

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DMAIC NA OTIMIZAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE MILHO QUEBRADO EM UMA COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL

**APPLICATION OF THE DMAIC METHODOLOGY TO OPTIMIZE BROKEN
CORN AVAILABILITY IN AN AGRO-INDUSTRIAL COOPERATIVE**

Ciências Biológicas, Ciências Agrárias, Ciências Sociais Aplicadas •

29/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/790566838](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/790566838)

Diego Horie¹

Jonathan Bruno Camargo Corrêa²

RESUMO

O estudo analisa a aplicação do Lean Six Sigma, estruturado pelo ciclo DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve e Control), à geração, armazenagem e disponibilização de milho quebrado destinado à formulação de rações bovinas em uma cooperativa agroindustrial. O problema organizacional consistia na insuficiência do coproduto para atender às formulações e projeções de vendas, tendo sido estabelecida meta de elevar sua disponibilidade de 182 para 340 t/mês. Desenvolveu-se estudo de caso aplicado, de abordagem quali-quantitativa, com estratificação do problema, mapeamento do processo, priorização de causas, avaliação multicritério, plano 5W2H e teste operacional. As causas priorizadas envolveram limitações de produção e armazenagem, condições inadequadas das estruturas e presença de pragas. Em teste com 1.820 kg de milho comercial submetido à pós-limpeza em peneira de 5 mm, obtiveram-se 39,5 kg de fração quebrada, correspondentes a 2,17% da massa processada. A instalação de máquina de limpeza foi priorizada, enquanto ações de 5S e tratamento das estruturas foram registradas como implantadas. A análise ampliada com literatura e regulamentação mostra que volume recuperado, qualidade e conservação precisam ser controlados conjuntamente. Os dados disponíveis, contudo, não demonstram série pós-implantação suficiente para atribuir às intervenções o atingimento sustentado de 340 t/mês. Conclui-se que o DMAIC estruturou adequadamente o diagnóstico e a seleção de contramedidas, permanecendo a fase Control como requisito para comprovar estabilidade, desempenho econômico e sustentação dos resultados.

Palavras-chave: Lean Six Sigma; DMAIC; Agroindústria; Milho quebrado; Armazenagem de grãos; Melhoria contínua.

ABSTRACT

This study analyzes the application of Lean Six Sigma, structured through the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve and Control), to the generation, storage and availability of broken corn used in cattle-feed formulations at an agro-industrial cooperative. The organizational problem was the insufficient availability of this coproduct to meet formulation requirements and sales projections, with a target of increasing monthly availability from 182 to 340 t. An applied mixed-method case study was conducted using problem stratification, process mapping, cause prioritization, multicriteria assessment, a 5W2H action plan and an operational test. Prioritized causes involved limitations in production and storage capacity, inadequate storage conditions and pest presence. In a test with 1,820 kg of commercial corn processed through post-cleaning with a 5-mm sieve, 39.5 kg of broken fraction were obtained, corresponding to 2.17% of the processed mass. Installation of a cleaning machine was prioritized, while 5S and structural-treatment actions were reported as implemented. The expanded analysis based on scientific literature and regulation indicates that recovered volume, quality and storage conditions must be controlled jointly. However, the available dataset does not provide a sufficiently stabilized post-implementation series to attribute sustained achievement of 340 t/month to the interventions. DMAIC proved useful for structuring diagnosis and countermeasure selection, while the Control phase remains essential to demonstrate process stability, economic performance and result sustainability.

Keywords: Lean Six Sigma; DMAIC; Agribusiness; Broken corn; Grain storage; Continuous improvement.

1. INTRODUÇÃO

A competitividade das agroindústrias depende da capacidade de coordenar fluxos físicos e informacionais que atravessam recebimento, classificação, beneficiamento, armazenagem, movimentação e transformação de matérias-primas. Nesse ambiente, perdas, esperas, restrições de capacidade, movimentações desnecessárias e baixa padronização podem comprometer simultaneamente custo, produtividade, qualidade e nível de serviço.

O Lean Manufacturing estrutura a melhoria operacional a partir da identificação do valor, compreensão do fluxo de valor, estabelecimento de fluxo, lógica puxada e busca da melhoria contínua. No nível operacional, sua aplicação exige tornar visíveis as perdas que restringem o desempenho global. Fortes et al. (2024) destacam oito categorias recorrentes de desperdício — defeitos/retrabalhos, superprodução, processamento inadequado, movimentos desnecessários, transporte, estoques, espera e subutilização do potencial humano — e demonstram sua aplicação em processo agroindustrial de fabricação de rações.

Para processos envolvendo grãos, a interpretação dessas perdas deve considerar particularidades físico-operacionais. Estoques, por exemplo, não representam apenas capital imobilizado: ocupam capacidade estática, exigem condições adequadas de conservação e podem limitar a segregação de produtos. Da mesma forma, transporte e movimentação interna estão associados ao uso de elevadores, redlers, balanças de fluxo e estruturas de armazenagem, enquanto processamento adicional pode ser economicamente justificável quando transforma uma fração previamente subaproveitada em coproduto utilizável pela fábrica de ração.

O MFV é particularmente relevante nesse contexto por representar simultaneamente fluxo físico e informações, permitindo diferenciar atividades que agregam valor das que prolongam o Lead Time sem contribuição proporcional ao produto. Fortes et al. (2024) utilizaram o MFV do estado atual e futuro para diagnosticar uma fábrica de ração, associando-o a métricas como tempo de ciclo, Takt Time e Lead Time. No presente estudo, embora não tenha sido elaborado um VSM completo com Takt Time, o mapa de processo exerceu função diagnóstica análoga ao tornar visíveis as interfaces entre recebimento, beneficiamento, armazenagem, transferência e consumo do milho quebrado.

A relevância do problema aumenta quando se considera que a eficiência agroindustrial não depende apenas do desempenho isolado de cada equipamento, mas da compatibilidade entre capacidades sucessivas de recebimento, classificação, armazenagem, beneficiamento, transferência e consumo. Uma restrição localizada a montante pode produzir falta de matéria-prima na unidade de rações mesmo quando a capacidade nominal de moagem e mistura permanece disponível. Sob essa perspectiva, a disponibilidade de milho quebrado funciona como variável de interface entre operações distintas e, por isso, deve ser tratada como resultado de um sistema, e não como consequência de uma única etapa. Essa leitura sistêmica é coerente com a literatura de melhoria contínua no agronegócio, na qual estudos de caso predominam e evidenciam que os maiores ganhos surgem quando o fluxo é observado de forma transversal, conectando logística, processamento e capacidade de resposta ao cliente interno (Lopes; Cruz; Santos, 2025).

