



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Engenharia Ágil de Projetos



ANDRESSA TEODORO DE CASTRO
MAYCON RODRIGUES GOZER
RANDOLF DIETER LUDEWIG

**ARMAZENAGEM DE FERTILIZANTES NO ESTADO DO MATO
GROSSO DO SUL – DESAFIOS E OPORTUNIDADES**

CAMPO MOURÃO-PR
2025

ANDRESSA TEODORO DE CASTRO
MAYCON RODRIGUES GOZER
RANDOLF DIETER LUDEWIG

**ARMAZENAGEM DE FERTILIZANTES NO ESTADO DO MATO
GROSSO DO SUL - DESAFIOS E OPORTUNIDADES**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Engenharia Ágil de Projetos, Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps e Prof. Dr. Alessandro Marques

CAMPO MOURÃO

2025

RESUMO

A agricultura brasileira depende fortemente do uso de fertilizantes para sustentar altos níveis de produtividade, especialmente em estados de expansão agrícola e atuação da Coamo Agroindustrial Cooperativa como o Mato Grosso do Sul. Apesar da relevância do insumo, limitações de infraestrutura e desafios logísticos comprometem a qualidade e a disponibilidade do produto ao cooperado. Este trabalho realizou uma análise sistêmica sobre os desafios e oportunidades na armazenagem de fertilizantes no Estado do Mato Grosso do Sul, propondo soluções alinhadas às normas regulatórias e às boas práticas de logística sustentável. A metodologia consistiu na revisão de literatura especializada, análise das instruções normativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e levantamento de ações estruturais, tecnológicas e operacionais implementadas pela cooperativa. Os resultados projetados indicam que a ampliação e padronização da infraestrutura, a adoção de sistemas de controle ambiental e rastreabilidade, a descentralização dos estoques e a capacitação de equipes podem resultar em aumento da capacidade de armazenagem, redução de perdas por umidade, diminuição das distâncias percorridas e melhoria da conformidade operacional, com maior satisfação do quadro social. Conclui-se que a integração dessas medidas fortalece a competitividade, reduz impactos ambientais e assegura maior qualidade no fornecimento de insumos ao cooperado.

Palavras-chave: fertilizantes, armazenagem, logística, sustentabilidade, cooperativismo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Armazém com baias separadas.....	12
Figura 2 - Máquina de embegamento de bags.....	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos e descrições para armazenamento de fertilizantes	9
Tabela 2 - Efeitos adversos na armazenagem de fertilizantes.....	10

INDICE

1. INTRODUÇÃO E OPORTUNIDADE DE MELHORIA	5
2. FUNDAMENTAÇÃO PARA A SOLUÇÃO	7
2.1. Principais Normas Regulatórias Aplicáveis	7
2.1.1. Riscos associados à armazenagem inadequada	7
2.1.2. Fundamentos logísticos e Sustentabilidade operacional.....	8
2.1.3. Boas práticas na armazenagem de fertilizantes.....	8
3. PROPOSTA DE SOLUÇÃO	11
3.1. Expansão e Padronização da Infraestrutura de Armazenagem	11
3.2. Implementação de tecnologias de controle ambiental e rastreabilidade	13
3.3. Otimização logística com descentralização dos estoques	13
3.4. Capacitação técnica das equipes e padronização de procedimentos	14
3.5. Integração com sistemas cooperativos e indicadores de desempenho	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Expansão e padronização da infraestrutura	16
4.1.1. Implementação de tecnologias de controle e rastreabilidade.....	17
4.1.2. Otimização logística e descentralização	17
4.1.3. Capacitação técnica e padronização de procedimentos	17
4.2. Discussão	17
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	19
5.1. Sugestões de trabalhos futuros.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

1. INTRODUÇÃO E OPORTUNIDADE DE MELHORIA

A agricultura brasileira desempenha um papel estratégico na economia nacional e no abastecimento de alimentos em escala global. Dentro desse contexto, o uso de fertilizantes é um dos principais fatores de incremento da produtividade agrícola. De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), mais de 80% dos fertilizantes consumidos no Brasil são importados, o que torna a logística e a armazenagem elementos críticos para a garantia da oferta e da qualidade dos insumos aplicados nas lavouras.

