



ANAIS

ANÁLISE E TRATAMENTO DE DESVIOS OPERACIONAIS PERSISTENTES EM UM CENTRO OPERACIONAL AGRÍCOLA: UMA APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE ISHIKAWA E DO CICLO PDCA

LUCIANO MELO

lucianodourados@yahoo.com.br

UNESP

MARCELO GIROTTTO REBELATO

mgiroto@fcav.unesp.br

FCAV-UNESP

RESUMO: Centros Operacionais Agrícolas (COA) monitoram indicadores de desempenho em tempo real e utilizam fluxos de escalonamento hierárquico para tratar desvios. No entanto, parte desses desvios persiste mesmo após o acionamento de todos os níveis hierárquicos, revelando uma lacuna metodológica no tratamento de problemas recorrentes. Este artigo propõe uma abordagem estruturada, baseada no Diagrama de Ishikawa e no ciclo PDCA, para análise e tratamento de desvios operacionais persistentes em um COA. A pesquisa é aplicada e qualitativa, com método de pesquisa-ação. A abordagem foi aplicada a um caso real — a queda recorrente do indicador de Hora de Corte na colheita de cana-de-açúcar —, identificando 13 causas potenciais nos 6M, priorizando três causas raiz por Índice de Criticidade e gerando planos de ação 5W2H. Destaca-se a identificação de uma causa sistêmica de medição, não detectada em quatro ciclos de escalonamento anteriores. Os resultados demonstram que a abordagem transforma desvios não resolvidos em processos estruturados de melhoria contínua.

PALAVRAS CHAVE: Gestão da Qualidade; Diagrama de Ishikawa; ciclo PDCA; Centro Operacional Agrícola; melhoria contínua.

ABSTRACT: Agricultural Operations Centers (AOC) monitor performance indicators in real time and use hierarchical escalation flows to address deviations. However, some deviations persist even after every hierarchical level has been triggered, revealing a methodological gap in handling recurring problems. This paper proposes a structured approach, based on the Ishikawa Diagram and the PDCA cycle, for analyzing and treating persistent operational deviations in an AOC. The research is applied and qualitative, using an action-research method. The approach was applied to a real case — the recurring drop of the Cutting Hour indicator in sugarcane harvesting —, identifying 13 potential causes across the 6Ms, prioritizing three root causes through a Criticality Index, and generating 5W2H action plans. A systemic measurement cause stands out, undetected in four previous escalation cycles. The results show that the approach transforms unresolved deviations into structured continuous-improvement processes.

KEY WORDS: Quality Management; Ishikawa Diagram; PDCA cycle; Agricultural Operations Center; continuous improvement.

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro opera em um ambiente de crescente complexidade, no qual a eficiência das operações de campo é determinante para a competitividade das organizações agroindustriais. Para lidar com essa complexidade, muitas empresas do setor têm investido em Centros Operacionais Agrícolas (COA), estruturas responsáveis pelo monitoramento contínuo de indicadores-chave de desempenho das operações, atuando como elo entre o campo e a gestão (Souza; Leite; Souza, 2021).

O COA da empresa estudada monitora indicadores operacionais em tempo real das operações de colheita de cana-de-açúcar e de grãos em diferentes regiões do Brasil. Quando um indicador se desvia dos parâmetros, o COA aciona um fluxo de escalonamento hierárquico para coordenar a resposta no campo. Na maioria dos casos esse fluxo é eficaz; porém, em parcela relevante das ocorrências, o desvio persiste mesmo após o acionamento de todos os níveis — do operador ao gerente de operação —, sem que o indicador retorne à normalidade.

Isso expõe uma limitação estrutural: o escalonamento convencional é concebido para resolver desvios por ação corretiva imediata, mas não possui mecanismo para investigar as causas subjacentes dos problemas que resistem à correção direta. Juran e Godfrey (1998) já distinguem os problemas "esporádicos" — tratáveis por ação imediata — dos "crônicos" — que demandam investigação estruturada de causa raiz para que a melhoria seja duradoura. É nessa segunda categoria que se enquadra o problema investigado.

A Gestão da Qualidade oferece ferramentas consolidadas para isso: o Diagrama de Ishikawa, para análise de causa raiz, e o ciclo PDCA, para planejamento, execução e controle das ações de melhoria (Carpinetti, 2022; Marshall Junior et al., 2022). Contudo, a literatura ainda carece de propostas aplicadas ao contexto dos Centros Operacionais Agrícolas, em especial quanto aos critérios que devem acionar a transição entre a resposta convencional e a abertura de um processo formal de análise de causa raiz.

1.1 O Fluxo Atual de Identificação e Tratamento de Desvios

O COA monitora continuamente um conjunto de indicadores operacionais. Quando um indicador ultrapassa os limites de controle estabelecidos — seja por queda de desempenho, ociosidade excessiva ou desvio de rota —, é gerado um alerta no painel de monitoramento do analista responsável. O analista interpreta o alerta, consulta o histórico recente do indicador e inicia o processo de resposta operacional por meio de um fluxo de escalonamento hierárquico estruturado em quatro níveis:

Nível 1 - Operador do COA: o analista aciona o operador da máquina no campo via rádio comunicador, informa o desvio identificado e solicita verificação e correção imediata. Aguarda confirmação de retorno do indicador à normalidade dentro de um prazo definido.

Nível 2 - Operador da Máquina (Campo): o operador verifica o equipamento, as condições do talhão e os parâmetros operacionais,

executa os ajustes disponíveis em campo e confirma ao COA se o problema foi resolvido. Caso não consiga resolver dentro do prazo, sinaliza de volta ao COA.

Nível 3 - Líder de Operação: se o desvio persiste, o COA escala para o Líder de Operação, que pode coordenar ações envolvendo mais de uma máquina, acionar a equipe de manutenção ou redistribuir recursos operacionais para minimizar o impacto do desvio.

Nível 4 - Gerente de Operação: quando o problema não é resolvido nos níveis anteriores, o escalonamento chega ao Gerente de Operação, com autoridade para decisões mais amplas, como suspensão temporária de uma frente de colheita, remanejamento de equipamentos ou contato com fornecedores externos.

