

**Análise do processo de ensacamento de cimento: um estudo de caso com
foco na redução de desvios de peso e perdas operacionais**

Nayara Expedita Gomes

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

e-mail: nayara.gomes.101@ufrn.edu.br

Jéssica Maria Damião de Arruda Câmara

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

e-mail: jessicacamara.eq@gmail.com

* RECEBIDO em 13/03/2026. ACEITO em 17/08/2026.

Resumo

O presente estudo analisa os desvios médios de peso do cimento ensacado em uma indústria do Rio Grande do Norte, com foco na identificação de discrepâncias em relação à legislação vigente. Trata-se de um estudo de caso aplicado, com abordagem qualitativa-quantitativa, fundamentado no ciclo PDCA e no uso de ferramentas da qualidade, como Curva de Gauss, Diagrama de Ishikawa e Matriz GUT. O diagnóstico inicial, baseado em dados de 2025, revelou que o peso médio das embalagens excedia o limite normativo estabelecido pela ABNT NBR 16697:2018, gerando perdas financeiras significativas. A partir desse diagnóstico, foi elaborado e implementado um plano de ação no setor produtivo. Após sua execução, verificou-se redução expressiva dos desvios médios, com valores dentro do limite normativo e melhoria do desempenho operacional. Contudo, a elevada variabilidade do processo indica oportunidades adicionais de melhoria contínua e monitoramento sistemático para garantir a sustentabilidade dos resultados alcançados.

Palavras-chave: Indústria do cimento; Ferramentas da qualidade; Melhoria contínua; PDCA.

Abstract

This study analyzes the average weight deviations of bagged cement in an industry in Rio Grande do Norte, focusing on identifying discrepancies in relation to current legislation. It is an applied case study, with a qualitative-quantitative approach, based on the PDCA cycle and the use of quality tools such as the Gaussian Curve, Ishikawa Diagram, and GUT Matrix. The initial diagnosis, based on 2025 data, revealed that the average weight of the packaging exceeded the normative limit established by ABNT NBR 16697:2018, generating significant financial losses. Based on this diagnosis, an action plan was developed and implemented in the production sector. After its execution, a significant reduction in average deviations was observed, with values within the normative limit and improved operational performance. However, the high variability of the process indicates additional opportunities for continuous improvement and systematic monitoring to ensure the sustainability of the results achieved.

Keywords: Cement industry; Quality tools; Continuous improvement; PDCA.

1. Introdução.

O cimento é definido tecnicamente como um material hidráulico aglomerante, capaz de endurecer tanto ao ar quanto sob a água. Sua produção advém de uma atividade industrial complexa e integrada, que se inicia na lavra e no beneficiamento de matérias-primas como calcário e argila, seguido pelas etapas de britagem, moagem e homogeneização da mistura crua, denominada “farinha”. Em seguida, essa mistura é submetida a elevadas temperaturas em fornos rotativos para a formação do clínquer, que posteriormente é resfriado, moído e aditivado com materiais como gesso, calcário, escória e pozolanas, originando o cimento comercializado (Oliveira et al., 2019; Zajac et al., 2022).

Dada a complexidade e a abrangência do processo produtivo, a indústria do cimento desempenha papel fundamental no desenvolvimento da infraestrutura nacional. Conforme dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2025), o setor possui um parque produtor composto por 94 unidades fabris distribuídos em 23 estados brasileiros, sendo três delas localizadas no estado do Rio Grande do Norte. Nesse cenário, o Brasil figura consistentemente entre os dez maiores produtores e consumidores globais de cimento, tendo alcançado a marca de 67,3 milhões de toneladas produzidas em 2025. Para além da expressiva capacidade produtiva, o setor apresenta relevante papel socioeconômico, sendo responsável pela geração de mais de 21 mil empregos diretos no último ano e pelo fomento de cadeias produtivas extensas.

Diante desse cenário competitivo e de relevância estratégica, a gestão da qualidade assume papel central nessas organizações. Historicamente, o conceito de qualidade estava associado à capacidade de um produto apresentar características e desempenhos que atendessem às necessidades dos consumidores (UENO, 2025). Contudo, frente ao aumento da competitividade e às crescentes exigências do mercado, essa abordagem torna-se insuficiente. Assim, a qualidade passa a ser compreendida como o equilíbrio entre o atendimento rigoroso aos requisitos do consumidor e a otimização da relação custo-benefício. Sob essa perspectiva, o controle estatístico de processos e a redução de perdas produtivas configuram-se como ferramentas essenciais para a manutenção da eficiência operacional e da sustentabilidade econômica das empresas (Gallegos, 2023).

Diante dessa conjuntura, uma das variáveis críticas do controle da qualidade na indústria cimenteira é a precisão do peso do produto ensacado. No Brasil, o padrão estabelecido para a comercialização do cimento Portland é de 50 kg por unidade (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2018). Desvios positivos em relação a esse valor, caracterizados pelo sobrepeso nas embalagens, implicam a entrega de material excedente sem a devida contrapartida financeira. Por outro lado, desvios negativos podem resultar em não conformidades legais e normativas, além de comprometer a satisfação dos clientes e a credibilidade da marca no mercado (Abrão; Cardoso, 2020). Em escala industrial, considerando a produção de milhões de sacos, esses desvios podem resultar em impactos econômicos e operacionais significativos e invisíveis à gestão se não forem devidamente controlados.

Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar os desvios médios do peso do cimento ensacado em uma unidade fabril localizada no Rio Grande do Norte, com ênfase na identificação de discrepâncias em relação ao exigido pela legislação vigente para o peso nominal das embalagens. Para tanto, serão compilados e analisados os dados mensais referentes ao ano de 2025. A partir desse diagnóstico, foram empregadas ferramentas da qualidade amplamente reconhecidas, tais como a Curva de Gauss, Diagrama de Ishikawa, a Matriz GUT e o 5W1H. Essas ferramentas foram utilizadas com o propósito de evidenciar a dispersão dos dados em torno da média e sua relação com os limites de especificação, identificar as causas do problema, priorizá-las e estruturar ações de melhoria. A escolha dessas abordagens fundamenta-se em sua adequação à realidade organizacional observada, visando à melhoria do processo.

2. Revisão de literatura.

Nesta seção são abordados os aspectos conceituais do cimento Portland e da gestão da qualidade como fator estratégico da melhoria contínua e sustentabilidade econômica e operacional.

2.1. Cimento portland: aspectos técnicos e normativos.

O cimento Portland constitui o principal insumo da construção civil, sendo amplamente empregado na produção de concretos e argamassas, devido à sua capacidade de desenvolver resistência mecânica e durabilidade a partir de reações de hidratação. Sua composição é predominantemente baseada no clínquer, acrescido de adições minerais que influenciam diretamente suas propriedades físicas e químicas (Oliveira et al., 2019; Almeida Pachú; Fontgalland, 2021). Historicamente, o material foi patenteado em 1824 pelo inglês Joseph Aspdin. No Brasil, sua atividade industrial teve início no final do século XIX, com a implantação da primeira unidade fabril em Sorocaba (SP) e o lançamento do produto nacional em 1897 (Feitosa, 1982).