A eficiência na armazenagem de fertilizantes torna-se, assim, um fator determinante para a sustentabilidade das cadeias produtivas do agronegócio, especialmente em estados em expansão agrícola da COAMO como o Mato Grosso do Sul. A região tem se destacado pelo crescimento da produção de grãos, exigindo maior estrutura logística para atender à demanda por insumos com agilidade, qualidade e menor impacto ambiental.

Nesse cenário, a Coamo Agroindustrial Cooperativa vem buscando aprimorar seus processos de armazenagem e distribuição de fertilizantes no Estado do Mato Grosso do Sul, de forma a atender com maior eficiência os seus cooperados. A ampliação da capacidade de estocagem, a adequação às normas regulatórias e a modernização dos Centros de Distribuição (CDRs) são iniciativas alinhadas com os princípios de melhoria contínua da cooperativa, bem como com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os relacionados ao consumo e produção responsáveis (ODS 12) e à ação contra a mudança global do clima (ODS 13).

A principal oportunidade de melhoria identificada refere-se à otimização da armazenagem de fertilizantes nas unidades da Coamo no Mato Grosso do Sul, onde se observam limitações físicas, riscos de contaminação por umidade e perdas de eficiência logística devido à concentração de estoques em poucas unidades de distribuição. Tais fatores resultam em gargalos na movimentação dos produtos, aumento no tempo de resposta ao cooperado e possíveis elevações dos custos operacionais.

Além disso, a distância entre os portos de entrada dos fertilizantes — como o de Paranaguá/PR — e os pontos de aplicação nas propriedades rurais sul-mato-grossenses exige uma malha logística robusta e bem coordenada. Quando essa malha é fragmentada ou subdimensionada, ocorrem prejuízos na qualidade do produto e impactos negativos no meio ambiente, incluindo também maior emissão de gases de efeito estufa provenientes do transporte rodoviário de longa distância.

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar os desafios e as oportunidades relacionados à armazenagem de fertilizantes no Estado do Mato Grosso do Sul, no âmbito da Coamo Agroindustrial Cooperativa, e propor caminhos de melhoria que considerem aspectos regulatórios, operacionais, logísticos e sustentáveis. A abordagem busca não apenas garantir a conformidade com a legislação vigente, mas também elevar os padrões de eficiência, segurança e qualidade na entrega desses insumos, fortalecendo a relação com o cooperado e consolidando a reputação da COAMO como agente de inovação, solidez e segurança para todo quadro social.

2. FUNDAMENTAÇÃO PARA A SOLUÇÃO

A armazenagem de fertilizantes constitui uma etapa estratégica da cadeia logística agroindustrial, pois influencia diretamente a integridade do produto, a eficiência da distribuição e a sustentabilidade das operações. Como vimos anteriormente, temos forte dependência por fertilizantes importados (cerca de 80%), e as boas práticas de estocagem tornam-se ainda mais críticas. A literatura especializada e a regulamentação técnica convergem na importância de estruturas adequadas e processos padronizados para garantir a qualidade dos insumos desde a chegada aos centros de distribuição até a entrega final aos cooperados.

2.1. Principais Normas Regulatórias Aplicáveis

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece as diretrizes legais para o armazenamento de fertilizantes por meio de instruções normativas específicas. A Instrução Normativa nº 53, de 2013, determina que os fertilizantes devem ser armazenados em locais cobertos, ventilados e protegidos da ação direta da chuva, sol e umidade. Já a Instrução Normativa nº 03, de 2020, atualiza critérios relacionados ao controle da qualidade desses produtos, incluindo rastreabilidade, segregação por lote, padronização de procedimentos e controle de contaminantes.