Esse fluxo é eficaz para desvios pontuais e de causa conhecida. O problema surge quando o desvio persiste ao longo do tempo ou se repete com frequência, indicando que as respostas imediatas não são suficientes para eliminá-lo. O escalonamento convencional apresenta limitações estruturais que se tornam evidentes em quatro situações-tipo:

Causas múltiplas e interdependentes: quando o desvio resulta da combinação de dois ou mais fatores — por exemplo, um operador menos experiente atuando em um talhão com condições adversas de relevo —, nenhum nível do escalonamento consegue endereçar o problema de forma isolada.

Causas sistêmicas de processo: quando o desvio decorre de um procedimento operacional inadequado ou de uma lacuna de capacitação que afeta toda a equipe, a correção pontual da máquina ou do operador não resolve o problema.

Recorrência sem investigação: quando o mesmo tipo de desvio retorna repetidamente em diferentes operações ou períodos, o escalonamento responde ao sintoma a cada ocorrência, mas não investiga a causa que está na raiz da recorrência.

Esgotamento das alternativas imediatas: quando todos os ajustes operacionais disponíveis foram tentados e o indicador não retorna à faixa esperada, o escalonamento não possui um mecanismo para ir além — ele se esgota sem gerar aprendizado sistematizado.

1.2 A Lacuna Identificada e a Pergunta de Pesquisa

As quatro situações descritas acima revelam uma limitação estrutural comum: o escalonamento convencional é um mecanismo de resposta ao sintoma, não de investigação da causa. Quando o desvio é esporádico e sua causa é simples e localizável, o escalonamento funciona. Quando o desvio é crônico — resultante de causas sistêmicas, interdependentes ou recorrentes —, o escalonamento se esgota repetidamente sem eliminar o problema em sua origem.

Essa limitação não é exclusiva do COA investigado. Sistemas de escalonamento hierárquico são reconhecidamente eficazes para desvios de causa única e diagnóstico imediato, mas estruturalmente inadequados para problemas que exigem análise multifatorial e intervenção coordenada entre diferentes domínios (Marshall Junior et al., 2022; Slack; Brandon-

Jones; Johnston, 2018). O mecanismo pressupõe que o problema tem localização conhecida e causa remediável por intervenção direta: quando essa suposição não se sustenta, cada ocorrência é tratada como nova, embora seja a mesma em sua raiz.

A repetição desse ciclo tem custos concretos: operacionalmente, cada ciclo sem resultado consome horas-analista, horas-liderança e tempo de máquina sem produção; organizacionalmente, a ausência de registro das ações impede saber, no ciclo seguinte, o que já foi tentado e por que falhou; e, na dimensão do indicador, o desvio persiste na base de cálculo, distorcendo relatórios e penalizando a operação por um problema que ninguém resolve. Esses custos se acumulam safra após safra sem que o modelo convencional os torne visíveis.

Agrava a situação a ausência, no COA investigado, de critérios objetivos que determinem quando um desvio passa a exigir investigação estruturada. Essa decisão depende hoje do julgamento individual de analistas e gerentes, gerando inconsistência e dificultando a rastreabilidade. Paladini (2019) e Souza, Leite e Souza (2021) apontam que a ausência de protocolos formais de transição entre a resposta imediata e a análise estruturada é padrão recorrente em organizações que monitoram desempenho.

Esse conjunto de elementos — a limitação estrutural do escalonamento para desvios crônicos, os custos acumulados da repetição sem aprendizado e a ausência de critérios objetivos que determinem o momento de transição para a análise de causa raiz — configura o problema investigado neste artigo:

Como estruturar, com critérios objetivos e ferramentas da qualidade, a análise e o tratamento de desvios operacionais que, por sua persistência ou recorrência, não são resolvidos pelo escalonamento convencional em um Centro Operacional Agrícola?

1.3 Objetivo Geral

Propor e aplicar uma abordagem estruturada baseada em ferramentas da qualidade para análise e tratamento de desvios operacionais persistentes em um Centro Operacional Agrícola.

1.4 Objetivos Específicos

Descrever o fluxo atual de identificação e tratamento de desvios operacionais no COA.

Identificar situações em que o escalonamento convencional não é suficiente para resolver o problema.

Definir critérios objetivos para caracterização de desvios operacionais persistentes como etapa metodológica da abordagem proposta.

Aplicar o Diagrama de Ishikawa para análise de causa raiz de um caso concreto.

Estruturar um ciclo PDCA para tratamento e acompanhamento do problema analisado.

1.5 Justificativa

A relevância desta pesquisa pode ser compreendida em três dimensões complementares: prática, organizacional e científica.

Relevância prática. A recorrência de desvios não resolvidos é um problema concreto e custoso para organizações agroindustriais de grande porte. Quando um mesmo desvio se repete em diferentes safras, turnos ou talhões sem que sua causa raiz seja tratada, acumulam-se perda de produtividade, retrabalho, desperdício de insumos e desgaste da equipe de monitoramento. O tratamento reativo é mais caro, menos eficiente e incapaz de eliminar o problema. Esta pesquisa propõe uma forma estruturada de romper esse ciclo, com impacto direto nos resultados operacionais e financeiros.

Relevância organizacional. A ausência de critérios objetivos para decidir quando aprofundar a análise cria dependência excessiva do julgamento individual, gerando inconsistência, dificultando a rastreabilidade e impedindo o acúmulo de aprendizado ao longo das safras. Ao definir critérios de persistência, estruturar a priorização quantitativa das causas e formalizar o ciclo de tratamento, este trabalho contribui para uma governança operacional mais robusta: decisões baseadas em critérios objetivos, trilhas de auditoria registradas e conhecimento retido pela organização, não apenas pelos indivíduos.

Relevância científica e metodológica. A aplicação de ferramentas da qualidade em Centros Operacionais Agrícolas ainda é pouco explorada na literatura, que trata majoritariamente da Gestão da Qualidade em processos industriais de beneficiamento ou operações fabris, sem endereçar o momento de transição entre a resposta convencional e a abertura de um processo formal de análise de causa raiz. Esta pesquisa estrutura exatamente esse momento, formalizando o que hoje é, na maioria dos COAs, um processo informal e dependente de iniciativa individual — contribuição metodológica replicável em outros contextos de monitoramento agrícola, que amplia o escopo da Gestão da Qualidade para além dos ambientes industriais tradicionais.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 Gestão da Qualidade em Contextos Operacionais Complexos

A Gestão da Qualidade Total (GQT) fundamenta-se no princípio de que a melhoria contínua dos processos é responsabilidade de todos os níveis da organização e deve ser sustentada por métodos sistemáticos de identificação e eliminação das causas de falhas (Carpinetti, 2022). Em ambientes de alta variabilidade — como as operações agrícolas mecanizadas —, essa abordagem é especialmente relevante, uma vez que os desvios de desempenho resultam frequentemente de combinações complexas de causas que não são aparentes à primeira análise (Paladini, 2019).