O próprio conceito de milho quebrado exige atenção técnica. O Regulamento Técnico do Milho instituído pela Instrução Normativa MAPA nº 60/2011 define como grãos quebrados os pedaços que atravessam peneira de crivos circulares de 5,00 mm e permanecem retidos em peneira de 3,00 mm (Brasil, 2011). Essa definição é particularmente pertinente ao presente caso porque o teste operacional utilizou peneira de 5 mm. Entretanto, como o registro disponível não informa a retenção subsequente em peneira de 3 mm, o rendimento de 2,17% deve ser interpretado como fração operacional recuperada no processo avaliado, e não como determinação oficial completa da classificação comercial prevista na norma. A explicitação dessa diferença aumenta a rastreabilidade metodológica e evita que uma medição de processo seja indevidamente convertida em classificação regulamentar.

A contribuição do estudo, portanto, situa-se na articulação entre melhoria contínua, gestão da qualidade de grãos e integração entre unidades de uma cooperativa agroindustrial. Em vez de limitar a análise à redução de tempos ou defeitos em uma máquina específica, o caso permite examinar como uma fração do milho comercial pode ser identificada, segregada, conservada e direcionada para uso industrial, criando um fluxo de valor interno. Essa abordagem é consistente com aplicações recentes de Lean Six Sigma na indústria de alimentos, que vêm ampliando o foco tradicional em produtividade para incorporar estabilidade de processo, redução de perdas e uso mais eficiente dos recursos existentes (McDermott et al., 2024).

Diante desse contexto, formulou-se a seguinte questão de pesquisa: como a aplicação da metodologia DMAIC pode contribuir para identificar, priorizar e tratar as causas que limitam a disponibilidade

de milho quebrado destinado à fabricação de rações em uma cooperativa agroindustrial?

Assim, o objetivo geral foi avaliar a aplicação do DMAIC na otimização do processo de geração e disponibilização de milho quebrado. Especificamente, buscou-se: (i) caracterizar o fluxo operacional; (ii) estratificar e priorizar causas associadas à baixa disponibilidade; (iii) avaliar alternativas de melhoria; (iv) testar o potencial de geração de milho quebrado em operação de pós-limpeza; e (v) discutir os resultados à luz da literatura de Lean Six Sigma aplicada à indústria de alimentos, ao agronegócio e à fabricação de rações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Lean Manufacturing e Desperdícios em Processos Agroalimentares

O Lean Manufacturing tem como princípio central a criação de valor com a eliminação sistemática de atividades que consomem recursos sem gerar valor para o cliente. Em aplicações agroalimentares, o conceito de desperdício deve ser interpretado de forma ampliada, pois envolve não apenas tempos e movimentos, mas também perdas físicas de matéria-prima, deterioração, estoques inadequados, retrabalho, contaminações e processamento que não contribui para o resultado esperado.

A revisão sistemática de Costa et al. (2018), que analisou estudos de Lean, Six Sigma e Lean Six Sigma na indústria de alimentos, concluiu que essas iniciativas apresentam potencial para reduzir custos e aumentar produtividade. Os autores destacam, contudo, que fatores humanos e características particulares do setor de alimentos

interferem na adoção das ferramentas. Em cadeias agroalimentares, o Value Stream Mapping (VSM) também tem sido utilizado para localizar pontos de perda e desperdício em produção, processamento e armazenagem, podendo ser combinado com 5S, Just in Time e outras práticas de melhoria contínua.

Na indústria de alimentos, a identificação de desperdícios exige compatibilizar eficiência operacional com requisitos de qualidade, segurança e perecibilidade. Costa et al. (2018) observaram que Lean, Six Sigma e Lean Six Sigma podem reduzir custos e aumentar produtividade no setor, mas também destacaram barreiras específicas, como variabilidade da matéria-prima, exigências sanitárias, fatores humanos e heterogeneidade dos processos. Isso significa que a eliminação de desperdícios não pode ser conduzida apenas pela redução de estoques ou pela aceleração do fluxo. Em sistemas de grãos, determinadas capacidades de armazenagem, segregação e inspeção são necessárias para preservar a qualidade e absorver a sazonalidade. A melhoria deve distinguir estoque protetivo tecnicamente necessário de estoque gerado por desbalanceamento, espera ou falta de sincronização.

A evolução recente para abordagens Green Lean Six Sigma reforça essa interpretação. A revisão de McDermott et al. (2024) identifica potencial para integrar desempenho operacional e sustentabilidade na indústria de alimentos, ainda que a literatura permaneça em consolidação. No caso analisado, essa integração não autoriza quantificar benefício ambiental sem dados específicos, mas permite reconhecer um princípio relevante: recuperar e direcionar adequadamente uma fração já presente no fluxo pode evitar perdas de valor e reduzir a necessidade de recorrer automaticamente a soluções externas de suprimento. O ganho, quando existir, precisa

ser demonstrado por indicadores de massa, qualidade, custo e estabilidade, e não presumido a partir da simples implantação de uma ferramenta Lean.

2.2. Lean Six Sigma, DMAIC e Melhoria Estruturada no Setor Agroindustrial

A literatura setorial fornece dois referenciais particularmente aderentes ao caso. Sakumoto, Chirolí e Dzulinski (2019) aplicaram Lean Six Sigma em uma cooperativa agroindustrial brasileira e utilizaram Project Charter, SIPOC, estratificação, mapeamento de processos, matriz de causa e efeito, FMEA e 5 Porquês para reduzir ineficiências no recebimento de grãos. O estudo reportou redução de 40 minutos no tempo de espera dos caminhões para descarga, demonstrando que gargalos logísticos de unidades armazenadoras podem ser tratados com abordagem estruturada de melhoria.

Fortes et al. (2024), por sua vez, analisaram uma fábrica de ração localizada no Meio-Oeste de Santa Catarina. A partir do MFV do estado atual, identificaram elevado número de setups, falta de padronização e interferências na programação. O processo apresentava produção média de 385 t/dia; após a aplicação de padronização, TRF/SMED e 5W2H, os autores reportaram capacidade de 429,36 t/dia, equivalente a acréscimo de 44,36 t/dia e aproximadamente 931,5 t/mês, além de retorno financeiro adicional estimado em R\$ 35 mil mensais. Esses resultados são relevantes porque demonstram, no mesmo segmento de destino do coproduto analisado neste trabalho, que perdas de fluxo podem ser convertidas em capacidade por meio de intervenções Lean direcionadas.

A contribuição específica do presente estudo está em deslocar a análise para montante da fábrica de ração. Em vez de otimizar somente o processamento industrial da ração, investiga-se a disponibilidade de uma matéria-prima alternativa proveniente do beneficiamento do milho. Assim, o desempenho da UIR passa a ser relacionado também à eficiência do sistema de geração, segregação, armazenagem e transferência do milho quebrado, ampliando a fronteira tradicional do Lean para uma perspectiva interprocessual.