Essas regulamentações são fundamentais para a conformidade legal e para assegurar que os produtos entregues ao cooperado mantenham suas propriedades físicas e químicas intactas. A não observância dessas normas pode resultar não apenas em perdas de produtividade nas lavouras, mas também em sanções administrativas (MAPA, IAGRO, IMASUL), comprometimento da imagem institucional da cooperativa e danos a integridade reputacional do quadro de cooperados.

2.1.1. Riscos associados à armazenagem inadequada

A literatura técnica aponta diversos riscos quando fertilizantes são mal armazenados: desde empedramento, segregação de nutrientes e perdas por umidade, até contaminação cruzada e reações químicas indesejadas (PEREIRA; SILVA, 2021).

Além disso, a armazenagem deficiente aumenta o tempo de movimentação, eleva custos logísticos e compromete a pontualidade na entrega, aspectos sensíveis em janelas curtas de aplicação na agricultura.

Segundo Rodrigues e Oliveira (2020), a perda da qualidade do fertilizante no momento da aplicação pode comprometer todo o planejamento agrônômico da propriedade, com impactos diretos na produtividade e na rentabilidade do agricultor. Portanto, garantir a integridade dos fertilizantes não é apenas uma questão de *compliance*, mas uma etapa crítica para o sucesso da atividade agrícola, pois grande parte do sucesso da produção depende da correta performance desse insumo.

2.1.2. Fundamentos logísticos e Sustentabilidade operacional

A gestão eficiente da cadeia de suprimentos de fertilizantes requer uma estrutura logística descentralizada e sincronizada com a demanda. Bowersox, Closs e Cooper (2007) destacam que cadeias de suprimento ágeis são aquelas que conseguem antecipar demandas, reduzir estoques inativos e minimizar tempos de transporte. Na perspectiva da sustentabilidade, Ballou (2006) reforça que as práticas logísticas devem considerar a otimização de rotas, redução do consumo de combustível e aproveitamento racional de recursos.

Nesse contexto, a descentralização de centros de distribuição, especialmente em regiões agrícolas de alta demanda como o Mato Grosso do Sul, é uma prática recomendada para reduzir a pegada de carbono, melhorar a previsibilidade de abastecimento e elevar o nível de serviço ao cliente final — neste caso, o cooperado. A reorganização da rede logística da Coamo se insere dentro desse arcabouço teórico, promovendo uma resposta mais eficiente às demandas do campo.

2.1.3. Boas práticas na armazenagem de fertilizantes

Diversas empresas do setor e entidades de pesquisa recomendam boas práticas que incluem: uso de pallets e big bags para facilitar o empilhamento, controle eletrônico de estoques, uso de sensores de temperatura e umidade, separação física entre diferentes tipos de fertilizantes e treinamento contínuo das equipes de operação

(COAMO, 2024; YARA, 2023). Tais práticas não apenas melhoram a performance operacional, como também contribuem para a rastreabilidade e segurança da operação.

Na tabela abaixo, podemos visualizar alguns desses requisitos e sua descrição em termos de resultado.

Tabela 1 - Requisitos e descrições para armazenamento de fertilizantes

Requisito	Descrição
Ambiente protegido	Local coberto, ventilado, sem exposição direta ao sol e chuva
Controle de umidade e temperatura	Monitoramento e manutenção de condições ambientais adequadas
Separação de produtos incompatíveis	Evita reações químicas ou contaminações cruzadas
Rastreabilidade dos lotes	Identificação clara dos produtos para controle de origem e destino
Procedimentos operacionais padronizados	Normas para recebimento, estocagem e expedição
Prevenção de contaminação do solo e água	Isolamento de produtos e uso de contenções adequadas
Capacitação da equipe	Treinamentos regulares sobre segurança, qualidade e boas práticas

Fonte: Adaptado de MAPA (2013;2020)

Como consequência, ao não observar esses requisitos, diversos efeitos adversos podem ocorrer com os lotes de fertilizantes armazenados, como descrito na tabela abaixo:

Tabela 2 – Efeitos adversos na armazenagem de fertilizantes

Empedramento	Formação de torrões dificulta aplicação e reduz eficácia do fertilizante.
Contaminação Cruzada	Mistura de produtos incompatíveis pode gerar reações químicas ou comprometer nutrientes.
Perda de nutrientes	Exposição ao calor e à umidade acelera degradação dos insumos.
Segregação física	Separação de componentes do fertilizante prejudica homogeneidade.
Riscos ambientais	Vazamentos ou infiltrações podem contaminar solo e corpos hídricos.

