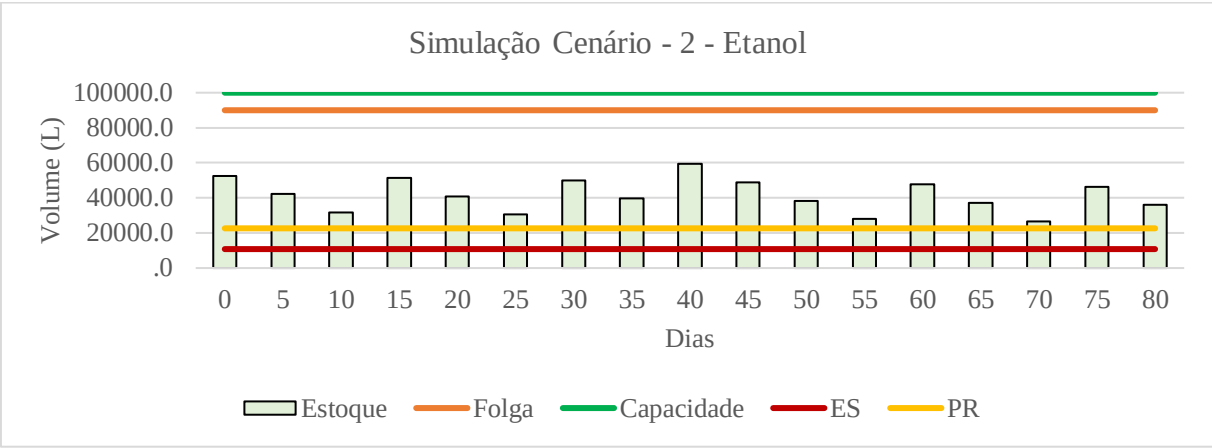


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Para o HCl, observa-se um padrão semelhante ao da Soda: quedas mais rápidas, mas ainda dentro da zona segura. O tanque nunca se aproxima do ES, e os ciclos de ressuprimento

ocorrem sem qualquer risco de ruptura. Mesmo com demandas intensificadas, o PR cumpre seu papel de acionar a reposição no momento adequado.

Figura 7 – Simulação Cenário 2 – Etanol



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O consumo máximo de etanol reduz significativamente a autonomia operacional. O gráfico mostra que o PR é atingido com maior frequência do que no cenário anterior, e a reposição torna-se mais recorrente. Ainda assim, o estoque não se aproxima do ES em nenhum momento. Mesmo operando em sua pior condição de consumo, o modelo se mantém estável e seguro.

3.3.3. ATRASOS DE LEAD TIME (CENÁRIO 3)

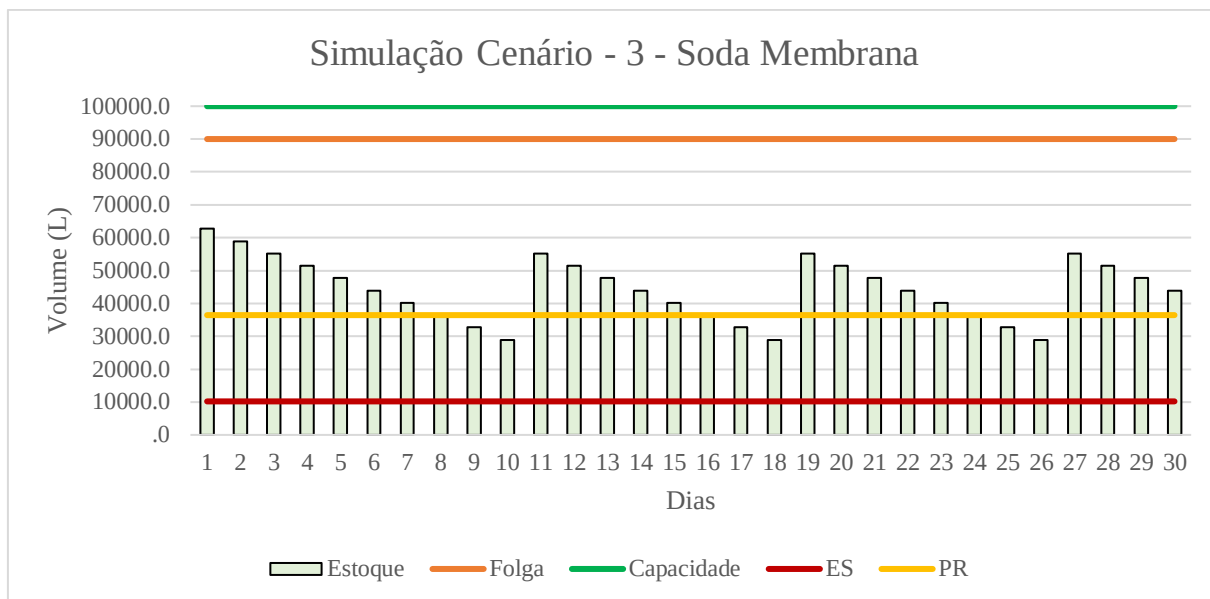
O terceiro cenário simula condições de atraso moderado no lead time, representando atrasos de fornecedores ou situações externas que possam comprometer o abastecimento. Nesse caso, foi considerado que a entrega ocorre alguns dias após o atingimento do PR, enquanto o consumo continua normalmente.