Uma contribuição conceitual fundamental é a distinção de Juran e Godfrey (1998) entre problemas "esporádicos" e "crônicos". Os esporádicos são desvios abruptos de um padrão estável, resolvíveis por ação corretiva imediata; os crônicos são desvios persistentes já incorporados ao cotidiano, muitas vezes sem que a organização perceba que seu custo é evitável. Curar o problema crônico exige romper com a abordagem reativa: investigar, estruturar e padronizar — não apenas corrigir. Isso é relevante para o COA, cujo escalonamento é, por concepção, um mecanismo de resposta a problemas esporádicos e, por isso, insuficiente diante de crônicos.

Werkema (2012) reforça que a aplicação sistemática de ferramentas de análise de causa raiz é condição necessária para a melhoria sustentada de indicadores: sem método estruturado, as equipes tratam repetidamente os mesmos sintomas, desperdiçando recursos e perpetuando perdas evitáveis — o que se observa no COA quando desvios persistentes são tratados apenas pela lógica do escalonamento.

Freitas, Melo e Rodrigues (2023) documentaram que a análise de causa raiz na colheita mecanizada de grãos reduziu a recorrência de falhas, ao tratar causas sistêmicas em vez de sintomas. Em um caso, o Diagrama de Ishikawa revelou que a causa raiz predominante era uma lacuna de capacitação despercebida em múltiplos ciclos convencionais — resultado análogo ao deste estudo. Os autores observam que a adoção dessas ferramentas ainda é irregular e dependente de iniciativa individual no agronegócio brasileiro, o que reforça a necessidade de protocolos que as incorporem à rotina.

A GQT, na acepção de Deming (1986), pressupõe a "gestão por fatos": decisões sustentadas por dados confiáveis, não por percepções individuais. No COA, isso implica verificar, antes de agir sobre um desvio, se o indicador mede de fato o que se pretende medir. A ausência dessa verificação — que o escalonamento não realiza — é uma das vulnerabilidades mais graves do modelo atual, como evidencia o caso analisado.

2.2 Desvios Operacionais e Escalonamento: Conceitos e Limites

Um desvio operacional, no contexto do COA, é definido como a condição em que um indicador-chave de desempenho ultrapassa os limites de controle estabelecidos para a operação monitorada, indicando que o processo está fora do padrão esperado. Souza, Leite e Souza (2021) reforçam que a capacidade de identificar desvios de forma rápida e precisa é condição necessária, mas não suficiente, para a melhoria dos processos: é preciso que a identificação seja seguida de um tratamento estruturado, especialmente quando o desvio é recorrente.

O escalonamento hierárquico é prática comum em centrais de monitoramento, cujo objetivo é levar o problema ao nível de autoridade adequado para resolvê-lo em um prazo definido. É eficaz para desvios de causa simples e fácil diagnóstico. Porém, quando as causas são múltiplas, interdependentes ou sistêmicas, tende a gerar ações corretivas superficiais que não eliminam o problema na raiz, levando à recorrência (Marshall Junior et al., 2022).

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) apontam que sistemas de resposta hierárquica são concebidos para velocidade de reação, não para profundidade de diagnóstico, supondo causa localizada e remediável por intervenção direta. Quando isso não se sustenta — falhas sistêmicas, lacunas de capacitação ou interações entre variáveis que nenhum nível controla isoladamente —, o escalonamento gerencia sintomas, não elimina causas. É uma limitação de concepção, não de execução: foi desenhado para um tipo de problema e não funciona para outro.

Métodos como o DMAIC, do Seis Sigma, e a abordagem A3, do Sistema Toyota de Produção, foram criados para suprir essa lacuna em contextos industriais (Werkema, 2012; Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2018). O elemento comum é exigir uma fase estruturada de análise de causa raiz antes de qualquer ação — em contraste com o escalonamento, que assume a causa como conhecida. Nenhum deles, porém, foi adaptado a Centros Operacionais Agrícolas, cujas especificidades — operações distribuídas, alta variabilidade climática e agrônômica, monitoramento remoto em tempo real — impõem requisitos distintos dos processos fabris.

No monitoramento agrícola, a limitação é agravada pela natureza multivariar dos desvios. Freitas, Melo e Rodrigues (2023) observaram que, na colheita mecanizada, os desvios raramente têm causa única: interações entre condições do talhão, estado da máquina, comportamento do operador e parâmetros de processo só se compreendem por análise estruturada em equipe. Cada nível do escalonamento enxerga apenas a parcela sob sua alçada, sem a visão do conjunto necessária para identificar causas sistêmicas.

Um segundo problema, relevante para este artigo, é a ausência, na maioria dos sistemas de escalonamento, de critérios formais que determinem quando um desvio passa a exigir investigação estruturada. Isso torna a decisão discricionária e dependente do julgamento dos gestores, gerando inconsistência e impedindo o acúmulo de aprendizado (Paladini, 2019). Definir tais critérios como gatilho objetivo é uma necessidade reconhecida pela literatura, mas pouco endereçada no contexto agroindustrial.

2.3 Diagrama de Ishikawa: Fundamentos e Aplicações

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe, é uma ferramenta visual desenvolvida por Kaoru Ishikawa para estruturar a análise das causas potenciais de um problema de qualidade (Ishikawa, 1985). Sua estrutura organiza as causas em categorias — os "6M": Método, Máquina, Mão de obra, Material, Meio ambiente e Medição —, facilitando a identificação das causas raiz por meio de análise estruturada em equipe.

A principal contribuição do Diagrama de Ishikawa é transformar uma percepção difusa e fragmentada do problema em uma representação visual organizada, que permite à equipe enxergar as relações entre causas e efeitos e priorizar as causas mais relevantes para o tratamento (Carpinetti, 2022). Isso é particularmente valioso em contextos como o COA, onde múltiplos fatores — humanos, tecnológicos, ambientais e materiais —

interagem simultaneamente e podem contribuir para o mesmo desvio operacional.