Em uma pequena empresa de processamento de alimentos, Dora et al. (2015) demonstraram a aplicabilidade do Lean Six Sigma como abordagem híbrida de melhoria. Em uma indústria de biscoitos, Rifqi et al. (2021) aplicaram DMAIC e relataram redução de refugos e aumento de eficiência operacional. Em outro estudo de indústria alimentícia, a abordagem DMAIC foi combinada com VSM, Pareto, Ishikawa, FMEA e 5S para identificar desperdícios e estruturar recomendações de melhoria.

A estrutura DMAIC é particularmente útil quando a organização conhece o efeito indesejado, mas ainda precisa transformar percepções operacionais em relações mensuráveis entre causas, variáveis de processo e resultados. Isso se aproxima do caso em estudo, no qual a falta de milho quebrado era percebida como restrição para a formulação de rações, mas as causas potenciais estavam distribuídas entre recebimento, beneficiamento, capacidade de armazenagem, conservação e disponibilidade do produto.

O DMAIC organiza a resolução de problemas em uma sequência lógica que reduz o risco de antecipar soluções antes de compreender o processo. Na fase Define, a organização delimita o

problema, a variável de resposta, o escopo e a relação com requisitos do cliente ou do negócio. Na fase Measure, transforma percepções em medidas capazes de descrever a linha de base e a variabilidade do processo. Analyze direciona o esforço à identificação de causas com potencial de explicar o desempenho observado; Improve converte as causas priorizadas em contramedidas, testes ou pilotos; e Control busca assegurar que o resultado, quando comprovado, seja mantido por meio de padrões, indicadores e rotinas de acompanhamento. Sakumoto, Chiroli e Dzulinski (2019) demonstram essa lógica no recebimento de grãos, combinando Project Charter, SIPOC, estratificação, mapeamento, causa e efeito, FMEA e 5 Porquês.

A distinção entre as fases é especialmente importante para avaliar a maturidade de um projeto. Uma iniciativa pode ter executado adequadamente Define, Measure e Analyze e ainda não possuir evidência suficiente de resultado final porque Improve está em implantação ou Control ainda não acumulou dados. Esse ponto é central no presente estudo: a documentação permite demonstrar a formulação do problema, a priorização das causas e um teste operacional, mas não uma série histórica estabilizada após a instalação definitiva do equipamento. Assim, rigor metodológico exige separar três categorias que frequentemente aparecem misturadas em relatórios gerenciais: meta estabelecida, resultado de piloto e desempenho sustentado. Somente a última categoria autoriza afirmar que a melhoria foi incorporada ao processo.

Em fabricantes de ração, a necessidade de adaptar o Lean Six Sigma à disponibilidade de recursos e à complexidade do processo também aparece na literatura. Trubetskaya, McDermott e Brophy (2023) propõem um modelo customizado para uma indústria de

alimentação animal, combinando mapeamento do fluxo de valor e solução estruturada de problemas. A principal implicação para cooperativas agroindustriais é que a robustez da abordagem não depende da quantidade de ferramentas empregadas, mas da coerência entre problema, evidência, análise e controle. Ferramentas como 5W2H, 5S ou matriz de priorização têm utilidade quando ligadas a uma hipótese causal explícita e a um indicador capaz de verificar o efeito da intervenção.

2.3. Lean Six Sigma no Agronegócio, Grãos e Fabricação de Rações

A aplicação de Lean Six Sigma ao recebimento de grãos no Brasil apresenta forte proximidade com o presente estudo. Sakumoto, Chiroli e Dzulinski (2019) utilizaram Project Charter, SIPOC, estratificação, mapeamento de processos, diagrama e matriz de causa e efeito, FMEA e 5 Porquês em uma cooperativa agroindustrial. As melhorias implantadas reduziram em 40 minutos o tempo de espera dos caminhões para descarga e estabeleceram limites de controle para a quantidade de veículos no terminal.

No segmento de rações compostas, Trubetskaya, McDermott e Brophy (2023) argumentam que fabricantes de alimentação animal podem se beneficiar de uma metodologia Lean Six Sigma simplificada e compatível com os recursos disponíveis no setor. O estudo combina VSM com solução estruturada de problemas Six Sigma e destaca a necessidade de adaptar a abordagem às condições específicas de fabricantes de ração.

Essas evidências sustentam a pertinência de investigar o fluxo de milho quebrado não apenas como questão de armazenagem, mas

como problema de integração entre processos agroindustriais. A disponibilidade de um coproduto gerado no beneficiamento pode influenciar a composição de matérias-primas da fábrica de ração e, conseqüentemente, decisões de custo, estoque e planejamento da produção.

2.4. Qualidade do Milho, Grãos Quebrados e Riscos de Armazenagem

A condição física do milho influencia simultaneamente classificação, estabilidade de armazenagem e aproveitamento industrial. O Regulamento Técnico do Milho brasileiro diferencia grãos quebrados, impurezas, matérias estranhas, grãos carunchados e grãos avariados, estabelecendo critérios que permitem interpretar a qualidade de forma mais precisa (Brasil, 2011). Essa distinção é necessária porque nem todo material que atravessa uma peneira deve ser automaticamente considerado milho quebrado aproveitável. Fragmentos muito pequenos, impurezas e material estranho podem demandar separação distinta, e o uso industrial da fração recuperada depende de sua conformidade com requisitos internos de qualidade e segurança.

Do ponto de vista pós-colheita, a presença de grãos quebrados merece atenção porque a ruptura do tegumento e a maior exposição do endosperma podem elevar a suscetibilidade à deterioração. A revisão de Chen et al. (2023) descreve que a quebra pode resultar de colheita, secagem, transporte, quedas e transferências sucessivas, além de se relacionar à umidade e à resistência mecânica do grão. Os autores também destacam que frações quebradas alteram a distribuição de poros no armazenamento, podem favorecer segregação e criam superfícies

mais vulneráveis à ação de insetos e fungos. Portanto, recuperar milho quebrado para uso em rações deve ser acompanhado por estratégia de conservação compatível com sua maior vulnerabilidade física.

A literatura experimental reforça a interação entre umidade, insetos e material quebrado. Sone (2001), ao estudar milho armazenado sob diferentes níveis de umidade, infestação por *Sitophilus zeamais* e proporções de broken corn and foreign material, observou maior desenvolvimento de fungos à medida que condições de armazenamento se tornavam mais favoráveis à deterioração. O achado não deve ser transferido diretamente para a cooperativa analisada, pois condições, escala e lotes são diferentes, mas sustenta a importância de controlar fatores que atuam conjuntamente. Em vez de tratar pragas, umidade e integridade física como problemas independentes, a gestão de armazenagem deve reconhecê-los como variáveis interdependentes do risco de perda de qualidade.