Atualmente, a classificação e os requisitos do cimento Portland no Brasil (tipos CP I a CP V) são regidos pela Norma Brasileira ABNT NBR 16697:2018 (ABNT, 2018), que estabelece os critérios técnicos conforme as adições de escória, pozolana ou materiais carbonáticos. No que tange aos aspectos metrológicos de comercialização, a norma estabelece que o erro individual tolerado é de $\pm 1\%$ em relação ao conteúdo nominal. Dessa forma, para uma unidade de massa nominal de 50 kg, admite-se uma variação máxima de 500 g, para mais ou para menos. Esse limite tem como objetivo assegurar a conformidade do produto tanto do ponto de vista do consumidor quanto da indústria, evitando prejuízos decorrentes de subpeso ou sobrepeso.

2.2. Gestão da qualidade.

A evolução do conceito de qualidade evidencia a transição de uma abordagem centrada na inspeção do produto final para uma perspectiva estratégica integrada aos processos organizacionais. Segundo Carvalho e Sousa (2021) a qualidade moderna não se restringe à conformidade técnica, mas abrange também a otimização de recursos e a geração de valor. Nesse contexto, a gestão da qualidade atua de forma sistêmica: não apenas assegura a integridade do produto, mas potencializa a eficiência dos processos e a confiabilidade dos ativos. Como consequência, a redução de paradas não programadas e a preservação dos equipamentos tornam-se vetores de competitividade, refletindo diretamente na redução dos custos operacionais (Marshall Junior et al., 2021).

Sob a ótica clássica da qualidade, autores como Deming (1990) e Juran (1989) estabeleceram que a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade. Contudo, é fundamental reconhecer que todo sistema produtivo possui uma variabilidade inerente, decorrentes de causas naturais ou aleatórias (Thoaldo, 2023). Nesse sentido, a identificação e o tratamento dessas variações, sejam de origem interna ou externa, constituem o cerne da melhoria contínua, sendo indispensáveis para a obtenção de resultados com elevados níveis de confiabilidade e previsibilidade (Garcia, 2021).

Para viabilizar o monitoramento sistemático e o tratamento dessas variabilidades, a literatura recomenda o emprego de ferramentas da qualidade. Entre estas, destaca-se o Gráfico de Distribuição Normal, ou Curva de Gauss, utilizado para descrever o comportamento de variáveis contínuas e evidenciar a dispersão dos dados em torno de uma média central. Segundo Costa (2020), a distribuição normal constitui a base para o controle estatístico de processos, visto que permite calcular a probabilidade de ocorrência de valores fora dos limites de especificação e avaliar a estabilidade do sistema produtivo.

Sob essa perspectiva, a identificação do comportamento dos dados por meio da Curva de Gauss demanda uma investigação aprofundada acerca de suas origens. Para tanto, aplica-se o Diagrama de Ishikawa, ferramenta que, segundo Werkema (2021), é essencial na identificação das causas-raiz ao segmentar as variáveis influenciadoras do processo no método 6M (método, máquina, medida, meio ambiente, mão de obra e material).

De forma complementar, a Matriz de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT) é empregada para a priorização das causas identificadas. Essa ferramenta avalia cada variável sob três dimensões: a Gravidade refere-se ao impacto do problema e aos prejuízos associados; a Urgência relaciona-se ao tempo disponível para sua resolução; e a Tendência diz respeito à evolução do problema ao longo do tempo, caso nenhuma ação corretiva seja implementada (Inácio et al., 2023). O produto desses fatores resulta em um ranking de prioridades, no qual as pontuações mais elevadas indicam as causas que demandam intervenção imediata.

Sequencialmente, o plano de ação 5W1H estrutura a execução sistemática e a atribuição de responsabilidades para as ações corretivas (Knop; Mielczarek, 2018; Carvalho; Castro, 2020). A

aplicação integrada dessas abordagens fundamenta a transição de uma postura reativa para uma gestão proativa, orientada à estabilidade e ao controle dos processos.

2.3. Sustentabilidade econômica e eficiência operacional.

Um dos pilares fundamentais da gestão estratégica moderna reside na análise dos Custos da Qualidade (COQ – *Costs of Quality*). A origem desse conceito remonta a Joseph Juran que, em 1951, por meio da obra *Quality Control Handbook*, estabeleceu que a saúde financeira de uma organização está diretamente ligada ao controle dos custos necessários para assegurar a conformidade dos produtos e processos (Juran, 1974). Sob essa perspectiva, a qualidade deixa de ser apenas um atributo técnico e passa a ser compreendida como um fator determinante para a viabilidade econômica do negócio.

Nesse contexto, os custos da qualidade são compostos por quatro categorias distintas, classificadas conforme sua natureza e momento de ocorrência. A primeira delas refere-se aos custos de prevenção, que correspondem aos investimentos em planejamento, treinamentos e manutenção do sistema de gestão para mitigar a ocorrência de falhas e erros antes de sua concepção. De forma complementar, os custos de avaliação referem-se aos gastos com medições, inspeções laboratoriais, calibração de equipamentos e auditorias, visando verificar o grau de conformidade do produto aos requisitos pré-estabelecidos. Por sua vez, os custos de falhas internas estão associados às ineficiências identificadas ainda no ambiente produtivo, antes da entrega ao cliente, manifestando-se principalmente por meio de desperdícios de insumos e matérias-primas. Por fim, os custos de falhas externas englobam os ônus que surgem após a entrega do produto ao consumidor final, tais como devoluções, multas contratuais e a degradação da reputação da marca (Juran, 1974; Rehacek, 2018).

Sob essa ótica, a distinção entre falhas internas e externas é essencial para o direcionamento estratégico das organizações. Enquanto os custos de falhas externas refletem o nível de satisfação do cliente e a aceitação do produto no mercado, os custos de falhas internas configuram-se como um importante indicador da eficiência operacional, evidenciando perdas produtivas e oportunidades de melhoria nos processos (Berk; Berk, 1997). Paralelamente a isso, a análise integrada desses custos permite uma compreensão mais ampla do desempenho organizacional, uma vez que suas variações ao longo do tempo podem indicar tanto fragilidades estruturais no sistema produtivo quanto limitações na eficácia dos mecanismos de controle e prevenção da qualidade (Barakat; Ellassimi, 2025). Dessa forma, sua gestão não se restringe à identificação de perdas, mas se estende ao suporte à tomada de decisão e ao aprimoramento contínuo dos processos.

3. Metodologia.

A estruturação deste estudo fundamenta-se nos critérios de classificação propostos por Ganga (2017), que subdivide a pesquisa sob as perspectivas da natureza, dos objetivos, da abordagem e do método. Quanto ao propósito, trata-se de uma pesquisa aplicada, uma vez que busca gerar conhecimentos direcionados à solução de um problema prático: desvios no peso do cimento ensacado. No que tange aos objetivos, a investigação assume caráter descritivo e explicativo; sendo descritiva ao quantificar e tabular os desvios de peso, e explicativo ao empregar o Diagrama de Ishikawa para identificar os fatores determinantes do fenômeno.

No que concerne à abordagem do problema, o estudo classifica-se como misto, integrando métodos quantitativos e qualitativos. A vertente quantitativa evidencia-se na coleta e no tratamento estatístico dos dados de pesagem, bem como na mensuração do impacto econômico associado. Por sua vez, a dimensão qualitativa fundamenta-se na análise das causas-raiz e na interpretação dos processos operacionais da unidade. Como método, adota-se o estudo de caso, aplicado a uma unidade fabril localizada no estado do Rio Grande do Norte.