Tabela 10 – Atrasos Simulados versus autonomia disponível

Insumo	Autonomia PR → ES (dias)	Atraso simulado (dias)	Situação
Ácido Clorídrico	7	2	Seguro
Soda Membrana	7	2	Seguro
Etanol	14	4	Seguro

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

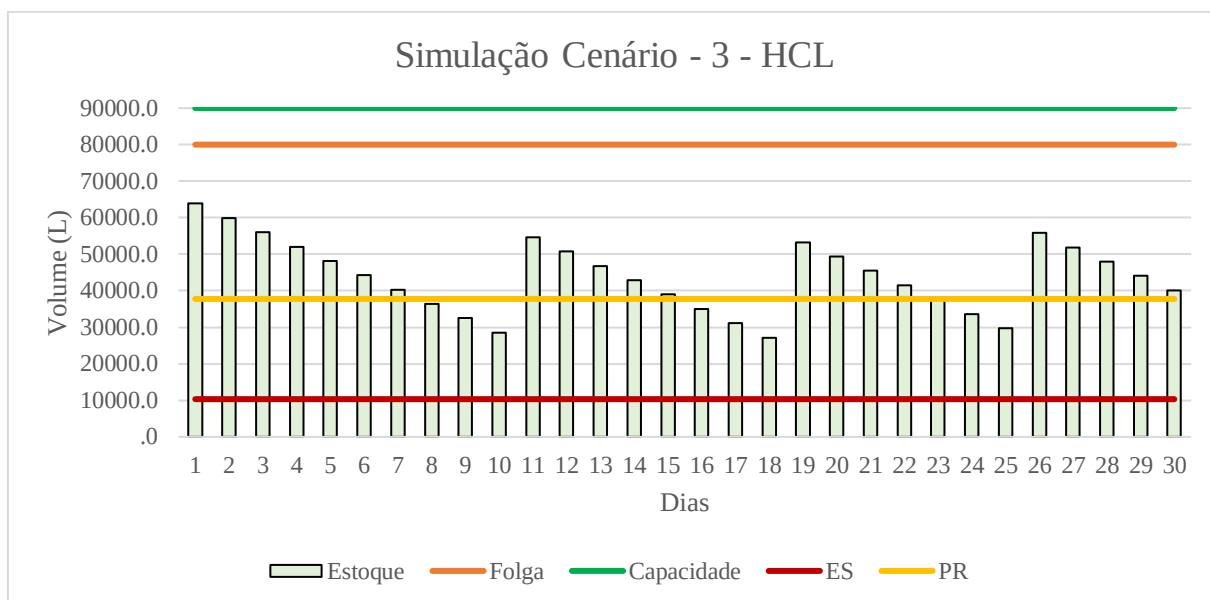
Figura 8 – Simulação Cenário 3 – Soda Membrana



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

A curva evidencia reduções acentuadas quando o consumo é mantido e o ressuprimento chega atrasado. Mesmo assim, o estoque não cruza a linha do ES, demonstrando que o nível de segurança foi corretamente dimensionado para suportar atrasos moderados. A descarga, quando realizada, devolve o estoque ao patamar operacional adequado.