As recomendações técnicas da Embrapa convergem com essa interpretação ao enfatizar, para a armazenagem a granel, estruturas adequadas, baixo teor de umidade, baixa presença de impurezas, ausência de pragas e microrganismos, manipulação correta, termometria e aeração (Embrapa, s.d.). A aeração contribui para reduzir e uniformizar a temperatura da massa, enquanto limpeza e controle de pragas reduzem fontes de deterioração. No caso estudado, as ações de 5S, higienização e tratamento das estruturas não devem ser vistas como medidas periféricas em relação ao aumento de capacidade. Elas constituem controles complementares necessários para que uma eventual ampliação da geração de milho quebrado não seja acompanhada por aumento de perdas qualitativas.

Essa interface entre quantidade e qualidade é relevante para a lógica Lean. Aumentar a quantidade segregada sem garantir conservação pode simplesmente deslocar o desperdício de uma etapa para outra. Por isso, o indicador de sucesso não deve ser apenas toneladas mensais de milho quebrado recuperado, mas a combinação entre massa recuperada, rendimento, ocupação de armazenagem, conformidade de qualidade, ocorrência de pragas, tempo de permanência e efetivo consumo pela UIR. A visão sistêmica protege o projeto contra um erro comum em iniciativas de melhoria: otimizar uma métrica local enquanto o desempenho global permanece inalterado ou se deteriora.

2.5. Mensuração, Fase Control e Sustentação da Melhoria

A fase Control é o componente que diferencia uma melhoria pontual de uma mudança de processo sustentada. Após a implantação, o desempenho precisa ser monitorado com definições operacionais claras, periodicidade, responsáveis e critérios de reação. Em um processo de recuperação de milho quebrado, a primeira exigência é assegurar a comparabilidade das medições: o conceito de massa de entrada, fração recuperada, rejeito, impurezas e produto destinado à UIR deve permanecer constante ao longo do tempo. Caso a regra de classificação, a peneira, a regulagem ou o ponto de amostragem se alterem sem registro, séries históricas podem se tornar incomparáveis.

Também é necessário distinguir variação natural entre lotes de mudança efetiva do processo. O rendimento observado em uma única operação não permite estimar com segurança a média industrial, porque a porcentagem de quebrados pode variar com cultivar, umidade, secagem, colheita, transporte, número de

transferências e regulação dos equipamentos (Chen et al., 2023). Assim, o controle deve começar pela formação de uma base de dados representativa, com identificação dos lotes e das principais condições de processo. Somente depois de demonstrada estabilidade do sistema de medição e acumulado número suficiente de observações faz sentido empregar cartas de controle ou limites estatísticos para distinguir causas comuns e especiais de variação.

A sustentação também depende de governança operacional. Indicadores sem rotina de decisão tendem a transformar-se em registros passivos. Um plano de controle eficaz deve estabelecer quem mede, quem valida, quem analisa desvios, qual frequência de reunião será adotada e quais ações serão acionadas quando a disponibilidade ou a qualidade ultrapassar limites definidos. Em uma cooperativa, essa governança pode envolver áreas diferentes - recebimento, armazenagem, beneficiamento, qualidade e fábrica de rações - e, portanto, precisa reduzir zonas de responsabilidade difusa. A lógica fornecedor-cliente interno ajuda a explicitar essas interfaces.

Por fim, a avaliação econômica deve ser incorporada sem antecipar benefícios. A eventual substituição parcial de milho comercial pelo milho quebrado, os custos de limpeza, armazenagem, controle de pragas, manutenção, energia e investimento em equipamentos precisam ser comparados com base em dados reais. O DMAIC não exige que toda melhoria produza apenas redução direta de custos; também pode elevar disponibilidade, estabilidade e confiabilidade. Contudo, qualquer afirmação de retorno financeiro deve derivar de registros posteriores à implantação, especialmente porque o presente estudo não dispõe de série consolidada suficiente para esse cálculo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Delineamento da Pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, exploratório-descritiva e conduzida por meio de estudo de caso único em uma cooperativa agroindustrial. A abordagem foi quali-quantitativa, uma vez que combinou observação e mapeamento do processo, avaliação de causas e oportunidades de melhoria com dados históricos de disponibilidade e teste quantitativo de beneficiamento. O material primário utilizado para reconstrução científica do caso foi o relatório de encerramento/apresentação de um projeto Green Belt, elaborado no contexto organizacional.

3.2. Contexto Operacional e Unidade de Análise

A unidade de análise compreendeu o fluxo de milho desde o recebimento nas unidades, pesagem, amostragem e classificação, descarga e armazenagem, até a movimentação e transferência para a Unidade Industrial de Rações (UIR). O fluxo documentado também inclui a produção de milho especial em Unidade de Beneficiamento de Sementes/Grãos (UBS), a separação do milho quebrado por peneiramento, seu armazenamento e posterior utilização como matéria-prima pela UIR.

O milho comercial foi considerado a matéria-prima principal, enquanto o milho quebrado correspondeu à fração separada durante o beneficiamento. No contexto analisado, essa fração era utilizada como alternativa parcial ao milho comercial em rações bovinas, o que conferia relevância econômica à sua disponibilidade.

3.3. Fontes de Dados, Rastreabilidade e Critérios de Interpretação

A reconstrução científica utilizou exclusivamente informações contidas no material disponibilizado do projeto Green Belt e nos registros associados ao estudo de caso. Foram preservados como dados empíricos apenas valores explicitamente documentados, como a meta de 182 para 340 t/mês, as pontuações da matriz de oportunidades, a massa de 1.820 kg submetida ao teste, a massa de 39,5 kg recuperada e o status das ações informado no encerramento do material. Informações não registradas - como número de repetições, datas completas de todas as medições, custos finais e desempenho pós-implantação - não foram reconstruídas por inferência.

Para ampliar a consistência interpretativa sem alterar os dados do caso, a discussão foi confrontada com literatura científica sobre Lean Six Sigma no setor de alimentos, agronegócio e fabricação de rações e com documentos técnicos sobre classificação e armazenagem de milho. Essa triangulação foi utilizada para contextualizar mecanismos, riscos e implicações, e não para preencher lacunas empíricas. Em particular, a definição regulamentar de grãos quebrados foi considerada como referência conceitual, mas não utilizada para reclassificar retroativamente o resultado do teste, já que o procedimento documentado informa peneira de 5 mm e não registra a etapa de retenção em 3 mm prevista no Regulamento Técnico do Milho (Brasil, 2011).

3.4. Aplicação do DMAIC

Quadro 1. Síntese da aplicação do DMAIC no estudo de caso. Fonte: elaborado a partir dos dados do projeto.