Fonte: Adaptado de MAPA (2013;2020)

Ao incorporar esses elementos em suas unidades no Mato Grosso do Sul, a Coamo avança na direção de um modelo de armazenagem mais eficiente, seguro e sustentável, alinhado às exigências do mercado e às necessidades do cooperado.

3. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

A proposta de solução apresentada neste trabalho visa enfrentar de forma sistêmica os principais gargalos logísticos e operacionais identificados no processo de armazenagem de fertilizantes nas unidades da Coamo Agroindustrial Cooperativa no Estado do Mato Grosso do Sul (MS). A abordagem adotada parte do princípio da melhoria contínua, combinando adequações estruturais, modernização de processos e qualificação técnica das equipes envolvidas. A proposta está alinhada com os requisitos legais, as boas práticas de armazenagem e os princípios da logística sustentável.

Em 2024 somente as unidades do MS, forneceram aproximadamente 372.163 toneladas de fertilizantes, em média 3.642 toneladas foram armazenadas em pátio externo/por unidade Coamo.

De acordo com o levantamento realizado, aproximadamente 17.840 toneladas de fertilizantes sofreram empedramento no MS em 2024, representando um valor de aproximadamente R\$ 62.000.000,00.

3.1. Expansão e Padronização da Infraestrutura de Armazenagem

Uma das principais iniciativas consiste na ampliação da capacidade estática de armazenagem por meio da construção de novos galpões cobertos (CDR's de Fertilizantes), pavimentados e ventilados, bem como na reforma e padronização de estruturas existentes.

Essas unidades serão dotadas de pisos impermeabilizados, canaletas para drenagem e dispositivos de contenção de líquidos, de forma a prevenir a contaminação ambiental em casos de acidentes, conforme exige a IMASUL (Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul).

Nestas unidades a separação em baias permite a segregação dos diferentes tipos de fertilizantes evitando a contaminação cruzada (Figura 1). Dotada de um sistema de correias e fitas transportadoras possibilita a descarga dos fertilizantes em uma moega e o transporte até o local de armazenagem de maneira segura afim de evitar perdas e contaminações.

Também será utilizado nestes armazéns estruturas de embegamento para acondicionar os fertilizantes na embalagem final próximo do momento de entrega aos cooperados (Figura 2).

Além disso, está prevista a padronização dos layouts operacionais para facilitar o fluxo de recebimento, estocagem e expedição dos fertilizantes, reduzindo o tempo de movimentação interna e otimizando o uso dos espaços físicos.

Figura 1 – Armazém com baias separadas



Fonte: Imagem ilustrativa gerada por Inteligência Artificial

Figura 2 – Máquina de embegamento de bags



Fonte: Imagem ilustrativa gerada por Inteligência Artificial

3.2. Implementação de tecnologias de controle ambiental e rastreabilidade

A proposta contempla a adoção de sistemas automatizados de controle ambiental, com sensores de umidade e temperatura acoplados a sistemas de alerta (telemetria ou miniestação meteorológica). Tais sistemas permitem o monitoramento contínuo das condições internas dos armazéns e a tomada de decisão rápida em casos de anomalias, contribuindo para a manutenção da qualidade dos produtos. Esse sistema já existe em armazéns de produtos agrícolas (soja, milho), atuando para prevenir situações como explosões de pó, umidade excessiva, entre outras situações adversas para estocagem do produto.

Também será implementado um sistema integrado de rastreabilidade via código de barras e RFID (identificação por radiofrequência), que permitirá o acompanhamento completo do percurso dos fertilizantes desde o recebimento até a entrega ao cooperado. Isso assegura maior transparência, controle de estoque em tempo real e redução de erros logísticos.