A condução da pesquisa é orientada pela sistemática do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), com abrangência delimitada às três primeiras etapas (*Plan*, *Do* e *Check*). Segundo Werkema (2021), essa abordagem contempla o planejamento, a análise das causas, a execução de ações e o monitoramento dos resultados, fornecendo suporte metodológico à melhoria contínua do processo produtivo analisado. Ressalta-se que a etapa de Padronização e Ação Corretiva (*Act*) não foi contemplada no escopo temporal deste estudo, uma vez que parte das contramedidas do plano 5W1H ainda se encontrava em fase de

consolidação e execução operacional na fábrica durante o período de realização da pesquisa. Nesse contexto, a Figura 1 apresenta o fluxo metodológico estruturado em cinco etapas sequenciais.

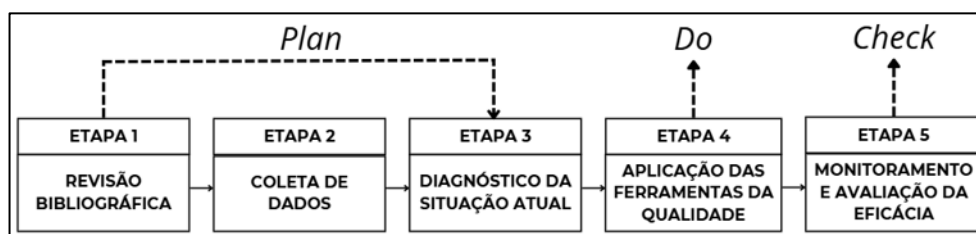


Figura 1 – Fluxo da pesquisa. Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Inicialmente, realizou-se a revisão bibliográfica em bases acadêmicas, com foco em gestão da qualidade e controle de perdas, a fim de fornecer o embasamento teórico necessário para a análise do problema. Na sequência, a segunda etapa compreendeu a coleta de dados primários, consistindo no levantamento dos desvios médios mensais do peso do cimento ensacado referentes ao ano de 2025. Esses dados foram extraídos dos relatórios gerados pelo *Checkweigher*, equipamento de pesagem dinâmica instalado na linha de produção que realiza a pesagem e a contagem automática dos sacos processados. O dispositivo monitora o fluxo de produção em tempo real e consolida os registros em relatórios, fornecendo as médias de peso diário, que serviram de base para a análise estatística deste estudo.

Para a terceira etapa, utilizou-se a Curva de Gauss para validar o comportamento do processo. A partir deste diagnóstico, realizou-se a análise do impacto econômico do sobrepeso, na qual a quantidade de cimento excedente foi quantificada em toneladas e, posteriormente, convertida em impacto financeiro sobre a receita da unidade. Na Etapa 4, procedeu-se à aplicação das ferramentas da qualidade. Para a identificação das causas do sobrepeso, elaborou-se o Diagrama de Ishikawa, cuja construção pressupõe a realização de um *brainstorming* envolvendo a equipe operacional da unidade, composta por 5 integrantes.

A seleção dos participantes adotou como critérios de inclusão: (a) atuação direta na linha de ensacamento há pelo menos 1 ano; (b) domínio técnico operacional das rotinas e equipamentos; e (c) representatividade de diferentes níveis hierárquicos. Dessa forma, a equipe foi composta por: 2 operadores de ensacadeira, 1 operador de painel central, 1 supervisor de manutenção e 1 supervisor de produção. A complementaridade desses perfis permitiu uma visão holística sob a ótica dos 6M. A sessão teve duração de 2 horas, utilizando a técnica de associação livre de ideias seguida pela consolidação e eliminação de duplicidades por consenso do grupo.

Considerando que a base de dados disponível na organização não apresentava registros históricos de ocorrências individuais que viabilizassem a aplicação do Diagrama de Pareto, empregou-se a Matriz GUT. Segundo Caxito e Gonçalves (2021), essa ferramenta é essencial para a priorização de causas com base no julgamento de especialistas quando dados estatísticos de frequência são insuficientes. A atribuição das pontuações na Matriz GUT foi conduzida logo após o término do *brainstorming*, com o mesmo grupo multidisciplinar.

Para cada causa mapeada no Diagrama de Ishikawa, os participantes atribuíram notas de 1 a 5 para os critérios de Gravidade (G), Urgência (U) e Tendência (T), pautando-se na escala ordinal de valoração proposta por Trucolo et al. (2016). Segundo essa diretriz, a pontuação segue uma gradação crescente em que a nota 1 representa o menor grau de impacto (sem gravidade, pode esperar, não irá mudar) e a nota 5 representa o nível máximo de criticidade (extremamente grave, necessita de atenção imediata, irá piorar rapidamente). A pontuação final de cada critério foi estabelecida pela média das notas atribuídas individualmente, e o produto dos fatores ($G \times U \times T$) gerou o índice de priorização das causas.

Como desdobramento, as causas prioritárias serviram de base para a elaboração de um plano de ação estruturado por meio da ferramenta 5W1H, que visa definir responsabilidades e métodos de execução das contramedidas (Werkema, 2021). Por fim, a Etapa 5 contemplou a fase de verificação (*Check*) do ciclo PDCA, englobando a implementação inicial das ações propostas e o monitoramento dos novos indicadores para avaliar a eficácia preliminar das intervenções. Para a consolidação dessa análise, realizou-se uma nova coleta de dados entre janeiro e maio de 2026 via relatórios gerados pelo

equipamento *Checkweigher*, permitindo mensurar os ganhos obtidos até o estágio atual de implantação do plano de ação.

4. Resultados.

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação do ciclo PDCA. Inicialmente, a fase de Planejamento (*Plan*) engloba o levantamento bibliográfico, a coleta de dados e o diagnóstico da situação atual. Na sequência, a Execução (*Do*) detalha a aplicação das ferramentas da qualidade utilizadas. Por fim, a Verificação (*Check*) consolida o monitoramento e a avaliação da eficácia das ações.

4.1. Caracterização da unidade industrial.

A pesquisa foi desenvolvida em uma unidade fabril de médio porte do setor cimenteiro, localizada no estado do Rio Grande do Norte. O início das operações industriais ocorreu em 2016, voltado primariamente à moagem de cimento a partir de insumos adquiridos externamente. Contudo, em 2024, o grupo ampliou sua estrutura produtiva com a implantação de uma segunda filial dedicada à clínquerização representando um avanço estratégico no processo de verticalização da cadeia produtiva, com potencial para redução de custos operacionais e maior controle sobre a cadeia de suprimentos.

A unidade analisada destina sua produção ao Cimento Portland CP IV-32, registrando no ano de 2025 um volume de produção de 128 mil toneladas de cimento. Sob a perspectiva do processo produtivo, a cadeia de fabricação do cimento compreende, de forma geral, as etapas de mineração, britagem, moagem do cru, clínquerização, moagem de cimento, ensacamento e expedição. O escopo operacional da unidade analisada concentra-se nas etapas finais dessa cadeia, nas quais o clínquer, proveniente da unidade de clínquerização do grupo, é combinado aos demais constituintes do cimento. Essa mistura é submetida ao processo de moagem em um moinho de bolas de duas câmaras, equipado com corpos moedores de diferentes diâmetros, com o objetivo de otimizar a eficiência energética e assegurar o controle da finura do produto. Após a moagem, o cimento é transportado pneumáticamente para um silo de armazenamento com capacidade nominal de 2,2 mil toneladas.