A eficácia do diagrama como ferramenta de diagnóstico foi documentada em contextos agroindustriais. Freitas, Melo e Rodrigues (2023) registraram seu uso em falhas recorrentes na colheita de grãos, destacando que a sessão estruturada em equipe revelou causas sistêmicas — lacunas de capacitação e falhas de procedimento — não identificadas nos ciclos convencionais. A natureza visual e colaborativa da ferramenta facilita a participação de perfis técnicos distintos, relevante onde o diagnóstico exige integrar conhecimentos de campo, manutenção, agronomia e gestão.

O diagrama é frequentemente combinado à técnica dos 5 Porquês, que aprofunda cada causa por questionamentos sucessivos até a raiz (Werkema, 2012). O Ishikawa tem força no mapeamento amplo e colaborativo das causas em múltiplas categorias; os 5 Porquês, no aprofundamento vertical de uma causa específica. A combinação — mapeamento amplo seguido de aprofundamento seletivo — é recomendada quando o problema envolve múltiplas categorias com diferentes graus de profundidade, como o desvio analisado neste artigo.

Uma limitação reconhecida é o risco de a priorização das causas ser subjetiva, baseada no julgamento da equipe sem critérios estruturados (Werkema, 2012). Para mitigá-lo, este artigo incorpora, após o diagrama, uma etapa de priorização quantitativa por um Índice de Criticidade — descrito na seção metodológica — que combina frequência, severidade e capacidade de intervenção, direcionando o esforço para as causas de maior impacto real.

2.4 Ciclo PDCA: Estrutura para a Melhoria Contínua

O ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), concebido por Walter Shewhart e sistematizado por W. Edwards Deming, é a principal estrutura metodológica para a condução de processos de melhoria contínua em organizações (Deming, 1986). Sua lógica iterativa — planejar, executar, verificar e agir — garante que as ações de melhoria sejam planejadas com base em evidências, implementadas de forma controlada, avaliadas em seus resultados e incorporadas como padrão quando eficazes.

No contexto da gestão de desvios operacionais persistentes, o PDCA estrutura o processo que vai desde a identificação das causas raiz — realizada com o apoio do Diagrama de Ishikawa na fase Plan — até a padronização das soluções eficazes na fase Act, prevenindo a recorrência do desvio (Marshall Junior et al., 2022). A integração entre as duas ferramentas cria um ciclo completo: o Ishikawa fornece o diagnóstico, o PDCA fornece o tratamento e o controle. Essa integração é especialmente relevante para o problema analisado neste artigo, porque o escalonamento convencional equivale funcionalmente a um "Do" sem "Plan" estruturado — age sem diagnóstico de causa raiz — e sem "Check" sistemático — não define critério de verificação de eficácia para as ações tomadas.

Werkema (2012) destaca que a eficácia do PDCA depende da qualidade da fase Plan: quanto mais fundamentado o diagnóstico das causas raiz, mais eficazes as ações — o que reforça a análise com o

Ishikawa como precondição do ciclo. A autora distingue ainda o PDCA de melhoria do ciclo SDCA (Standardize-Do-Check-Act) de manutenção: após o PDCA e a verificação de eficácia, a fase Act deve institucionalizar os novos procedimentos em um SDCA, evitando que a melhoria se perca com a rotatividade de operadores e analistas.

Marshall Junior et al. (2022) observam que o PDCA tem sido usado sobretudo em processos fabris, com aplicações ainda incipientes em ambientes de monitoramento remoto como o COA. Sua adaptação exige que a fase Check se apoie em indicadores objetivos verificáveis em tempo real — condição que o COA já atende — e que a fase Act inclua mecanismos de replicação do aprendizado entre polos, sob risco de o mesmo problema crônico se repetir em cada unidade.

2.5 Posicionamento do Trabalho na Literatura

Três lacunas específicas, identificadas ao longo da revisão, fundamentam a contribuição proposta.

A primeira é o contexto de aplicação. A literatura sobre ferramentas da qualidade no agronegócio trata predominantemente do Ishikawa e do PDCA em processos fabris ou de beneficiamento (Freitas, Melo e Rodrigues, 2023; Marshall Junior et al., 2022), sem abordar os Centros Operacionais Agrícolas, e os métodos alternativos (DMAIC, A3) foram concebidos para ambientes fabris. Este artigo aplica o conjunto Ishikawa-PDCA a esse contexto pouco explorado.

A segunda é o critério de acionamento. A literatura não propõe critérios formais que determinem quando um desvio deve migrar do escalonamento para a análise de causa raiz; hoje essa transição é tratada de forma implícita e discricionária (Paladini, 2019; Souza; Leite; Souza, 2021). Este artigo propõe três critérios objetivos e quantificáveis, tornando o acionamento sistemático e independente do julgamento individual.

A terceira é o método de priorização. A literatura reconhece o risco de subjetividade na seleção das causas após o Ishikawa (Werkema, 2012), mas raramente propõe índices que incorporem a capacidade de intervenção organizacional. Índices como o RPN do FMEA combinam frequência e severidade, mas não distinguem causas sob governança da organização das que estão fora de seu controle. O Índice de Criticidade proposto — $\text{Frequência} \times \text{Severidade} \times \text{Capacidade de Intervenção}$ — é uma adaptação original ao COA, onde fatores externos de alta frequência e severidade (topografia, clima) não devem monopolizar o esforço.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Pesquisa

Este estudo é uma pesquisa aplicada de natureza qualitativa, orientada à solução de um problema prático identificado no COA da empresa estudada. O método é a pesquisa-ação, pois o pesquisador está inserido no ambiente investigado e a proposta visa gerar uma intervenção concreta e imediatamente utilizável (Thiollent, 2022).

A pesquisa se apoia em três fontes: (a) observação participante do processo atual de monitoramento e tratamento de desvios no COA,

incluindo o escalonamento hierárquico; (b) análise documental de registros de ocorrências, relatórios de desempenho e históricos de indicadores do sistema do COA; e (c) revisão bibliográfica sobre Gestão da Qualidade, análise de causa raiz e operações agroindustriais, com recorte de 2010 a 2026.

3.2 Contexto do Estudo

O Centro Operacional Agrícola da empresa estudada é uma estrutura de monitoramento centralizado que acompanha, em tempo real, indicadores-chave de operações de colheita de cana-de-açúcar e de grãos distribuídas em diferentes regiões do Brasil. Conta com uma equipe de analistas que monitoram continuamente esses indicadores e acionam fluxos de resposta quando há desvios.

O COA é tratado como dado: parte-se do pressuposto de que existe, funciona e possui um fluxo de escalonamento estabelecido. O foco não recai sobre a tecnologia de monitoramento, mas sobre o tratamento dos desvios que persistem após o esgotamento das respostas convencionais.