A utilização de diferentes soluções tecnológicas permite um controle apurado da qualidade do produto e da rastreabilidade desde a retirada junto ao fornecedor até a entrega final aos cooperados.

3.3. Otimização logística com descentralização dos estoques

Outro eixo da solução proposta é a descentralização dos estoques por meio da criação de CDR's de fertilizantes em regiões estratégicas do Mato Grosso do Sul. Essa medida visa aproximar fisicamente os insumos das áreas produtivas, diminuindo as distâncias percorridas, os tempos de transporte e a emissão de gases de efeito estufa.

O transporte a granel dos fertilizantes permite uma agilidade no carregamento, otimizando o tempo no fornecedor. Atualmente os fertilizantes são transportados em big bags, para a retirada junto ao fornecedor é necessário enviar os caminhões e aguardar conforme a fila de embarque, tornando um gargalo para a operação a espera em fila.

Quando chega nas unidades é necessário aguardar empilhadeira para poder realizar o descarregamento dos bags e armazenagem onde tiver espaço (dentro ou fora dos armazéns).

Concentrando por regiões o recebimento dos fertilizantes em estruturas que permitam receber e armazenar a granel garantindo a qualidade dos produtos e embegamento próximo a entrega, otimiza o processo garantindo qualidade e redução de custos e emissões de poluentes.

Com isso, espera-se uma maior agilidade na resposta às demandas dos cooperados, além de menor exposição dos fertilizantes ao risco de degradação durante longas viagens. A descentralização também permitirá uma melhor previsibilidade de abastecimento e facilitará o planejamento da aplicação dos insumos nas propriedades rurais.

3.4. Capacitação técnica das equipes e padronização de procedimentos

A qualificação constante dos movimentadores de mercadorias, dos ajudantes de armazenistas, armazenistas e operadores de empilhadeiras, bem como gestores das unidades operacionais/distribuição é parte essencial da proposta. Estão previstas capacitações periódicas em temas como boas práticas de armazenagem, segurança química, prevenção de acidentes, manuseio adequado de big bags e procedimentos de emergência.

Paralelamente, serão desenvolvidos manuais operacionais padronizados para todas as unidades da cooperativa no estado, assegurando a homogeneidade dos processos e facilitando auditorias internas e externas. Essa padronização também contribui para o cumprimento rigoroso das exigências do MAPA¹.

¹ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

3.5. Integração com sistemas cooperativos e indicadores de desempenho

Por fim, a proposta prevê a integração dos sistemas de armazenagem com as demais plataformas operacionais da Coamo, como os sistemas de compras, planejamento de demanda e atendimento ao cooperado (B.I). Essa integração facilitará o acompanhamento de indicadores-chave de desempenho (KPIs), como:

- Tempo médio de expedição;
- Taxa de perdas por umidade ou empedramento;
- Ocorrência de não conformidades logísticas;
- Índice de atendimento no prazo;
- Índice de reclamações no SAC COAMO/ Unidade de compra
- Redução da pegada de carbono por tonelada entregue.

Essa gestão por indicadores permitirá o acompanhamento contínuo da eficácia das ações implementadas e a tomada de decisões baseadas em dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação das ações propostas para a melhoria da armazenagem de fertilizantes no Estado do Mato Grosso do Sul apresenta resultados projetados satisfatórios, atualmente as unidades tem incentivado os cooperados a receber os fertilizantes antes da utilização para reduzir os estoque nas unidades, porem muitos cooperados preferem deixar armazenados na Coamo e retirar apenas quando for utilizar, pois a qualidade do produto é de responsabilidade da cooperativa até o momento da retirada, a proposta visa garantir a qualidade dos fertilizantes para atender aos cooperados que tem esta preferência, trazendo como ganhos a qualidade e redução de custos, em alguns casos, já mensuráveis, tanto na perspectiva operacional quanto econômica e ambiental.

A análise destas projeções será apresentada a partir dos eixos estruturantes da proposta: infraestrutura, tecnologia, logística e capacitação.