O cimento armazenado no silo é encaminhado a uma linha automática de ensacamento para o acondicionamento em sacos de 50 kg. Integrado a essa linha, encontra-se um sistema de pesagem dinâmica (*checkweigher*), responsável pelo monitoramento e registro dos dados de peso em tempo real. Na sequência, a linha dispõe de uma paletizadora automática para a formação e organização das cargas, viabilizando as operações de armazenagem e expedição.

4.2. Levantamento e sistematização dos dados.

O corpus da pesquisa compreendeu um universo de 255 observações, correspondentes às médias diárias apuradas ao longo do ano de 2025. Após o tratamento estatístico dos dados brutos, os valores foram convertidos na métrica de desvio médio e estratificados mensalmente para permitir a observação temporal, conforme Figura 2.

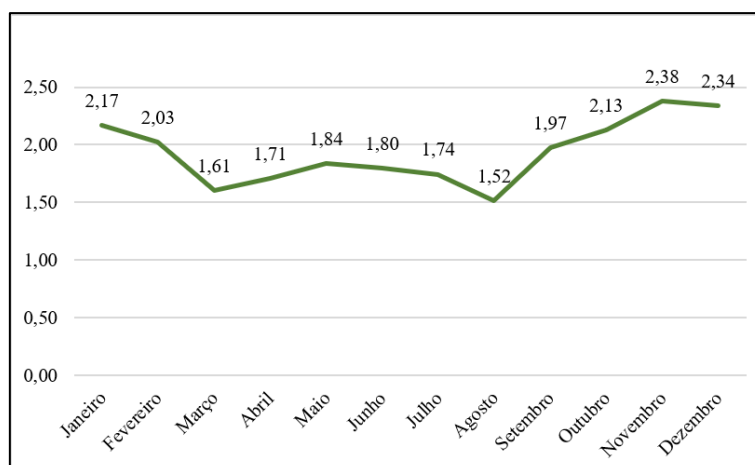


Figura 2 – Desvio médio mensal do peso do cimento ensacado. Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

A análise revela uma instabilidade ao longo de todo período analisado. Com picos críticos de desvio nos meses de novembro e dezembro, a média anual de sobrepeso atingiu 1,94% por saco, o que representa um desvio aproximadamente duas vezes superior ao limite estabelecido pela norma vigente. Sob a ótica da gestão da qualidade, essa variabilidade excessiva configura uma falha interna crítica; embora o sobrepeso não comprometa a satisfação do cliente, ele representa uma ineficiência produtiva que impacta diretamente a rentabilidade do negócio (Domingues et al., 2024).

4.3. Diagnóstico da situação atual e impacto do sobrepeso.

Em conformidade com os critérios estabelecidos pela NBR 16697 (ABNT, 2018), que regulamenta os requisitos para o cimento Portland, adotou-se como parâmetro de conformidade o limite de tolerância de $\pm 1\%$ sobre o peso nominal de 50 kg. Para a caracterização do cenário atual e validação do comportamento do processo frente a esses limites, os dados foram processados no software Minitab®. Por meio dessa ferramenta, projetou-se o gráfico de distribuição normal, apresentado na Figura 3, que permite visualizar a dispersão amostral e o grau de deslocamento da média em relação ao alvo estabelecido.

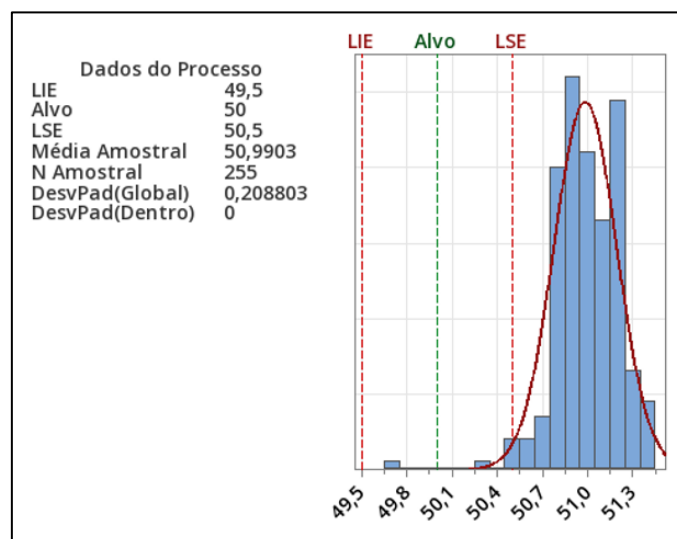


Figura 3 – Gráfico de distribuição normal do cenário atual. Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

A análise do comportamento distributivo dos dados revela que a média amostral de 50,99 kg excede substancialmente tanto o valor nominal quanto o Limite Superior de Especificação (LSE = 50,5

kg), indicando tendência sistemática de sobrepeso no processo de ensacamento. Embora a dispersão dos dados seja relativamente reduzida, representada pelo desvio-padrão global de 0,2088 kg, nota-se que a centralização do processo se encontra deslocada em relação ao alvo especificado. Nesse contexto, Gomes e Figueiredo (2020) adverte que a estabilidade estatística não assegura, por si só, a aceitabilidade do processo. É imperativo que a distribuição esteja centrada para minimizar a geração de itens fora das especificações e otimizar a performance operacional.

Essa configuração, marcada por um deslocamento das médias acima do valor nominal, sugere um ajuste operacional deliberado para mitigar os riscos de subpeso. Essa prática, comum em sistemas de envase, é frequentemente adotada para atender aos critérios de conformidade legal vinculados ao Limite Inferior de Especificação (LIE). Contudo, sob a perspectiva de Juran (1974), essa prática transmuta-se em um desperdício oculto. Ao deslocar o processo para valores superiores ao alvo, o processo incorre em um aumento injustificado no consumo de insumos, o que, segundo a Função Perda de Taguchi, impõe prejuízos financeiros diretos à organização sem proporcionar qualquer incremento na percepção de valor pelo cliente final (Marshall Junior, 2021).

Após a identificação do comportamento do processo, procedeu-se à quantificação do impacto econômico decorrente dos desvios. Para tanto, comparou-se o faturamento projetado, baseado no peso nominal do produto, com o faturamento que incorpora o sobrepeso. Para o cálculo, foram utilizados a quantidade expedida em cada mês, cujos resultados financeiros encontram-se consolidados na Figura 4.

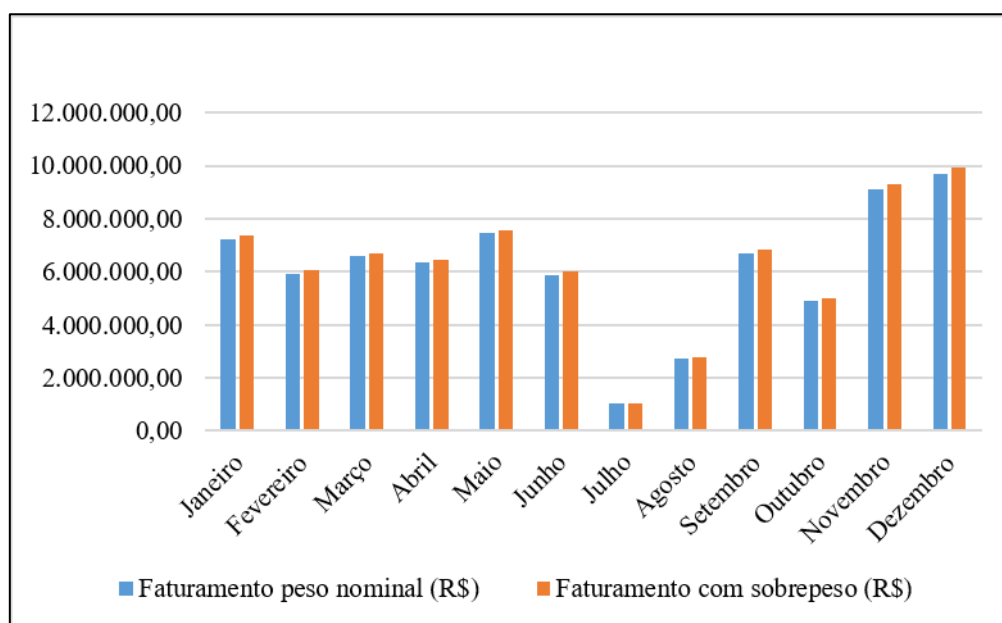


Figura 4 – Gráfico comparativo do faturamento de 2025. Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