Fase	Finalidade no projeto	Ferramentas/evidências	Saída principal
Define	Delimitar a insuficiência de milho quebrado e estabelecer a meta.	Definição da oportunidade; equipe Green Belt; estratificação inicial.	Meta de elevar a disponibilidade de 182 para 340 t/mês.
Measure	Caracterizar o desempenho e o fluxo existente.	Séries históricas; relação entre ração produzida e consumo de milho quebrado; mapa de processo.	Linha de base e identificação dos pontos do fluxo.
Analyze	Identificar e priorizar causas.	Árvore de estratificação; matriz de causas; priorização de oportunidades.	Baixa capacidade de armazenagem/produção, condição de armazenagem e pragas.
Improve	Selecionar, testar e implantar soluções.	Matriz multicritério; 5W2H; teste com peneira de 5 mm; 5S e tratamento das estruturas.	Soluções selecionadas e evidência de 2,17% de geração no teste.
Control	Acompanhar a sustentação das ações.	Status de implantação e indicadores de disponibilidade/qualidade.	Fase parcialmente documentada no material disponível.

3.5. Teste Operacional

Para verificar o potencial de geração de milho quebrado, foi retirada uma massa conhecida de milho comercial não classificado. A amostra de 1.820,00 kg foi pesada e submetida a beneficiamento em máquina de pós-limpeza configurada com peneira de 5 mm. Após o

processamento, a fração classificada como milho quebrado foi separada e pesada. O percentual de quebrado foi calculado pela razão entre a massa de milho quebrado e a massa total processada, multiplicada por 100.

Percentual de milho quebrado = $(39,5 \text{ kg} / 1.820 \text{ kg}) \times 100 = 2,17\%$

3.6. Critérios de Análise e Limitações Metodológicas

A reconstrução do caso baseia-se nos dados registrados na apresentação Green Belt. O material não informa, de forma completa, período de coleta para todas as variáveis, número de repetições do teste de beneficiamento, análise estatística inferencial, custos detalhados das alternativas ou uma série pós-implantação estabilizada. Por essa razão, o estudo descreve os resultados comprovados no documento e evita inferir causalidade ou ganhos financeiros não demonstrados pelos registros disponíveis.

Além dessas limitações, a interpretação regulatória foi mantida separada da mensuração operacional. O uso de peneira de 5 mm no teste aproxima o procedimento de uma etapa prevista na classificação oficial do milho, mas a ausência de registro sobre retenção em peneira de 3 mm impede tratar a fração de 2,17% como resultado de classificação oficial completa. Essa ressalva é mantida em todas as análises subsequentes para preservar a validade das inferências e a distinção entre dado de processo e padrão comercial (Brasil, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Definição do Problema e Meta

O projeto foi iniciado a partir da constatação de que a disponibilidade de milho quebrado era insuficiente para atender às demandas de inclusão nas fórmulas de rações bovinas e às projeções de vendas. A meta estabelecida foi aumentar a disponibilidade mensal de 182 para 340 toneladas. A definição de uma variável de resultado mensurável é coerente com o DMAIC, pois transforma uma necessidade operacional em objetivo verificável.

A estratificação indicou duas frentes principais: processo e reprocesso. Dentro dessas frentes foram considerados recebimento nas unidades, capacidade de reprocesso, disponibilidade de milho grão e capacidade de armazenagem. Essa decomposição é relevante porque evita atribuir o problema exclusivamente à capacidade de uma máquina e evidencia a natureza sistêmica do fluxo.

4.2. Mapeamento do Fluxo e Diagnóstico das Causas

O mapeamento documentou um fluxo com múltiplas interfaces: entrada e pesagem de caminhões, calagem, classificação de amostras, descarga, preparação e enchimento de graneleiros, saída para a UIR, pesagem de expedição, controle da qualidade, transporte por elevadores e redlers, recebimento na UIR e processamento/armazenamento do milho especial e do milho quebrado. A amplitude do fluxo demonstra que a disponibilidade final do coproduto depende de decisões e restrições distribuídas por diferentes operações.

Na etapa de análise, foram priorizadas três classes de causas: (1) baixa capacidade de armazenagem e produção de milho quebrado; (2) má condição de armazenagem; e (3) presença de pragas na

armazenagem. Entre as possíveis soluções foram avaliadas a instalação de máquina de limpeza junto à balança de fluxo, aumento de capacidade de armazenagem interna, melhoria da circulação de ar, limpeza e organização por 5S, reforma de estruturas, tratamento químico e locação de armazenagem externa.

4.3. Priorização das Oportunidades de Melhoria

A matriz de oportunidades atribuiu a maior pontuação (26 pontos) à instalação de uma máquina de limpeza na saída da balança de fluxo, destinada à separação do milho quebrado do milho comercial. A alternativa de aumento da capacidade interna de armazenagem obteve 23 pontos; melhoria da circulação de ar e aplicação do 5S, 22 pontos cada; reforma estrutural, 21 pontos; tratamento químico, 15 pontos; e locação de armazenagem externa, 14 pontos. A hierarquização indica que a equipe priorizou uma intervenção diretamente associada à geração do coproduto, sem desconsiderar restrições de conservação e capacidade estática.

Sob a perspectiva Lean, a matriz funcionou como mecanismo de seleção de contramedidas. A lógica é tecnicamente consistente com Fortes et al. (2024), que, após o diagnóstico do estado atual da fábrica de ração, estruturaram ações por 5W2H e direcionaram esforços a variáveis com impacto direto no fluxo, como setup, programação e padronização. Em ambos os casos, a melhoria deixa de ser uma ação genérica e passa a ser vinculada a uma perda ou restrição identificada no processo.

4.4. Teste de Beneficiamento e Potencial de Geração do Coproduto

O ensaio operacional demonstrou que a pós-limpeza foi capaz de separar 39,5 kg de milho quebrado a partir de 1.820 kg de milho comercial, correspondendo a rendimento mássico de 2,17% na condição avaliada. Esse valor constitui uma evidência de viabilidade técnica da alternativa priorizada na fase Improve: a fração de interesse pôde ser efetivamente recuperada por classificação granulométrica com peneira de 5 mm. Em termos de gestão do fluxo, o ensaio converte uma hipótese de melhoria em parâmetro quantitativo de processo.

Todavia, o resultado deve ser interpretado como rendimento pontual e não como coeficiente universal de geração. A fração de quebrados pode variar em função da qualidade física do lote, histórico de colheita e movimentação, umidade, regulagem e condição da máquina, abertura e eficiência de peneiramento, teor de impurezas e danos mecânicos acumulados. Para consolidar a solução em escala industrial, recomenda-se delinear campanha de testes com repetição por lote e safra, registrar massa de entrada e de cada fração de saída e estimar média, dispersão e intervalo de confiança do rendimento.

Tabela 1. Resultado do teste operacional de geração de milho quebrado. Fonte: dados do projeto Green Belt.