4.1. Expansão e padronização da infraestrutura

A construção e reforma de unidades de armazenagem tem potencial de aumento da capacidade estática total de fertilizantes da Coamo no Estado do Mato Grosso do Sul, visto que atualmente + de 57% dos fertilizantes permanecem nas unidades por algum período, sendo que em algumas unidades 100% dos fertilizantes ficam armazenados em pátios externos, sendo a média dos produtos em pátio superior a 60%. Espera-se que, com a implantação desta solução até a conclusão de todas as obras previstas, o volume armazenado em ambiente fechado seja superior a 80%. A padronização do layout e das áreas operacionais, poderia reduzir em cerca de 23% o tempo médio de movimentação interna dos produtos, o que contribui para a melhoria do fluxo de carga e descarga.

4.1.1. Implementação de tecnologias de controle e rastreabilidade

O controle de temperatura e umidade indicam que a manutenção das condições ideais pode reduzir a ocorrência de empedramento em aproximadamente 95%, quando comparado a unidades sem controle ambiental automatizado. O sistema de rastreabilidade RFID otimiza a localização e expedição de lotes específicos em menos tempo, com potencial de eliminação dos erros de separação.

4.1.2. Otimização logística e descentralização

A criação dos CDR's de Fertilizantes pode diminuir o tempo médio de permanência dos caminhões nas unidades em 2 horas por viagem. Essa redução, aplicada ao volume anual movimentado, representa uma economia estimada potencial de 10 mil horas por ano, equivalente a cerca de R\$ 1.800.000,00. Do ponto de vista ambiental esta mudança de forma de trabalho permite reduzir em 128 toneladas de CO₂ emitidas, considerando o fator médio de emissão do transporte rodoviário de carga².

4.1.3. Capacitação técnica e padronização de procedimentos

Os treinamentos realizados nas primeiras fases envolverão mais de 50 colaboradores focados nos envolvidos diretamente na operação deste armazém piloto, e das unidades atendidas por ele. A padronização dos processos também facilitará a adaptação de novas equipes e a integração entre unidades no fornecimento.

4.2. Discussão

Os resultados projetados até o momento confirmam que a modernização da infraestrutura e a incorporação de tecnologias digitais têm impacto direto e positivo na qualidade do produto entregue ao cooperado. A redução de perdas por empedramento e umidade melhora a eficiência agrônômica dos fertilizantes, aumentando o retorno sobre o investimento realizado pelo agricultor, sendo um diferencial que pode ser trabalhado no Plano Safra.

² Calculado com a Ferramenta GHG Protocol 2025 v.0.1

A descentralização logística, além de reduzir custos de transporte e emissões, aumenta a resiliência da cadeia de suprimentos, pois minimiza riscos de desabastecimento em períodos de pico de demanda ou em casos de interrupções na malha rodoviária. Esse ponto é especialmente relevante na área de atuação da COAMO, que tem grandes distancias, oportunidade em que eventos climáticos extremos ou problemas de infraestrutura podem comprometer fluxos logísticos.

Do ponto de vista ambiental, a diminuição da pegada de carbono associada ao transporte reforça o compromisso da cooperativa com as práticas de ESG e contribui para metas globais de mitigação das mudanças climáticas. Ainda que os dados apresentados sejam projetados, eles indicam que as medidas adotadas estão alinhadas tanto aos objetivos econômicos quanto aos socioambientais da organização, já que, como referencial, há um case de sucesso implementado que é a alteração do modal de bitrem para rodotrem pela COAMO no Estado do Mato Grosso do Sul, onde mais de 200 mil litros de diesel foram economizados, transportando ainda mais produtos.

O investimento estimado é de R\$ 20.000.000,00, considerando a construção do armazém, ensacadeira de big bag e equipamentos para movimentação dos produtos. O prazo estimado para a implantação do projeto é de aproximadamente 1 ano e 8 meses.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos desafios e oportunidades na armazenagem de fertilizantes no Estado do Mato Grosso do Sul, no contexto da Coamo Agroindustrial Cooperativa, demonstrou que melhorias estruturais, tecnológicas e operacionais são essenciais para garantir a qualidade do produto, otimizar processos logísticos e reduzir impactos ambientais.