A análise comparativa revela que, ao longo do exercício de 2025, o impacto financeiro acumulado atingiu valores expressivos, com destaque para os meses de novembro e dezembro, cujas perdas superaram, respectivamente, R\$ 216 mil e R\$ 226 mil. Observa-se que o aumento no volume de produção e, conseqüentemente, de expedição no último trimestre potencializou as perdas financeiras, evidenciando que a ausência de controle estatístico adequado tende a escalar proporcionalmente ao nível de atividade fabril.

Sob a ótica da gestão de custos, essa discrepância financeira — tecnicamente classificada como custo da não qualidade —, reflete uma ineficiência intrínseca ao processo produtivo (Scariot et al., 2020). Em períodos de alta demanda, como o mês de dezembro, no qual o faturamento associado ao sobrepeso ultrapassou a marca de R\$ 9,9 milhões, a diferença de aproximadamente R\$ 227 mil deixou de compor a margem líquida da unidade, sendo absorvida como perda decorrente do consumo excessivo de insumos.

Dessa forma, os resultados evidenciam que o sobrepeso não se configura apenas como um desvio metrológico, mas um dreno financeiro contínuo que compromete o fluxo de caixa e a

competitividade organizacional. A magnitude dos valores observados reforça a necessidade de intervenções no processo produtivo, uma vez que a convergência dos desvios aos limites normativos pode proporcionar ganhos diretos de lucratividade, sem a necessidade de ampliação do volume de vendas.

4.4. Análise das causas e priorização de ações.

Diante a necessidade de mitigar as instabilidades identificadas e reconduzir o processo aos parâmetros normativos, procedeu-se à investigação das causas raiz que influenciam o sobrepeso no processo de ensaque do cimento. Para tanto adotou-se inicialmente o Diagrama de Ishikawa. Esta etapa colaborativa, composta por operadores e supervisores, mostrou-se fundamental para a identificação das possíveis causas sob a perspectiva das seis dimensões do método 6M, conforme apresentado na Figura 5.

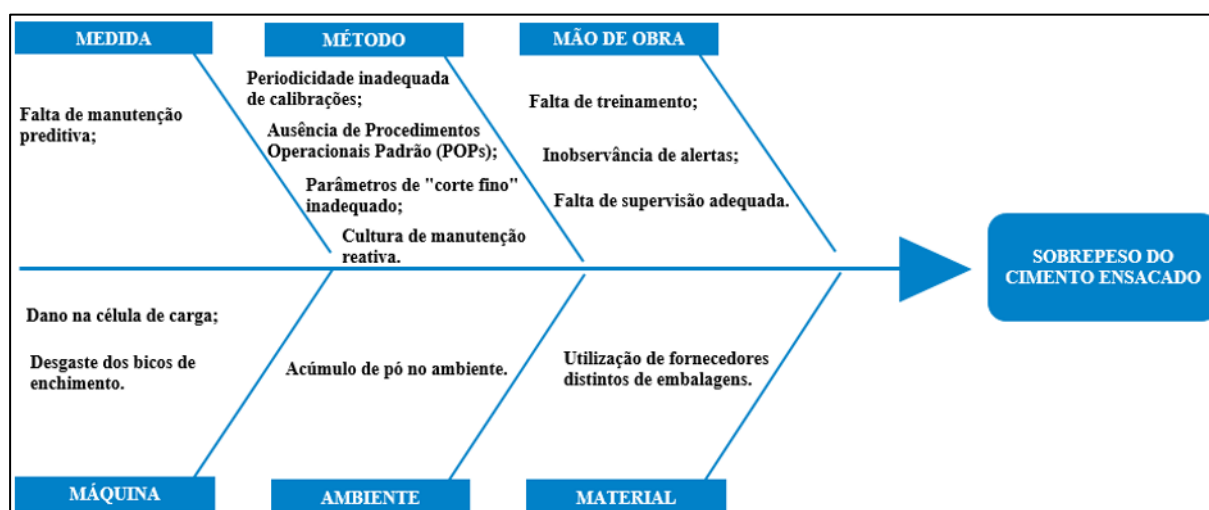


Figura 5 – Diagrama de Ishikawa. Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

No campo Medida, a falta de manutenção preditiva impede o monitoramento de tendências de desgaste nos instrumentos de pesagem antes da manifestação do erro. Conforme Formigoni et al., (2024), a ausência de uma abordagem baseada na condição do ativo resulta em falhas detectadas apenas após o impacto na qualidade do produto, o que, no processo de ensaque, reflete-se na incapacidade de mitigar o sobrepeso em tempo real. De forma correlata, no eixo Método, a periodicidade inadequada das calibrações conduz a aferições em intervalos excessivamente longos, favorecendo o acúmulo de desvios metrológicos e comprometendo, progressivamente, a precisão das pesagens.

A ausência de Procedimentos Operacionais Padrão (POP) e a prevalência de uma cultura de manutenção reativa estabelecem um cenário de instabilidade. Sem protocolos rígidos de ajuste, as intervenções no sistema ocorrem apenas após quebras ou desvios críticos, impossibilitando o controle preventivo. A padronização é o alicerce da estabilidade, e sua negligência permite que a variabilidade se torne a norma do processo. Nesse sentido, a parametrização inadequada do corte fino associa-se diretamente ao ajuste do sistema de automação e ao tempo de resposta do enchimento. A carência de uma regulagem precisa impede a interrupção do fluxo de material no ponto exato do peso alvo (50 kg), tornando indispensável o reajuste do Controlador Lógico Programável (CLP) para gerenciar a massa em queda livre.

No eixo Mão de Obra, conforme destacado por Nascimento (2024), o treinamento é um processo sistemático de desenvolvimento de competências com impacto direto na eficiência organizacional. Lacunas no treinamento técnico contribuem para variações operacionais, visto que a ausência de padronização faz com que diferentes operadores conduzam o processo de formas distintas. Complementarmente, a inobservância de alertas e a escassez de supervisão adequada retardam a resposta a anomalias. Quando o sistema sinaliza um erro de pesagem sem a devida correção imediata, o processo permanece operando fora dos limites de especificação.

Quanto ao eixo Máquina, o dano na célula de carga configura-se como uma causa por ser o elemento sensor central da medição de massa. Um componente danificado por fadiga ou impacto envia sinais elétricos inconsistentes ao CLP, gerando leituras de peso inferiores à real e induzindo o sistema a injetar cimento excedente. Paralelamente, o desgaste dos bicos de enchimento, causa de natureza mecânica decorrente da abrasão pelo fluxo contínuo de material, altera a vazão e compromete o estancamento das válvulas. Tal condição favorece vazamentos residuais que elevam o peso final das embalagens, reiterando a necessidade de manutenções preventivas periódicas.