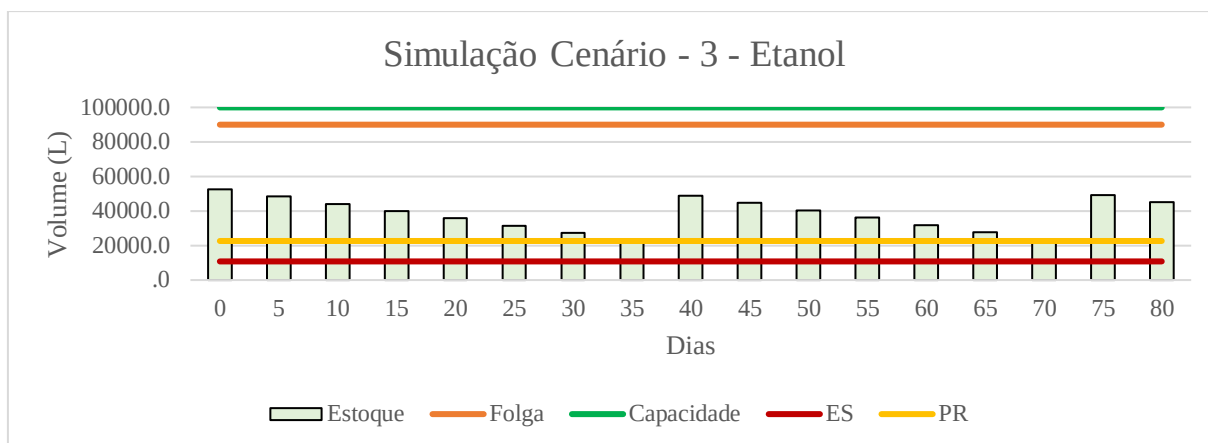
Figura 9 – Simulação Cenário 3 – HCl



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O HCl, mesmo sob atraso, mantém estabilidade. A proximidade ao PR é mais frequente, mas o estoque se mantém acima do ES, indicando que o sistema suporta oscilações no lead time. O retorno ao nível superior após o ressuprimento reforça que o dimensionamento foi adequado.

Figura 10 – Simulação Cenário 3 – Etanol



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O etanol apresenta maior sensibilidade ao atraso, devido ao seu PR mais alto e ao consumo contínuo. Ainda assim, a linha do ES não é alcançada em nenhum momento. A margem entre o PR e o ES, somada à autonomia natural do tanque, garante segurança mesmo em períodos prolongados sem recebimento.

A análise integrada dos três cenários demonstra que:

- Os níveis de PR e ES definidos são suficientes para suportar tanto o consumo médio quanto o consumo máximo observado no histórico;
- Todos os insumos permanecem operando em zonas de segurança adequadas, mesmo diante de atrasos moderados;
- A estratégia de ressuprimento de 30.000 L por carga mantém o sistema estável e previsível;
- Nenhum dos insumos, em nenhum cenário simulado, atinge o estoque de segurança, confirmando a robustez do modelo.

Em todos os casos, os gráficos evidenciam que o comportamento dos estoques após a implantação do modelo eliminou completamente o risco de ruptura e garantiu autonomia suficiente entre o PR e o ES para absorver variações de demanda e atrasos logísticos.

3.4. IMPACTO FINANCEIRO DA IMPLEMENTAÇÃO DO PCP

Além da redução de riscos operacionais e da estabilização dos estoques, a implantação dos parâmetros de estoque de segurança (ES) e ponto de ressuprimento (PR) gerou um impacto financeiro significativo, decorrente da eliminação quase completa das despesas com diárias de caminhões no recebimento dos insumos químicos.

Entre 2023 e 2024, aproximadamente 95% das entregas dos três químicos resultavam em atraso para descarregamento, mesmo quando o fornecedor cumpria o prazo acordado. Esses atrasos não eram causados por falhas logísticas externas, mas pela indisponibilidade de volume livre no tanque para receber a carga, devido à ausência de critérios formais de controle de estoque e de dimensionamento do PR. Como cada carga era enviada em caminhões de 30.000 L, o caminhão permanecia retido até que o consumo diário criasse espaço suficiente no tanque, ocasionando o pagamento de diária média de R\$ 2.000 por dia de espera.

Com a implementação dos parâmetros técnicos desenvolvidos neste trabalho, incluindo estoque de segurança, ponto de ressuprimento, análise da capacidade do tanque e folga obrigatória, o cenário mudou de forma decisiva. Em 2025, não houve o pagamento de nenhuma diária, o que comprova a eficácia do modelo.

Para quantificar esse impacto, foram estimadas as diárias históricas pagas antes da implantação. Embora os registros internos indiquem o percentual de atrasos (95%), a quantidade de entregas por insumo pode ser inferida a partir da sua frequência operacional.