3.3 Caminho Metodológico

A construção do artigo seguiu um percurso metodológico estruturado em cinco etapas sequenciais, descritas a seguir.

Etapla 1 - Observação do processo atual: o pesquisador acompanhou o funcionamento rotineiro do COA, registrando como os desvios são identificados, comunicados e tratados ao longo do fluxo de escalonamento hierárquico. Foram mapeados os quatro níveis de escalonamento, os meios de comunicação utilizados em cada nível e os prazos de resposta esperados.

Etapla 2 - Identificação das situações em que o escalonamento não é suficiente: a partir da observação e da análise de registros históricos de ocorrências, foram identificadas as situações-tipo em que o fluxo de escalonamento se esgota sem resultado. Essa etapa tornou visível o ponto de ruptura do modelo convencional — o momento em que a resposta operacional imediata não é suficiente e um mecanismo complementar se faz necessário.

Etapla 3 - Definição de critérios objetivos para desvios persistentes (detalhada na Seção 3.4): em resposta à lacuna identificada na Seção 1.2, foram propostos três critérios quantificáveis para classificar um desvio como persistente, funcionando como gatilho objetivo que torna o acionamento das ferramentas da qualidade sistemático e independente do julgamento individual.

Etapla 4 - Aplicação do Diagrama de Ishikawa a um caso selecionado: um desvio real — a queda recorrente do indicador de Hora de Corte nas operações de colheita de cana-de-açúcar — foi selecionado por atender simultaneamente aos três critérios de persistência. A análise foi conduzida em sessão com a equipe do COA, o Líder e o Gerente de Operação, percorrendo as seis categorias dos 6M e resultando na identificação e priorização quantitativa das causas raiz.

Etapla 5 - Estruturação do ciclo PDCA: com as causas raiz priorizadas, foi elaborado um plano de ação estruturado no formato 5W2H

para cada causa, com responsáveis, prazos, metas mensuráveis e critérios de verificação. O ciclo PDCA completo foi estruturado para orientar a execução, o monitoramento dos resultados e a padronização das ações eficazes.

3.4 Critérios para Caracterização de Desvios Persistentes

Em resposta à lacuna metodológica identificada na Seção 1.2, esta seção apresenta três critérios operacionalizáveis, independentes de julgamento individual e aplicáveis de forma sistemática no cotidiano do COA. Eles não descrevem o que já acontece na prática atual: descrevem o que deve acontecer a partir da adoção da abordagem proposta.

Propõe-se que um desvio operacional seja classificado como persistente quando atender a pelo menos um dos seguintes critérios:

Critério 1 - Não resolução após escalonamento completo: o indicador permanece fora da faixa de normalidade por período superior ao prazo definido pelo nível máximo de escalonamento (Gerente de Operação), sem que nenhuma das ações corretivas implementadas tenha sido eficaz.

Critério 2 - Recorrência: o mesmo tipo de desvio, no mesmo indicador, na mesma operação ou equipamento, ocorre mais de duas vezes em um período de 30 dias consecutivos, independentemente de ter sido resolvido pontualmente em cada ocorrência.

Critério 3 - Impacto acumulado relevante: o desvio, mesmo sendo corrigido em cada ocorrência, acumula impacto total no indicador que supera o limite de tolerância definido pela gestão para o período (safra, mês ou semana).

Classificado o desvio como persistente, torna-se obrigatória a abertura de um processo de análise de causa raiz com o Diagrama de Ishikawa, seguido da estruturação de um ciclo PDCA. Esses critérios foram desenvolvidos com base na observação participante e na análise dos registros históricos de ocorrências do COA.

4. APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE ISHIKAWA A UM CASO SELECIONADO

4.1 Descrição do Problema Analisado

O desvio selecionado para aplicação do Diagrama de Ishikawa é a queda recorrente do indicador de Hora de Corte nas operações de colheita de cana-de-açúcar. A Hora de Corte expressa o percentual de tempo em que a colhedora está efetivamente realizando o corte da cana em relação ao tempo total disponível para a operação. O padrão estabelecido pelo COA para esse indicador é de 70% ou mais.

No caso analisado, os registros do sistema evidenciam que a Hora de Corte permaneceu em média de 49,3% ao longo de quatro semanas consecutivas em um polo monitorado, com três ocorrências abaixo de 55% no período. Em cada uma, o escalonamento foi acionado integralmente — níveis 1 a 4 —, sem recuperação sustentada. O desvio atende simultaneamente aos três critérios de persistência da Seção 3.4.

O problema é declarado da seguinte forma: "A Hora de Corte da operação de colheita permaneceu abaixo de 55% — média de 49,3% —, em múltiplas ocorrências consecutivas, com 21 pontos percentuais de distância em relação à meta de 70%, sem recuperação sustentada após o escalonamento completo aos quatro níveis hierárquicos disponíveis."

4.2 Análise das Causas por Categoria (6M)

A análise foi conduzida em sessão estruturada com a equipe do COA, o Líder e o Gerente de Operação, na qual foram identificadas 13 causas potenciais distribuídas pelas seis categorias dos 6M, descritas a seguir.

Fonte: Autoria própria

Figura 1 - Diagrama de Ishikawa: causas potenciais da queda da hora de corte

Fonte: Autoria própria.

Máquina

Desgaste acentuado do sistema de corte de base, reduzindo a capacidade de processamento da cana.

Problemas intermitentes no sistema de alimentação, gerando paradas não programadas durante a operação.

Necessidade de manutenção corretiva frequente, aumentando o tempo de parada e reduzindo o tempo produtivo.

Método

Ausência de procedimento padronizado para verificação do estado do sistema de corte antes do início de cada turno.

Critério de acionamento da manutenção baseado em falha completa, em vez de manutenção preventiva por condição.

Fluxo de comunicação entre COA e campo sem registro formal das ações realizadas em cada nível de escalonamento.

Mão de obra

Variação significativa de desempenho entre operadores com diferentes níveis de experiência na condução da colhedora.

Ausência de treinamento padronizado e recente para os operadores sobre ajustes operacionais em condições adversas de talhão.

Alta rotatividade de operadores no início da safra, com operadores novos assumindo máquinas sem período adequado de acompanhamento.

Material

Alta variabilidade nas condições da cana colhida: variedades com distintas relações fibra/sacarose exigindo ajustes na colhedora que não estavam sendo realizados.