No que se refere ao Ambiente, o acúmulo de pó configura-se como um fator agravante ao interferir na sensibilidade de sensores e mecanismos de controle. Embora não seja uma causa primária isolada, essa condição potencializa falhas no desempenho do corte fino. Por fim, no eixo Material, os relatos obtidos junto à equipe operacional sugerem a utilização de dois fornecedores distintos de embalagens como um fator relevante. Diferenças relacionadas à gramatura, às dimensões e à permeabilidade das embalagens podem influenciar a dinâmica de enchimento, bem como a acomodação do cimento no interior dos sacos.

Assim sendo, diante da multiplicidade de causas levantadas e da necessidade de otimizar a alocação de recursos para a correção dos gargalos, procedeu-se à aplicação da Matriz GUT conforme o procedimento descrito na seção metodológica. O ranking de prioridades obtido a partir da multiplicação dos fatores ($G \times U \times T$) é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Aplicação da matriz GUT.

MATRIZ GUT		G	U	T	(G×U×T)	Ranking
MÉTODO	Periodicidade inadequada de calibrações.	5	5	5	125	1º
	Ausência de POP's.	4	4	4	64	7º
	Parâmetros de “corte fino” inadequado.	5	5	5	125	3º
	Cultura de manutenção reativa.	5	3	5	75	6º
MÁQUINA	Desgaste dos bicos de enchimento.	5	5	5	125	2º
	Dano na célula de carga.	4	4	3	48	8º
MEDIDA	Falta de manutenção preditiva.	2	3	2	12	10º
MÃO DE OBRA	Falta de treinamento.	5	4	4	80	5º
	Inobservância de alertas.	3	2	2	12	11º
	Falta de supervisão adequada.	3	2	3	18	9º
MATERIAL	Utilização de fornecedores distintos de embalagens.	2	2	2	8	12º
MEIO AMBIENTE	Acúmulo de pó no ambiente.	5	5	4	100	4º

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Ao analisar os resultados do Quadro 1, observa-se que cinco fatores se destacaram com as maiores pontuações: a periodicidade inadequada de calibrações, o desgaste dos bicos de enchimento, a parametrização incorreta do corte fino, o acúmulo de pó no ambiente e a carência de treinamento técnico. Essa convergência de causas evidencia que a imprecisão no processo de ensaue não decorre de uma falha isolada, mas de um conjunto de variáveis técnicas e operacionais que atuam de forma simultânea.

Em estudos voltados a excelência operacional e à redução de desperdícios na indústria, destaca-se que a manutenção da integridade dos ativos e a padronização de parâmetros críticos constituem pilares fundamentais para a competitividade (Karim, 2025; El Affaki; Benhadou; Haddout, 2025). Sob essa perspectiva, o cenário analisado demanda uma abordagem sistêmica, contemplando tanto intervenções mecânicas nos equipamentos quanto ações voltadas à capacitação operacional.

4.5. Proposição do plano de intervenção (5W1H).

Diante do diagnóstico quantitativo fornecido pela Matriz GUT, estruturou-se um plano de intervenção a partir da pontuação 80. A metodologia adotada para o desdobramento das ações foi o 5W1H, que se baseia em uma estrutura de questionamentos diretivos — *What, Why, Where, Who, When, How* — com o objetivo de conferir clareza, organização e controle à execução das ações propostas (Inácio et al., 2023). Essa abordagem assegura que cada ação corretiva possua responsáveis, métodos e prazos claramente definidos, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Plano de ação (5W1H).

WHAT	WHY	WHERE	WHO	WHEN	HOW
Calibrar balança de pesagem.	Para garantir a precisão das pesagens.	Balança <i>Checkweigher</i> .	Equipe de manutenção.	Semanal	Seguir o POP de calibração.
Realizar manutenção nos bicos de enchimento.	Para evitar o gotejamento residual após o fechamento da válvula.	Bicos na ensacadeira.	Equipe de manutenção.	Próxima parada programada.	Realizar o reparo ou substituição por bicos novos.
Parametrizar “corte fino”.	Para assegurar que o enchimento cesse ao atingir o peso alvo (50kg).	Painel de controle.	Técnico de automação.	Mensalmente.	Ajustar o tempo de resposta do CLP.
Implementar rotina de limpeza.	Para evitar que o acúmulo de pó interfira na sensibilidade dos sensores.	Área de ensaue.	Equipe de manutenção.	Diário (por turno).	Soprar os sensores com ar e realizar a limpeza em toda área.
Capacitar operadores de painel.	Para padronizar o modo de operação.	Fábrica	Supervisor de produção	Em até um mês.	Programar treinamento com um consultor técnico.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Observa-se que, para cada causa identificada, foi estabelecida uma ação corretiva correspondente. Essa abordagem está alinhada aos princípios da análise de causa raiz, os quais preconizam que a eliminação efetiva de não conformidades depende da identificação e do tratamento sistemático de suas causas fundamentais. Conforme destacado por Ishikawa (1993), a qualidade dos processos está diretamente relacionada à capacidade de identificar, analisar e atuar sobre as causas dos problemas, e não apenas sobre seus efeitos.

4.6. Monitoramento e avaliação da eficácia das melhorias.

Após a estruturação do plano de ação, iniciou-se a etapa de implementação das melhorias propostas na linha de ensacamento, com foco na redução do sobrepeso e no aumento da confiabilidade do processo de pesagem. As intervenções foram executadas entre os meses de março a maio de 2026, priorizando ações diretamente relacionadas às principais causas identificadas.

Entre as melhorias implementadas, destaca-se a calibração semanal da balança de pesagem, estabelecida com o objetivo de aumentar a precisão metrológica do equipamento e reduzir desvios sistemáticos nas medições. Com a definição de uma rotina periódica de calibração, buscou-se assegurar maior confiabilidade nos dados de pesagem. Também foram executadas manutenções corretivas e preventivas nos bicos de enchimento da ensacadeira, uma vez que desgastes mecânicos e acúmulo de material foram identificados como fatores capazes de interferir na regularidade do fluxo de cimento durante o enchimento dos sacos.

Outra medida implementada consistiu na parametrização do sistema de corte fino, mecanismo responsável pelo ajuste final da dosagem de cimento durante o enchimento. Foram realizados ajustes nos parâmetros operacionais do equipamento visando diminuir o excedente de material inserido nos sacos após a aproximação do peso nominal. Adicionalmente, foi implantada uma rotina de limpeza operacional em todos os turnos produtivos. A adoção dessa prática ocorreu devido à identificação de acúmulo de partículas de cimento em partes móveis e sensores do sistema, condição que poderia afetar o desempenho do equipamento e comprometer a precisão das medições ao longo da operação contínua. Essa relação entre intervenções direcionadas nos componentes críticos do maquinário e o aumento do desempenho operacional alinha-se aos achados de Viana (2024), que destacam a engenharia de

manutenção e a confiabilidade como pilares essenciais para mitigar falhas recorrentes, controlar a variabilidade do processo e assegurar a disponibilidade e a precisão dos equipamentos em ambientes industriais.

Por outro lado, a ação referente à capacitação dos operadores de painel ainda não havia sido implementada até o término desta etapa da pesquisa. A não execução está relacionada à necessidade de avaliação orçamentária para viabilização do treinamento. Além disso, a empresa encontra-se em fase de planejamento da melhor estratégia para realização da capacitação sem comprometer a continuidade operacional, considerando a necessidade de conciliar a disponibilidade dos operadores com os cronogramas de produção.