Indicador	Resultado	Interpretação
Milho comercial processado	1.820 kg	Massa de entrada do teste
Milho quebrado obtido	39,5 kg	Fração separada após pós-limpeza
Percentual de quebrado	2,17%	Rendimento observado no teste com peneira de 5 mm

A aderência entre o diâmetro de 5 mm utilizado no ensaio e a primeira peneira prevista na classificação oficial do milho é tecnicamente relevante. Todavia, o regulamento brasileiro exige também retenção em peneira de 3 mm para caracterizar os grãos quebrados, o que não foi documentado no teste. Portanto, o valor de 2,17% permanece como rendimento operacional da fração separada no piloto e não deve ser convertido, sem nova medição, em percentual oficial de grãos quebrados segundo a IN MAPA nº 60/2011 (Brasil, 2011).

4.5. Implementação das Ações

O plano de solução registrou como ação associada à baixa capacidade de armazenagem e produção a instalação de uma máquina de limpeza anexa à balança de fluxo. No registro de status disponível, essa ação constava como 'em andamento'. Para a causa presença de pragas, as ações de limpeza e organização com aplicação de 5S e tratamento químico das estruturas constavam como implantadas.

Essa distinção é metodologicamente importante: embora a apresentação contenha gráficos de meta e projeções, os dados disponíveis não demonstram uma série pós-implantação suficientemente documentada para afirmar que a meta de 340 t/mês foi alcançada de forma sustentada. Assim, o principal resultado científico comprovável é a estruturação do diagnóstico, a priorização das causas e soluções e o teste operacional de geração de quebrado.

4.6. Discussão à Luz da Literatura

Os resultados corroboram a aplicabilidade de abordagens Lean em operações agroindustriais nas quais o desempenho depende da coordenação entre ativos, estoques e fluxo de materiais. Sakumoto, Chiroli e Dzulinski (2019) demonstraram essa aplicabilidade no recebimento de grãos; Fortes et al. (2024), na fabricação de rações. O presente caso ocupa a interface entre esses dois ambientes, ao tratar o beneficiamento e a armazenagem como processos capazes de influenciar diretamente a disponibilidade de insumo para a UIR.

A comparação com Fortes et al. (2024) é particularmente relevante. Na fábrica de ração estudada por esses autores, o MFV evidenciou oportunidades associadas à transição entre ciclos produtivos, elevado número de setups e ausência de padronização; as contramedidas reduziram perdas de disponibilidade e elevaram a capacidade de 385 para 429,36 t/dia. No presente estudo, a restrição não está prioritariamente no tempo de setup da fábrica, mas na disponibilidade física de um coproduto. Ainda assim, a lógica de melhoria é equivalente: identificar a restrição que reduz o desempenho do sistema, mensurá-la, selecionar contramedidas e acompanhar indicadores de resultado.

Há também convergência no uso do 5W2H como instrumento de desdobramento das ações. Fortes et al. (2024) empregaram a ferramenta para definir o que deveria ser realizado, justificativa, responsáveis, prazo, local, método e custo. No projeto analisado, o 5W2H foi empregado para organizar a implantação da máquina de limpeza e as ações relacionadas à higienização e ao controle de pragas. A ferramenta, portanto, atua como elo entre a análise técnica e a execução, reduzindo ambiguidades de responsabilidade e prazo.

Outro ponto de aproximação é a valorização da capacidade efetiva, em oposição à simples expansão de recursos. Fortes et al. (2024) reportaram aumento de 44,36 t/dia de capacidade produtiva sem alteração da jornada de trabalho ou dos custos fixos operacionais. No presente caso, a solução priorizada busca recuperar e direcionar uma fração já existente no fluxo do milho comercial, evitando interpretar a insuficiência de matéria-prima exclusivamente como necessidade de aquisição externa. Essa lógica é coerente com o princípio Lean de maximizar valor a partir dos recursos e fluxos existentes.

As diferenças entre os estudos também são tecnicamente relevantes. Fortes et al. (2024) apresentaram estado futuro, indicadores pós-implantação e estimativa financeira, permitindo demonstrar ganho consolidado. No presente trabalho, a documentação disponível encerra-se com a instalação do equipamento ainda em andamento. Assim, o resultado de 2,17% deve ser tratado como evidência experimental de potencial de recuperação, e não como comprovação do atingimento sustentado da meta de 340 t/mês. Essa distinção fortalece a validade do relato ao separar resultado observado, meta gerencial e benefício projetado.

Quadro 2. Comparação entre aplicações de Lean/Lean Six Sigma e o estudo de caso. Fonte: elaboração dos autores com base na literatura citada e nos dados do projeto.

Estudo/contexto	Foco da melhoria	Ferramentas/abordagem	Resultado ou contribuição relevante
Sakumoto, Chiroli e	Eficiência e espera de	DMAIC, SIPOC, mapeamento,	Redução reportada de 40 min no

Dzulinski (2019) – recebimento de grãos	caminhões	causa e efeito, FMEA, 5 Porquês	tempo de espera; demonstra aderência do LSS à logística de grãos.
Trubetskaya, McDermott e Brophy (2023) – fabricante de ração	Modelo LSS adaptado ao setor de alimentação animal	VSM e solução estruturada de problemas	Propõe abordagem simplificada compatível com recursos do setor; reforça necessidade de adaptação contextual.
Fortes et al. (2024) – fábrica de rações	Fluxo, setups e capacidade produtiva	MFV, padronização, TRF/SMED, 5W2H	Capacidade reportada de 385 para 429,36 t/dia; oferece benchmark de melhoria dentro da UIR.
Presente estudo – geração e disponibilizaçã o de milho quebrado	Disponibilidad e de coproduto a montante da UIR	DMAIC, estratificação, matriz de oportunidades, 5W2H, teste com peneira de 5 mm	2,17% de fração recuperada no teste; solução principal em implantação; sem série pós- implantação consolidada.

4.7. Implicações Gerenciais

Do ponto de vista da Gestão de Operações, o caso evidencia que a disponibilidade de matéria-prima para a fábrica de ração pode ser condicionada por decisões tomadas a montante, particularmente no beneficiamento e na armazenagem. O fluxo de milho quebrado deve, portanto, ser tratado como cadeia interna fornecedor-cliente: a unidade de beneficiamento atua como fornecedora do coproduto e

a UIR como cliente interno, com requisitos de quantidade, qualidade, disponibilidade e regularidade.

Para completar a fase Control, recomenda-se estabelecer um plano de controle com indicadores operacionais e econômicos. Entre os indicadores mínimos estão: massa mensal de milho comercial processado (t); massa de milho quebrado recuperado (t); rendimento de recuperação (%); disponibilidade de armazenagem (t e % de ocupação); consumo mensal de quebrado pela UIR (t); aderência do abastecimento à programação (%); não conformidades de qualidade e presença de pragas; tempo de indisponibilidade dos equipamentos; e resultado econômico da substituição parcial do milho comercial. A adoção de cartas de controle para o rendimento de quebrado pode ser considerada após obtenção de número suficiente de observações e estabilidade do sistema de medição.