Presença de material estranho (pedras, terra compactada) em talhões que não foram adequadamente preparados para a colheita.

Meio ambiente

Condições de umidade excessiva do solo em determinados talhões, reduzindo a velocidade operacional e aumentando o tempo de manobra entre linhas.

Topografia irregular em parte dos talhões, exigindo paradas frequentes para ajuste de rota e reduzindo o tempo efetivo de corte.

Medição

Ausência de distinção automática entre paradas programadas (troca de turno, abastecimento) e não programadas nos registros do sistema, distorcendo o valor real do indicador de Hora de Corte.

4.3 Priorização das Causas Raiz pelo Índice de Criticidade

Para conferir rigor metodológico à priorização, as causas identificadas foram avaliadas quantitativamente por meio de um Índice de Criticidade (IC), calculado pela combinação de três critérios: Frequência de Ocorrência (F), Severidade do Impacto no Indicador (S) e Capacidade de Intervenção da Organização (CI). O índice é obtido pela fórmula:

$$\mathbf{IC = F \times S \times CI}$$

A escala adotada para cada critério é de 1 a 5, conforme definição abaixo.

Frequência de Ocorrência (F)

Pontuação	Descrição
1	Rara, ocorre menos de 1 vez por mês
2	Ocasional, ocorre 1 a 2 vezes por mês
3	Regular, ocorre 3 a 5 vezes por mês
4	Frequente, ocorre 6 a 10 vezes por mês
5	Muito frequente, ocorre mais de 10 vezes por mês

Severidade do Impacto no Indicador (S)

Pontuação	Descrição
1	Mínima, queda de até 2 pontos percentuais no indicador de Hora de Corte
2	Baixa, queda entre 2 e 5 pontos percentuais
3	Moderada, queda entre 5 e 10 pontos percentuais
4	Alta, queda entre 10 e 15 pontos percentuais
5	Crítica, queda superior a 15 pontos percentuais

Capacidade de Intervenção da Organização (CI)

Pontuação	Descrição
------------------	------------------

1	Muito baixa, requer recursos externos ou investimento elevado; fora do controle operacional imediato
2	Baixa, depende de aprovações ou recursos externos; prazo longo de implementação
3	Média, requer coordenação entre áreas internas; prazo médio de implementação
4	Alta, ação interna viável; equipe e recursos disponíveis; prazo curto
5	Muito alta, ação imediata, baixo custo, executável pela própria equipe do COA

Nota metodológica: a Capacidade de Intervenção é tratada como fator positivo de priorização. Causas sobre as quais a organização tem alta capacidade de agir são priorizadas em relação às que estão fora de seu controle, ainda que igualmente frequentes ou severas. Causas de alto impacto, mas baixa governança (clima, topografia), recebem CI baixa e menor índice, direcionando o esforço para onde há real possibilidade de melhoria — lógica que distingue o IC do RPN do FMEA, que prioriza apenas por frequência e severidade.

A aplicação da escala às causas identificadas na sessão de análise resultou na seguinte matriz de priorização:

Causa Raiz Identificada	Categoria (6M)	F	S	CI	IC
Ausência de rotina de manutenção preventiva por condição do sistema de corte	Método / Máquina	4	5	4	80
Ausência de treinamento padronizado para operadores em condições adversas de talhão e cana	Mão de obra	4	4	5	80

Falta de distinção entre paradas programadas e não programadas nos registros do sistema	Medição	4	3	5	60
Alta variabilidade de desempenho entre operadores de diferentes níveis de experiência	Mão de obra	3	4	4	48
Ausência de registro formal das ações realizadas em cada nível de escalonamento	Método	3	3	5	45
Problemas intermitentes no sistema de alimentação da colhedora	Máquina	3	4	3	36
Alta variabilidade e nas condições da cana colhida (relação fibra/sacarose)	Material	3	3	2	18
Presença de material estranho em talhões sem preparo adequado	Material	2	3	2	12
Condições de umidade excessiva do solo em determinadas	Meio ambiente	3	3	1	9

os talhões					
Topografia irregular com necessidade de paradas frequentes para ajuste de rota	Meio ambiente	2	2	1	4

Com base no IC, as três causas raiz priorizadas para o ciclo PDCA foram: (1) ausência de manutenção preventiva por condição do sistema de corte (IC = 80), de maior prioridade pela alta frequência, impacto crítico e viabilidade interna; (2) ausência de treinamento padronizado para operadores em condições adversas (IC = 80), com altíssima capacidade de intervenção via ação formativa; e (3) falta de distinção entre paradas programadas e não programadas nos registros (IC = 60), que distorce o desempenho real do indicador e compromete as decisões subsequentes.

As causas externas — condições climáticas e topografia (IC = 9 e IC = 4) — registraram os menores índices, refletindo a baixa capacidade de intervenção no curto prazo, o que as exclui do plano de ação imediato sem desconsiderá-las como variáveis de contexto.

5. ESTRUTURAÇÃO DO CICLO PDCA PARA TRATAMENTO E ACOMPANHAMENTO

5.1 Plan (Planejar)

Com base nas causas raiz identificadas e priorizadas, foi elaborado um plano de ação estruturado no formato 5W2H para cada causa.

Causa 1 - Manutenção preventiva do sistema de corte

O quê: Implantar rotina de inspeção e manutenção preventiva do sistema de corte com base em critérios de condição (horas operadas e estado das facas), em vez de manutenção apenas por falha.

Por quê: Reduzir as paradas não programadas decorrentes de desgaste excessivo, aumentando o tempo efetivo de corte.

Quem: Supervisor de manutenção, em conjunto com o Líder de Operação.

Quando: Implantação em até 15 dias a partir da validação do plano.

Onde: Todas as colhedoras do polo monitorado.

Como: Elaboração de checklist de inspeção pré-turno e definição de limites de intervenção por horas operadas.

Quanto: Custo de implantação a ser levantado pela equipe de manutenção.

Meta: Redução de 40% no tempo de parada não programada por falha no sistema de corte em 30 dias.

Causa 2 - Treinamento de operadores

O quê: Realizar treinamento prático padronizado para todos os operadores de colhedora, com foco em ajustes operacionais para condições adversas de talhão e cana.

Por quê: Reduzir a variabilidade de desempenho entre operadores e aumentar a autonomia para ajustes em campo.

Quem: Líder de Operação, com suporte do setor de Recursos Humanos e Treinamento.