Após a implementação das ações e monitoramento dos resultados, observou-se uma redução significativa dos desvios, passando da média de 1,94% registrada ao longo de 2025 para 0,92% em março, 0,43% em abril e 0,07% em maio de 2026. A Figura 6 apresenta o gráfico de distribuição normal das médias diárias de pesagem após a implementação das ações de melhoria.

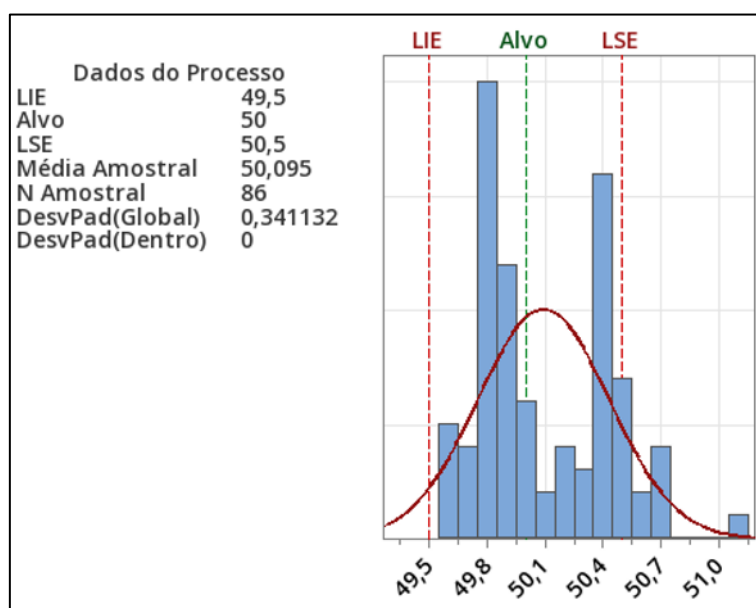


Figura 6 – Gráfico de distribuição normal após ações de melhoria. Fonte: Elaborado pelas autoras (2026).

Com isso, o processo passou a operar abaixo do limite de 1% estabelecido pela norma. Além da melhoria observada nos indicadores de desempenho, verificou-se um impacto econômico positivo associado à redução do sobrepeso. Em março de 2026, a diferença entre o faturamento considerando o peso nominal e o faturamento efetivamente realizado foi de R\$ 65.982,27, reduzindo-se para R\$ 34.583,43 em abril e para R\$ 6.798,63 em maio. Esses resultados evidenciam uma redução significativa das perdas relacionadas ao excesso de massa por saco sem contrapartida financeira.

Apesar dos avanços obtidos, a análise da distribuição dos dados demonstra que a média do processo em 50,095 kg permanece deslocada em relação ao valor alvo de 50 kg. Embora esse deslocamento não comprometa o atendimento aos limites de especificação estabelecidos, ele consome a margem de segurança do sistema em direção ao Limite Superior de Especificação (LSE), indicando que o processo ainda não atingiu sua condição de desempenho ótimo, especialmente sob a ótica do Controle Estatístico do Processo.

Comportamento análogo foi discutido por Abrão e Cardoso (2020) ao analisarem uma linha industrial de envase: mesmo quando os pontos se mantêm sob controle estatístico e dentro das especificações normativas, a permanência de um deslocamento da média em relação ao alvo nominal indica a necessidade de intervenções contínuas na linha de produção. À luz desses achados, os resultados obtidos no presente estudo também devem ser interpretados como um patamar de evolução do processo, e não como a sua condição definitiva. A permanência de dispersão nos resultados sugere a existência de fontes de variabilidade ainda não completamente eliminadas, as quais podem impactar a eficiência operacional e a utilização dos recursos produtivos. Dessa forma, recomenda-se a continuidade

do monitoramento do processo e a condução de novos ciclos de análise voltados à identificação e mitigação dessas causas.

Adicionalmente, a implementação da capacitação dos operadores e o fortalecimento das práticas de padronização operacional constituem etapas fundamentais para a sustentação dos ganhos alcançados e para o avanço em direção a níveis superiores de desempenho. Sob a ótica da Gestão da Qualidade, a dimensão humana e o treinamento contínuo são pilares indispensáveis para a retenção de resultados; intervenções puramente técnicas ou mecânicas tendem a sofrer degradação ao longo do tempo se não forem acompanhadas pelo engajamento e alinhamento das equipes operacionais (Slack et al., 2021). Essa integração entre o fator humano e a padronização reflete os princípios da melhoria contínua, nos quais mesmo os processos que atendem às especificações devem ser continuamente avaliados e aperfeiçoados, buscando simultaneamente a redução da variabilidade, o aumento da capacidade do processo e a maximização da eficiência operacional (Deming, 1990; Juran, 1989).

5. Conclusões.

A análise conduzida evidencia que o sobrepeso no ensaue, frequentemente tratado como um desvio operacional de baixa criticidade, configura-se, na realidade, como uma fonte contínua de perdas econômicas e de ineficiência produtiva. Ao longo deste estudo, demonstrou-se que a ausência de controle sistemático e de padronização compromete não apenas a conformidade metrológica do processo, mas também seu desempenho operacional e econômico.

O estudo permitiu verificar que a ocorrência do sobrepeso não está associada a um fator isolado, mas à interação entre aspectos técnicos e operacionais. Assim, como resultado das ações implementadas, observou-se a redução dos desvios para níveis inferiores ao limite normativo, acompanhada pela diminuição das perdas econômicas associadas ao sobrepeso. Nesse sentido, a aplicação sistemática de ferramentas da qualidade mostrou-se eficaz não apenas como instrumento de diagnóstico, mas também como mecanismo de apoio à tomada de decisão, possibilitando a priorização de ações e a condução estruturada do processo de melhoria.

Entretanto, embora o processo tenha alcançado conformidade com os requisitos estabelecidos, a análise estatística indica que seu desempenho ainda não se encontra plenamente otimizado. O deslocamento da média em relação ao valor alvo e a variabilidade ainda presente evidenciam a necessidade não apenas da manutenção das ações implementadas, mas também da proposição de novas iniciativas de melhoria voltadas à redução das fontes remanescentes de variação e ao aprimoramento do desempenho do processo.

Dessa forma, o trabalho reforça a importância da gestão da qualidade como abordagem estratégica para a promoção da estabilidade dos processos, da eficiência operacional e da competitividade industrial. A consolidação dos ganhos obtidos dependerá da manutenção das práticas de padronização, da capacitação contínua dos operadores e do fortalecimento de uma cultura organizacional orientada pela análise de dados e pela melhoria contínua.

Do ponto de vista científico, esta pesquisa contribui para ampliar a discussão sobre como a integração entre ferramentas da qualidade, análise estatística e gestão de processos pode ser empregada para enfrentar problemas de variabilidade frequentemente tratados apenas sob a ótica da conformidade. Diferentemente de estudos que se restringem à identificação das causas dos problemas, este estudo acompanhou a implementação das ações propostas e mensurou seus efeitos sobre indicadores operacionais e econômicos, evidenciando o potencial dessa abordagem para apoiar a gestão da qualidade em ambientes industriais. Além disso, o estudo aprofunda a discussão sobre os impactos operacionais e econômicos associados ao sobrepeso em processos de ensaue, fornecendo evidências empíricas que podem subsidiar futuras pesquisas relacionadas à capacidade de processos, redução de perdas e aplicação de metodologias de melhoria contínua na indústria. Desse modo, reitera-se a relevância da Engenharia de Produção como campo de integração essencial entre qualidade, produtividade e competitividade organizacional.