Estimativa da quantidade anual de entregas (antes da implementação)

- **Ácido Clorídrico:** 1 carga por semana → ~52 cargas/ano
- **Soda Membrana:** 1 carga por semana → ~52 cargas/ano
- **Etanol:** 1 carga a cada 2 meses → ~6 cargas/ano

Com 95% de atrasos:

Tabela 11 – Cargas com diária por químico

Insumo	Entregas anuais	Cargas com diária	Dias médios pagos por entrega*
HCl	52	49	1 dia
Soda Membrana	52	49	1 dia
Etanol	6	6	1 dia

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Na ausência de variação registrada, assume-se conservadoramente 1 dia de diária por carga.

Após a implementação do modelo de dimensionamento de estoques em 2025, não houve o pagamento de nenhuma diária de caminhão. Isso representa uma mudança estrutural no processo de abastecimento: o problema que anteriormente gerava custos recorrentes simplesmente deixou de existir. Considerando que, entre 2023 e 2024, o desembolso anual com

diárias atingia aproximadamente R\$ 208.000,00 (Tabela 11), a adoção dos parâmetros de PR e ES resultou em uma economia integral desse valor já no primeiro ano de aplicação.

Essa economia não apenas reflete a eliminação de um custo operacional significativo, como também demonstra a robustez do modelo construído. O fato de a planta não ter registrado nenhuma ocorrência de atraso para descarregamento em 2025 confirma que o planejamento passou a antecipar adequadamente os momentos de ressuprimento, garantindo espaço disponível nos tanques e eliminando a necessidade de retenção de caminhões na portaria. A economia anual é, portanto, direta, mensurável e totalmente atribuída à melhoria na gestão de estoques dos insumos químicos críticos.

Tabela 12 – Custo anual antes da implementação (2023–2024)

Insumo	Diárias por ano (95% das entregas)	Valor unitário da diária (R\$)	Custo anual (R\$)
Ácido Clorídrico	49	2.000	98.000
Soda Membrana	49	2.000	98.000
Etanol	6	2.000	12.000
Total anual	—	—	208.000

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho permitiu estruturar, de forma técnica e padronizada, a gestão dos insumos químicos críticos utilizados no processamento de proteínas de soja. Por meio da aplicação de conceitos de Planejamento e Controle da Produção (PCP), foi possível transformar dados históricos em parâmetros operacionais consistentes, capazes de sustentar o abastecimento da planta com maior segurança e previsibilidade.

A organização dos dados de consumo, variabilidade, lead time e capacidade dos tanques possibilitou o cálculo rigoroso do estoque de segurança e do ponto de ressuprimento. Esses parâmetros foram testados em diferentes cenários operacionais, contemplando consumo médio, consumo máximo e atrasos no lead time. As simulações demonstraram que, em todas as situações, os estoques se mantiveram em níveis seguros, sem risco de ruptura, e que o ponto de ressuprimento acionou o reabastecimento no momento adequado. O comportamento estável dos gráficos reforça que o modelo desenvolvido é robusto e capaz de sustentar condições operacionais reais e desafiadoras.

Um dos resultados mais expressivos foi a eliminação completa das despesas com diárias de caminhões. Nos anos de 2023 e 2024, a planta enfrentava atrasos no descarregamento em cerca de 95% das entregas, resultando em gastos anuais da ordem de R\$ 208.000,00. Com a implementação do novo modelo de gestão, nenhum valor foi desembolsado com diárias em 2025, evidenciando uma economia direta e significativa decorrente da melhoria do processo.

Além disso, a criação de painéis e planilhas de acompanhamento consolidou uma rotina mais transparente e integrada entre PCP, Produção, Almoxarifado e Suprimentos. Essas ferramentas contribuíram para decisões mais rápidas e fundamentadas, reduzindo incertezas operacionais e garantindo maior confiabilidade ao planejamento.

O estudo evidencia que métodos quantitativos simples, quando aplicados de forma disciplinada e com base em dados reais, são capazes de resolver problemas concretos, reduzir custos e aumentar a eficiência industrial. O modelo proposto é sustentável e pode ser expandido para outros insumos ou áreas do processo, servindo como ponto de partida para iniciativas mais amplas de automação e integração dos sistemas de abastecimento.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

CHIAVENATO, I. **Administração**: teoria, processo e prática. 5ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração da Produção e Operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 3ª. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 3ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção**: teoria e prática. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009.