Quando: Primeira turma em até 20 dias; demais turmas em até 45 dias.

Onde: Campo, no próprio ambiente de operação.

Como: Treinamento em dupla (operador experiente + novo), com avaliação prática ao final.

Meta: Redução da variação de desempenho entre operadores para menos de 10 pontos percentuais no indicador de Hora de Corte.

Causa 3 - Qualidade da informação de monitoramento

O quê: Ajustar os parâmetros de classificação de paradas no sistema de monitoramento para distinguir automaticamente paradas programadas de não programadas.

Por quê: Garantir que o indicador de Hora de Corte reflita com precisão o desempenho real da operação, sem distorção por eventos programados.

Quem: Analista de sistemas do COA, em conjunto com o suporte técnico do sistema de monitoramento.

Quando: Em até 10 dias.

Como: Revisão e atualização dos parâmetros de categorização de paradas no sistema.

Meta: Eliminação das inconsistências de registro entre sistemas, com alinhamento dos critérios de medição.

5.2 Do (Executar)

As ações são implementadas pelos responsáveis definidos, dentro dos prazos. Durante a execução, o COA registra as intervenções e os desvios em relação ao plano, mantendo uma trilha de auditoria do processo de melhoria. A comunicação entre COA e campo segue pelos canais habituais, com o diferencial de que as ações agora integram um plano formal e rastreável — mudança estrutural em relação ao escalonamento convencional, que não registra as ações de cada nível.

5.3 Check (Verificar)

Ao longo do prazo de execução e após seu término, o COA monitora o indicador de Hora de Corte em comparação com a linha de base anterior à implantação das ações (média de 49,3%). Os seguintes pontos de verificação são estabelecidos:

Verificação intermediária em 15 dias: análise da evolução do indicador e das ações já implementadas.

Verificação final em 45 dias: avaliação dos resultados em relação às metas definidas no plano.

Critério de sucesso: indicador de Hora de Corte sustentado acima de 70% por pelo menos 15 dias consecutivos após a implantação completa das ações.

Caso as metas não sejam atingidas, a equipe retorna à fase Plan para revisar as causas identificadas e as ações propostas, iniciando um novo ciclo.

5.4 Act (Agir)

Se o Check confirma a eficácia das ações, as melhorias são padronizadas: o checklist de manutenção preventiva entra no procedimento operacional padrão das colhedoras; o treinamento de operadores integra-se ao calendário fixo de capacitação, com aplicação no início de cada safra; e os novos parâmetros de classificação de paradas são documentados e replicados aos demais polos. A padronização evita que o aprendizado do ciclo PDCA se perca, tornando-se parte da rotina do COA — e iniciando o ciclo SDCA de manutenção do novo padrão.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resultados da Aplicação

Para avaliar o que a aplicação do protocolo efetivamente produziu, é necessário contrastá-la com o estado anterior — o que o escalonamento convencional havia gerado após quatro semanas de ocorrências e quatro ciclos completos de escalada hierárquica. O quadro comparativo a seguir sintetiza essa diferença.

Estado anterior ao protocolo (quatro semanas de escalonamento convencional):

Indicador de Hora de Corte: média de 49,3%, com três ocorrências abaixo de 55% em 30 dias.

Ciclos de escalonamento acionados: quatro, cada um acionando os quatro níveis hierárquicos (Níveis 1 a 4).

Causas raiz identificadas: zero — nenhum dos quatro ciclos resultou no registro de uma causa raiz para o desvio.

Responsáveis nominados para acompanhamento: zero — o escalonamento não define dono do problema além do turno em andamento.

Metas de melhoria estabelecidas: zero — cada ciclo buscava retornar o indicador à normalidade no turno, sem meta de melhoria sustentada.

Qualidade do indicador questionada: zero — em nenhum dos quatro ciclos houve questionamento sobre se o valor registrado pelo sistema era preciso.

Registro de ações: zero — os logs do sistema continham registros de alerta e de escalonamento, mas não das ações tomadas em campo em cada nível.

Estado após a aplicação do protocolo (uma sessão estruturada com Diagrama de Ishikawa e ciclo PDCA):

Causas potenciais mapeadas: 13, distribuídas nas seis categorias dos 6M.

Causas raiz priorizadas: três, com Índice de Criticidade de 80, 80 e 60, respectivamente.

Causa sistêmica de Medição identificada: uma — a ausência de distinção automática entre paradas programadas e não programadas, que distorcia o valor real do indicador e nunca havia sido investigada.

Responsáveis nominados: três — um para cada plano de ação, com prazo e meta numérica definidos.

Metas estabelecidas: três — redução de 40% em paradas não programadas (Causa 1), variação entre operadores inferior a 10 pp (Causa 2) e eliminação de inconsistências de medição (Causa 3).

Critério de sucesso geral definido: Hora de Corte $\geq 70\%$ sustentada por 15 dias consecutivos.

Trilha de auditoria gerada: sim — o plano 5W2H registra cada decisão, seu responsável e seu prazo.

Três resultados concretos emergem desse contraste.

Primeiro resultado: identificação de uma causa sistêmica invisível ao escalonamento. Entre as 13 causas potenciais, a da categoria Medição — ausência de distinção automática entre paradas programadas e não programadas — revelou que parte da queda do indicador decorria de distorção na medição, e não de perda real de desempenho. Os quatro ciclos de escalonamento anteriores trataram o desvio como problema de campo sem nunca questionar a qualidade da informação que o alimentava; nenhum nível possui protocolo para investigar o sistema de medição, e essa causa só se tornou visível pela análise estruturada com o diagrama.

Segundo resultado: priorização fundamentada e auditável, com afastamento explícito de causas externas. O Índice de Criticidade produziu uma hierarquia quantificada com IC de 4 (topografia) a 80 (manutenção preventiva e treinamento). As três causas priorizadas ($IC \geq 60$) são todas internas e tratáveis; as de maior impacto externo — umidade do solo ($IC = 9$) e topografia ($IC = 4$) — foram reconhecidas como contexto e afastadas do plano imediato por baixa capacidade de intervenção, decisão que, num processo convencional, seria implícita e que aqui ficou documentada por critério explícito.

Terceiro resultado: geração de um plano de ação rastreável, estruturalmente ausente no modelo anterior. O contraste entre o estado anterior (quatro ciclos sem registro de causas, responsável ou critério de verificação) e o posterior (três planos 5W2H com dono, prazo, meta numérica e critério de sucesso) demonstra que o protocolo não apenas gerou diagnóstico, mas transformou a gestão do problema: de resposta reativa e não documentada para processo estruturado e rastreável.