Referências.

ABRÃO, O. J.; CARDOSO, A. A. Utilização do controle estatístico de processo atrelado às ferramentas da qualidade no monitoramento do peso das embalagens do produto final: um estudo de caso em uma indústria química. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 32-48, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-091>

ALMEIDA PACHÚ, E.; FONTGALLAND, I. L. O mercado de cimentos e suas políticas ambientais: um estudo de caso da empresa Votorantim Cimentos. *E-Acadêmica*, v. 2, n. 3, p. e352372, 2021. DOI: <https://doi.org/10.52076/eacad-v2i3.72>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697:2018** – Cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BARAKAT, O.; ELASSIMI, T. *Unveiling the link between quality management maturity and cost of quality management in the Moroccan agrifood sector: a qualitative study*. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 43, n. 1, p. 234–256, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1108/ijqrm-02-2025-0057>

BERK, J.; BERK, S. **Administração da qualidade total**: o aperfeiçoamento contínuo: teoria e prática. Tradução de Cláudia Azevedo. São Paulo: IBRASA, 1997.

CARVALHO, C. P.; CASTRO, C. F. *Application of a tool based on the GUT matrix for the improvement of quality Indicators in the automotive industry*. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, v. 1, n. 1, p. 37-43, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30574/wjaets.2020.1.1.0022>

CARVALHO, J. D.; SOUSA, R. M. **Melhoria contínua nas organizações**. Lisboa: Lidel-Edições Técnicas, Lda, 2021.

CAXITO, F.; GONÇALVES, L. C. **Ferramentas da qualidade**. IESDE Brasil SA, 2021.

COSTA, Alessandro Moura. Gestão estratégica por meio da implantação da metodologia Shewhart no controle estatístico de processos de uma microempresa. *Revista Iniciativa Econômica*, v. 6, n. 1/2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.64997/2358-5951-13445>

DEMING, W. E. **Qualidade**: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

DOMINGUES, G. S.; OLIVEIRA, I. D. P. de; MEDEIROS, M. S.; PENTEADO, R. B.; MIRANDA, M. R. da S.; ALMEIDA, L. F. M. de. Gestão da qualidade: estudo da variação de peso e desperdício em pacotes de café. *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 7, p. e4925, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56083/RCV4N7-003>

EL AFFAKI, O.; BENHADOU, M.; HADDOUT, A. *Operational Excellence supported by Lean Management Tools, IATF 16949 Automotive Standard, and Industry 4.0 Pillars: Evidence from Automotive Companies in Morocco*. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, v. 15, n. 3, p. 22718–22724, 2025. DOI: <https://doi.org/10.48084/etasr.10600>

FEITOSA, P. C. M. **A indústria do cimento no Brasil**: um estudo de casos em concentração industrial. São Paulo: EAESP/FGV, 1982.

FORMIGONI, Jonathan William; SILVESTRE, Nathan Gabriel Porcino; ROMÃO JÚNIOR, José Marcos; ANTUNES NETO, Joaquim M. F. A importância da manutenção preditiva na continuidade operacional: revisão bibliográfica dos impactos nos processos de produção. *Prospectus*, v. 6, n. 2, p. 161-195, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13932287>

GALLEGOS, R. A. P. **Ferramentas de gestão voltadas para melhoria da qualidade nas empresas**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2023.

GANGA, G. M. D. **Metodologia científica e trabalho de conclusão de curso (TCC): um guia prático de conteúdo e forma**. UAB-UFSCar, 2017.

GARCIA, C. **Controle de processos industriais: estratégias convencionais**. São Paulo: Editora Blucher, 2021.

GOMES, M. I.; FIGUEIREDO, F. **Papel do controlo estatístico da qualidade em indústria e serviços**. In: Academia das Ciências De Lisboa (org.). *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa: Classe de Ciências*. Lisboa: Academia das Ciências de Lisboa, 2020. p. 63-71. Disponível em: <https://www.acad-ciencias.pt/>. Acesso em: 12 jun. 2026.

INÁCIO, L. C. dos R.; AVELINO, S. F.; SANJULIÃO, L.-R. K. A.; REIS, M. J.; BORGES, V. de O.; PIANTINO, L. F. M.; PINTO, R. A. N.; DA SILVA, H. M. Ferramentas básicas da qualidade: folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 10, p. 17413–17427, 2023. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i10.2890>

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

JURAN, J. M. **Juran na liderança pela qualidade: um guia para executivos**. São Paulo: Pioneira, 1989.

JURAN, J. M. **Quality control handbook**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1974.

KARIM, MD R. *Optimizing maintenance strategies in smart manufacturing: a systematic review of lean practices, total productive maintenance (TPM), and digital reliability*. **Review of Applied Science and Technology**, v. 4, n. 02, p. 176–206, 2025. DOI: <https://doi.org/10.63125/np7nnf78>

KNOP, K.; MIELCZAREK, K. *Using 5W-1H and 4M Methods to Analyse and Solve the Problem with the Visual Inspection Process - case study*. **MATEC Web of Conferences**, v. 183, p. 03006, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818303006>

MARSHALL JUNIOR, I.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B.; QUINTELLA, O. M. **Gestão da qualidade e processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2021.

NASCIMENTO, Tássia Patrícia Silva. **Qualidade e produtividade: Um Olhar para a Competitividade**. AYA Editora, 2024.

OLIVEIRA, F.; FERNANDES, J. C.; GALINDO, J.; RODRÍGUEZ, J.; CAÑADAS, I.; VERMELHUDO, V.; NUNES, Á. C.; ROSA, L. G. *Portland cement clinker production using concentrated solar energy – A proof-of-concept approach*. **Solar Energy**, v. 183, p. 677-688, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.03.064>

REHACEK, P. *Costs of quality or quality costs*. **International Journal of Advanced and Applied Sciences**, v. 5, n. 2, p. 8-13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21833/ijaas.2018.02.002>

SCARIOT, L. P.; BERGAMO, L.; HOFFMANN, L. de F.; CORTIVO, A. P. *Gestão da qualidade: como reduzir os custos da não qualidade*. **Inova+ Cadernos de Graduação da Faculdade da Indústria**, v. 2, n. 1, p. 389-409, ago. 2020.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **SNIC**. Disponível em: <https://snic.org.br/>. Acesso em: 13 maio 2026.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 5^a ed. São Paulo: Atlas, 2021.

THOALDO, Daniele Cristina. **Controle estatístico de processo**. Curitiba: InterSaberes, 2023.

TRUCOLO, Ana Cristina et al. **Matriz GUT para priorização de problemas–Estudo de caso em empresa do setor elétrico**. Revista Tecnológica, v. 5, n. 2, p. 124-134, 2016.

UENO, J. T. **ISO Sistema de gestão da qualidade 9001**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2025.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Curso de Gestão e Engenharia da manutenção**. Editora Insigne Acadêmica, 2024.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. São Paulo: Atlas, 2021.

ZAJAC, M.; SKOCEK, J.; BEN HABA, M.; DEJA, J. CO₂ Mineralization Methods in Cement and Concrete Industry. *Energies*, v. 15, n. 10, p. 3597, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15103597>