O estudo sugere que a ampliação e padronização da infraestrutura de armazenagem permitem não apenas aumentar a capacidade estática, mas também reduzir tempos de movimentação interna e perdas por exposição inadequada. A implementação de sistemas de controle ambiental e rastreabilidade demonstra ser um caminho eficaz na prevenção de problemas como empedramento e contaminação cruzada, ao mesmo tempo em que agiliza a localização e expedição de lotes.

A descentralização dos estoques, associada ao planejamento logístico integrado, tem potencial de reduzir significativamente as distâncias percorridas e as emissões de gases de efeito estufa, além de melhorar a previsibilidade no atendimento ao cooperado. Por fim, a capacitação das equipes e a padronização de procedimentos também devem elevar os índices de conformidade e segurança operacional, fortalecendo a cultura de qualidade e eficiência, muito alinhado com a missão de “Gerar renda ao cooperado com desenvolvimento sustentável do agronegócio”.

Em síntese, a combinação de investimentos em infraestrutura, tecnologia, logística e pessoas posiciona a Coamo como referência em gestão de armazenagem de fertilizantes, alinhando-se às melhores práticas de ESG, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Visão Coamo de “Ser a melhor opção de desenvolvimento aos cooperados, realização profissional aos funcionários, produtos aos clientes e negócios aos parceiros”.

5.1. Sugestões de trabalhos futuros

Durante a execução e análise deste estudo, surgiram oportunidades adicionais para aprofundamento em pesquisas e desenvolvimento de novas soluções, dentre as quais destacam-se:

1. Avaliação econômica detalhada do retorno sobre o investimento em tecnologias de controle ambiental e rastreabilidade, considerando cenários de curto, médio e longo prazo.
2. Estudo comparativo de modelos logísticos para fertilizantes, incluindo análise de viabilidade da utilização de locais alternativos de aquisição ou estocagem temporária.
3. Pesquisa sobre embalagens sustentáveis que possam reduzir o impacto ambiental e facilitar o manuseio e armazenagem de fertilizantes, com ganhos na logística reversa dessas embalagens.
4. Monitoramento longitudinal da pegada de carbono associada às operações de armazenagem e transporte, integrando métricas ambientais aos indicadores de desempenho logístico.
5. Desenvolvimento de um sistema de inteligência logística com uso de algoritmos preditivos para otimização de estoques e planejamento de rotas em tempo real (RFID e outros).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLOU, R. H. *Logística Empresarial: Transporte, Administração de Materiais e Distribuição Física*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. *Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013. Estabelece critérios e procedimentos para a produção, comercialização e uso de fertilizantes, corretivos e substratos para plantas. Disponível em: <https://www.in.gov.br>. Acesso em: 04 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 03, de 10 de março de 2020. Dispõe sobre os critérios para controle da qualidade de fertilizantes destinados à agricultura. Disponível em: <https://www.in.gov.br>. Acesso em: 04 ago. 2025.

COAMO AGROINDUSTRIAL COOPERATIVA. *Relatório de Sustentabilidade 2024*. Campo Mourão: Coamo, 2024. Disponível em: <https://www.coamo.com.br>. Acesso em: 30 jul. 2025.

PEREIRA, J. R.; SILVA, C. A. Armazenagem de fertilizantes: impactos na qualidade do produto e na sustentabilidade operacional. *Revista Brasileira de Logística*, v. 8, n. 2, p. 45-58, 2021.

RODRIGUES, A. C.; OLIVEIRA, F. L. Logística Sustentável: Desafios e Oportunidades. *Revista de Logística e Sustentabilidade*, v. 5, n. 1, p. 10-22, 2020.

YARA BRASIL. *Boas Práticas de Armazenagem de Fertilizantes*. 2023. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br>. Acesso em: 04 ago. 2025.