6.2 Discussão

O primeiro resultado — a identificação da causa sistêmica de Medição — confirma e estende o achado de Freitas, Melo e Rodrigues (2023): em ambos os casos, a causa raiz predominante estava em uma dimensão (Medição neste estudo, lacuna de capacitação no dos autores) que o escalonamento não tem protocolo para investigar. Vai-se além ao documentar que a causa invisível pode ser a própria qualidade da medição do indicador. Quando a causa raiz está na Medição, o escalonamento é contraproducente: a equipe de campo foi acionada quatro vezes para corrigir uma Hora de Corte parcialmente distorcida pelo sistema de registro. É uma cegueira estrutural do modelo, que pressupõe a confiabilidade do indicador sem verificá-la — daí a categoria Medição dever ser sistematicamente investigada, não tratada como residual.

O segundo resultado — a priorização objetiva com afastamento de causas externas — desafia a prática de priorizar apenas por frequência e severidade. Werkema (2012) e a literatura de FMEA recomendam índices que combinam esses dois fatores; no caso, um índice $F \times S$ colocaria a umidade do solo ($F=3$, $S=3$) e a topografia ($F=2$, $S=2$) como prioridade moderada, concorrendo com causas internas. A inclusão da Capacidade de Intervenção reposiciona essas causas externas ao fim da hierarquia ($IC = 9$ e $IC = 4$), explicitando que alta frequência e severidade não justificam priorização sem governança sobre a causa — evitando concentrar o esforço em causas externas de difícil controle em detrimento de causas internas tratáveis.

O terceiro resultado — a rastreabilidade como mudança estrutural — vai além do que Paladini (2019) descreve ao tratar a ausência de registros como problema de memória organizacional. O caso revela um problema anterior ao aprendizado: a ausência de registro das ações de cada ciclo impediu, na própria sessão de análise, que a equipe soubesse o que já fora tentado e por que falhara, tornando-a um exercício reconstrutivo baseado na memória individual. A ausência de rastreabilidade não é só obstáculo ao aprendizado futuro, mas ao diagnóstico presente: sistemas que registram alertas e escalonamentos, mas não as ações em resposta, geram uma ilusão de rastreabilidade insuficiente quando a análise estruturada é necessária.

Quanto à generalização, os resultados têm aplicabilidade além do COA investigado. O modelo de escalonamento com as quatro limitações da Seção 1.1 é usado em diversas centrais de monitoramento — controle logístico, transportes, salas de situação de utilities —, onde os desvios crônicos são análogos: variabilidade multifatorial, diagnóstico distribuído e ausência de protocolos de transição. Os três critérios de persistência (Seção 3.4) e o Índice de Criticidade com fator CI são transferíveis a esses contextos, com adaptação das escalas — horizonte natural de pesquisas futuras.

Quanto às limitações, os resultados descrevem a aplicação a um único caso, em um único polo, em pesquisa-ação com pesquisador inserido na organização. A evolução efetiva da Hora de Corte será verificada na fase Check, cujo prazo se estende por 45 dias, constituindo a continuação natural da pesquisa. A comparação entre o estado anterior e o posterior é qualitativa estruturada: demonstra a diferença de processo, não ainda a de resultado no indicador. A demonstração quantitativa — melhoria sustentada acima de 70% — depende da conclusão do ciclo PDCA, evidência que este artigo, dado o caráter prospectivo das ações, ainda não pôde produzir.

7. CONCLUSÕES

Este artigo demonstrou que o escalonamento convencional em Centros Operacionais Agrícolas, apesar de importante para a resposta imediata, possui limitações estruturais diante de desvios de causas sistêmicas, múltiplas ou recorrentes. Quando o desvio persiste após o acionamento de todos os níveis hierárquicos, é necessário um mecanismo complementar — estruturado e sistemático — para investigar as causas subjacentes e conduzir a melhoria contínua.

A abordagem proposta — critérios formais de persistência como gatilho, Diagrama de Ishikawa para análise de causa raiz e ciclo PDCA para tratamento e controle — responde a essa necessidade. Aplicada à queda recorrente da Hora de Corte, produziu três contribuições: a identificação de uma causa sistêmica de Medição despercebida em quatro ciclos anteriores; a priorização quantificada e auditável das causas, afastando fatores fora do controle organizacional; e um plano de ação rastreável com responsáveis, prazos e metas — estrutura inexistente no modelo convencional.

As contribuições metodológicas originais são: (a) três critérios objetivos para caracterizar desvios como persistentes, formalizando uma transição que a literatura reconhece como necessária mas não operacionaliza para o COA; e (b) o Índice de Criticidade com a Capacidade de Intervenção como terceiro fator, que direciona o esforço para causas com real potencial de tratamento, evitando priorizar causas de alto impacto mas baixa governança.

Como desdobramentos futuros, propõe-se: (a) a verificação empírica do ciclo PDCA após 45 dias, com análise da evolução da Hora de Corte ante a linha de base de 49,3%; (b) a validação dos critérios de persistência em outros indicadores e operações do COA; e (c) a expansão do protocolo para outros COAs e contextos análogos de monitoramento centralizado.

REFERÊNCIAS

CARPINETTI, L. C. R. Gestão da qualidade: conceitos e técnicas. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

DEMING, W. E. Out of the crisis. Cambridge: MIT Press, 1986.

FREITAS, R. A.; MELO, P. R.; RODRIGUES, C. F. Aplicação de ferramentas de análise de causa raiz em operações de colheita mecanizada: resultados e aprendizados. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 27, n. 4, p. 312-320, 2023.

ISHIKAWA, K. What is total quality control? The Japanese way. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1985.

JURAN, J. M.; GODFREY, A. B. Juran's quality handbook. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1998.

MARSHALL JUNIOR, I. et al. Gestão da qualidade e processos. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2022.

PALADINI, E. P. Gestão da qualidade: teoria e prática. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. Administração da produção. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SOUZA, M. A.; LEITE, R. M.; SOUZA, C. V. Centros operacionais agrícolas e monitoramento de desempenho: desafios e perspectivas no agronegócio brasileiro. Gestão & Produção, v. 28, n. 3, e5821, 2021.

THIOLLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. 19. ed. São Paulo: Cortez, 2022.

WERKEMA, M. C. C. Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.