4.8. Qualidade, Armazenagem e Coerência Entre Volume e Conservação

A priorização da capacidade de produção e armazenagem precisa ser analisada em conjunto com as causas relacionadas à condição física das estruturas e à presença de pragas. A literatura técnica mostra que aumentar o volume de grãos ou frações armazenadas sem preservar condições de aeração, umidade, limpeza e controle de insetos pode ampliar o risco de deterioração (Embrapa, s.d.). No presente caso, portanto, a instalação da máquina de limpeza e as ações de 5S/tratamento não representam linhas independentes de melhoria: a primeira tende a atuar sobre geração e segregação; as demais atuam sobre a capacidade do sistema de conservar o material recuperado.

Esse encadeamento é ainda mais importante porque grãos quebrados apresentam maior área exposta e podem ser mais suscetíveis a deterioração e infestação. Chen et al. (2023) associam quebra a riscos de segregação, alterações do fluxo de ar e maior vulnerabilidade a insetos e fungos. Sone (2001) demonstra experimentalmente que umidade, insetos e material quebrado/estranho podem interagir na evolução de fungos durante o armazenamento. A implicação para o projeto é direta: a meta de disponibilidade não deve ser gerida isoladamente; a quantidade apta ao consumo pela UIR é mais relevante do que a quantidade simplesmente produzida ou estocada.

A comparação com a norma de classificação também adiciona precisão. Como a IN MAPA nº 60/2011 define grãos quebrados pela passagem em peneira de 5 mm e retenção em 3 mm, o teste realizado constitui evidência de separação por 5 mm, mas não demonstra sozinho a classificação oficial integral da fração. Essa limitação não reduz o valor do teste como piloto de processo, porém recomenda que futuras campanhas incluam peneiramento completo, quantificação de impurezas e matérias estranhas e critérios internos de aceitação para uso em ração. Dessa forma, a melhoria pode combinar produtividade com conformidade e rastreabilidade.

4.9. Plano de Controle Proposto e Indicadores para a Fase Control

A documentação analisada indica que a fase Control estava apenas parcialmente estabelecida. Para transformar o piloto em melhoria sustentada, propõe-se um plano de controle com indicadores que cubram quatro dimensões: entrada do processo, rendimento, qualidade/conservação e atendimento da UIR. Esse arranjo evita que

o acompanhamento fique limitado ao total mensal de milho quebrado e possibilita identificar se eventual desvio decorre de menor matéria-prima processada, queda de rendimento, indisponibilidade de equipamento, perda de qualidade ou alteração da demanda interna.

A frequência de acompanhamento deve refletir a natureza de cada variável. Massas de entrada e saída podem ser registradas por lote ou turno; disponibilidade do equipamento e eventos de parada, diariamente; ocupação de armazenagem, temperatura, umidade e presença de pragas, conforme rotina técnica da unidade; e indicadores consolidados de atendimento e resultado econômico, mensalmente. A definição exata dessas frequências depende da infraestrutura da cooperativa e deve ser validada pela equipe responsável, mas o princípio é manter capacidade de reação antes que o desvio se transforme em falta de produto ou perda de qualidade.

A análise estatística deve ser introduzida gradualmente. O percentual de 2,17% é um resultado pontual e não deve ser adotado como padrão de processo. A prioridade inicial é acumular observações comparáveis e verificar a repetibilidade da medição. Com base suficiente, podem ser calculadas média, desvio-padrão, amplitude e intervalos de confiança; posteriormente, cartas de controle podem apoiar a identificação de causas especiais. Essa sequência mantém coerência com o DMAIC: medir e compreender a variação antes de fixar limites ou declarar capacidade estabilizada.

Quadro 3. Plano de controle proposto para a continuidade da fase Control. Fonte: elaboração dos autores a partir do DMAIC e das limitações identificadas no estudo.

Indicador	Unidade	Frequência sugerida	Finalidade de controle
Milho comercial processado	t/lote ou t/dia	Por lote/diária	Normalizar a disponibilidade de matéria-prima que alimenta a geração da fração quebrada.
Milho quebrado recuperado	kg ou t	Por lote/diária	Quantificar a saída efetivamente segregada.
Rendimento de recuperação	%	Por lote	Relacionar massa recuperada à massa de entrada e acompanhar variabilidade.
Ocupação da armazenagem	t e %	Diária/semanal	Antecipar restrições de capacidade e risco de saturação.
Condições de conservação	temperatura, umidade, ocorrências	Conforme rotina técnica	Monitorar risco de deterioração, pragas e perda de qualidade.
Disponibilidade do equipamento	% e horas de parada	Diária/mensal	Identificar impacto de falhas e manutenção sobre a capacidade efetiva.
Atendimento à programação da UIR	%	Semanal/mensal	Verificar se a fração recuperada atende quantidade e regularidade requeridas pelo cliente interno.
Resultado econômico	R\$/t e R\$/mês	Mensal	Comparar custos de recuperação/armazenagem com benefícios efetivamente observados.

4.10. Implicações para Eficiência de Recursos e Melhoria Contínua

O aproveitamento estruturado do milho quebrado pode ser analisado como mecanismo de recuperação de valor interno, desde que o material atenda aos requisitos de uso e conservação. A literatura de Green Lean Six Sigma sugere que iniciativas de melhoria podem combinar eficiência e sustentabilidade quando reduzem desperdícios e evitam consumo desnecessário de recursos, mas McDermott et al. (2024) também mostram que o campo ainda necessita de evidências mais robustas. No presente estudo, portanto, não se atribuem reduções ambientais específicas. O que os dados permitem afirmar é que o projeto busca identificar e direcionar uma fração já existente no fluxo, evitando que sua gestão dependa apenas de decisões reativas.

Do ponto de vista gerencial, a maior contribuição é transformar o milho quebrado em objeto explícito de planejamento. Isso exige previsão de geração, capacidade de segregação, local de armazenagem, padrão de qualidade, programação de consumo e regras de priorização. Uma vez estruturadas essas informações, a UIR deixa de receber o coproduto de forma meramente contingencial e passa a tratá-lo como insumo com comportamento mensurável. Essa mudança é compatível com o princípio Lean de tornar o fluxo visível e reduzir variabilidade operacional por meio de padrões e gestão baseada em dados.

Também se evidencia a necessidade de aprendizagem organizacional. O projeto Green Belt criou uma estrutura inicial para definir o problema, testar solução e distribuir ações. A continuidade depende de incorporar o conhecimento gerado às rotinas de operação, manutenção e qualidade. Isso inclui registrar ajustes de

peneira, condição dos lotes, ocorrências de pragas, falhas de equipamentos e resultados de cada campanha. Com essa base, ciclos futuros de DMAIC podem partir de um nível de informação superior e testar novas hipóteses com menor dependência de percepções informais.

5. CONCLUSÃO

O estudo avaliou a aplicação da metodologia DMAIC em um problema de disponibilidade de milho quebrado destinado à produção de rações em uma cooperativa agroindustrial. A abordagem permitiu definir uma meta mensurável, mapear o fluxo, estratificar o problema, priorizar causas, comparar oportunidades de melhoria e realizar teste operacional.

As principais causas priorizadas foram baixa capacidade de armazenagem e produção de milho quebrado, condições inadequadas de armazenagem e presença de pragas. Entre as soluções, destacou-se a instalação de máquina de limpeza associada à balança de fluxo, além de ações de 5S e tratamento das estruturas. O teste com 1.820 kg de milho comercial resultou em 39,5 kg de milho quebrado, correspondentes a 2,17% da massa processada.

Os resultados sustentam a aplicabilidade do Lean Six Sigma em processos agroindustriais integrados. Em comparação com Fortes et al. (2024), que demonstraram ganhos de capacidade no interior de uma fábrica de ração por meio de MFV, padronização e TRF, o presente estudo evidencia que oportunidades Lean também existem a montante da fabricação, na gestão do fluxo de coprodutos entre beneficiamento, armazenagem e consumo industrial. A contribuição do caso está em tratar o milho quebrado como fluxo de

valor interno e em vincular sua disponibilidade a decisões de capacidade, conservação, segregação e processamento.

A principal limitação permanece a ausência de uma série pós-implantação estabilizada. Portanto, não se pode afirmar, com os dados disponíveis, que a meta de 340 t/mês tenha sido atingida nem quantificar um benefício econômico definitivo. A continuidade do estudo deve concentrar-se na fase Control, com repetição dos ensaios, análise da variabilidade entre lotes, acompanhamento da capacidade efetiva, comparação antes/depois e mensuração econômica da substituição de matéria-prima. Esse aprofundamento permitirá evoluir de um estudo de viabilidade operacional para uma avaliação quantitativa do desempenho Lean Six Sigma em escala industrial.

A ampliação da análise com literatura de armazenagem e com o Regulamento Técnico do Milho também permite qualificar a interpretação do teste. A peneira de 5 mm utilizada no piloto é compatível com uma das etapas da definição oficial de grãos quebrados, mas a ausência de registro da retenção em 3 mm impede equiparar automaticamente a fração recuperada à classificação regulamentar completa. Em futuros ensaios, a incorporação dessa etapa, juntamente com quantificação de impurezas e critérios de qualidade, aumentará a comparabilidade dos dados e a segurança na destinação do material.

A fase Control permanece como principal agenda de continuidade. A consolidação da melhoria requer série temporal pós-implantação, repetição do teste em diferentes lotes e condições, acompanhamento de qualidade durante a armazenagem e análise integrada de disponibilidade, rendimento e atendimento da fábrica

de rações. Somente essa base permitirá verificar se a solução se mantém estável, se a variabilidade é aceitável e se os benefícios operacionais superam os custos associados à segregação, armazenamento, manutenção e controle de pragas.

Em síntese, o caso demonstra que a utilidade do DMAIC não está em garantir antecipadamente o alcance da meta, mas em disciplinar a passagem de um problema percebido para um problema mensurável, analisado e controlável. O resultado científico mais robusto do estudo é a explicitação das relações entre fluxo, armazenagem, qualidade e disponibilidade de um coproduto interno. Ao preservar a distinção entre evidência observada, meta e projeção, o trabalho oferece uma base tecnicamente defensável para novos ciclos de melhoria e para futuras avaliações quantitativas em escala industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece o Regulamento Técnico do Milho. Brasília, DF: MAPA, 2011. Disponível em:

<https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?chave=1739574738&method=visualizarAtoPortalMapa>. Acesso em: 22 set. 2026.

CHEN, G.; YUAN, Y.; LIU, C.; LIU, W.; LU, J. Factors, harms, and control of corn kernel breakage: a review. *Annals of Food Processing and Preservation*, v. 7, n. 1, art. 1038, 2023. DOI: 10.47739/2573-1033.foodprocessing.1038.

COSTA, L. B. M.; GODINHO FILHO, M.; FREDENDALL, L. D.; GANGA, G. M. D. Lean, six sigma and lean six sigma in the food industry: a systematic literature review. Trends in Food Science & Technology, v. 82, p. 122-133, 2018. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.10.002.

DORA, M.; KUMAR, M.; VAN GOUBERGEN, D.; MOLNAR, A.; GELLYNCK, X. Lean Six Sigma implementation in a food processing SME: a case study. Quality and Reliability Engineering International, v. 31, n. 7, p. 1151-1159, 2015. DOI: 10.1002/qre.1852.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Pragas de grãos armazenados. Agência de Informação Tecnológica: milho, [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/colheita-e-pos-colheita/pragas-de-graos-armazenados>. Acesso em: 22 set. 2026.

FORTES, J. C.; COLPANI, G. L.; ZANELLA, C.; DALCANTON, F. Implementação de práticas Lean Manufacturing para otimização do processo produtivo de rações em uma agroindústria. Navus: Revista de Gestão e Tecnologia, v. 14, p. 1-26, 2024. DOI: 10.22279/navus.v14.2038.

LOPES, C. R.; CRUZ, J. E.; SANTOS, P. H. Estudos sobre Lean Manufacturing no agronegócio: uma revisão sistemática de literatura. Desafio Online, v. 13, n. 2, 2025. DOI: 10.55028/don.v13i2.19486.

MCDERMOTT, O.; MOLONEY, C.; NOONAN, J.; ROSA, A. Green Lean Six Sigma in the food industry: a systematic literature review. British Food Journal, v. 126, n. 13, p. 455-469, 2024. DOI: 10.1108/BFJ-01-2024-0100.

RIFQI, H.; BEN SOUDA, S.; ZAMMA, A.; BADDER, O. Lean Six Sigma in agribusiness: a case study in a cookie production plant. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, v. 69, n. 1, p. 56-65, 2021. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I1P209.

SAKUMOTO, S. M.; CHIROLI, D. M. de G.; DZULINSKI, A. C. Using Lean Six Sigma to Increase Efficiency of a Grain Receipt Process of a Brazilian Agroindustry Cooperative. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 12, n. 2, p. 214-226, 2019. DOI: 10.3844/ajeassp.2019.214.226.

SONE, J. Mold growth in maize storage as affected by compound factors: different levels of maize weevils, broken corn and foreign materials, and moisture contents. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, v. 4, n. 1, p. 17-21, 2001. DOI: 10.1016/S1226-8615(08)60096-5.

TRUBETSKAYA, A.; MCDERMOTT, O.; BROPHY, P. Implementing a customised Lean Six Sigma methodology at a compound animal feed manufacturer in Ireland. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 14, n. 5, p. 1075-1095, 2023. DOI: 10.1108/IJLSS-08-2022-0169.

¹ Eng. Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#); [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

² Eng. Mecânico, Doutorando em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) – Brasil. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#); [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

