

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PROF. ARMANDO JOSÉ FARINAZZO
CENTRO PAULA SOUZA

Claudiney Campos Bedoni
Gustavo Miguel Bernardo dos Santos
Juscélio Silva Araujo
Luis Fernando de Souza Borges
Marcos Roberto Mafra
Pedro Lucas de Lima Souza

ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO EM
COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Fernandópolis
2025

Claudiney Campos Bedoni
Gustavo Miguel Bernardo dos Santos
Juscélio Silva Araujo
Luis Fernando de Souza Borges
Marcos Roberto Mafra
Pedro Lucas de Lima Souza

ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO EM COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em Manutenção de Máquinas Pesadas, no Eixo de Controle e Processos Industriais, à Escola Técnica Estadual Professor Armando José Farinazzo, sob orientação do Professor Marcos Antonio de Assis.

Fernandópolis
2025

Claudiney Campos Bedoni
Gustavo Miguel Bernardo dos Santos
Juscélio Silva Araujo
Luis Fernando de Souza Borges
Marcos Roberto Mafra
Pedro Lucas de Lima Souza

ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO EM COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção da Habilitação Profissional Técnica de Nível Médio de Técnico em Manutenção de Máquinas Pesadas, no Eixo de Controle e Processos Industriais, à Escola Técnica Estadual Professor Armando José Farinazzo, sob orientação do Professor Marcos Antonio de Assis.

Examinadores:

Alex Tomas Henrique de Souza

André Zagato Gomes

Marcos Antonio de Assis

Fernandópolis
2025

DEDICATÓRIA

Dedicamos este artigo aos nossos familiares, amigos e professores, que não mediram esforços para que chegássemos até aqui. Dedicamos a nosso querido orientador, Marcos Antonio de Assis, que sempre compartilhou sua experiência de forma construtiva. Gratidão.

AGRADECIMENTOS

Dedicamos este Trabalho de Conclusão de Curso aos nossos professores, que foram fundamentais ao longo de nossa jornada, compartilhando conhecimento e nos orientando com dedicação. Ao nosso professor orientador, Marcos Antonio de Assis, que nos acompanhou de perto, oferecendo apoio, incentivo e direcionamento em cada etapa deste trabalho. Estendemos nossa dedicação aos amigos e colegas de classe, que, desde o início do curso, estiveram juntos, colaborando, apoiando e superando, em conjunto, cada desafio encontrado. E, de forma muito especial, dedicamos aos nossos familiares, que estiveram sempre ao nosso lado, oferecendo suporte, compreensão e encorajamento nos momentos mais difíceis, até a concretização desta conquista.

EPÍGRAFE

“Se você quer ser bem-sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si.”

Ayrton Senna

ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO EM COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Claudiney Campos Bedoni
Gustavo Miguel Bernardo dos Santos
Juscélio Silva Araujo
Luis Fernando de Souza Borges
Marcos Roberto Mafra
Pedro Lucas de Lima Souza

RESUMO: Este trabalho analisa a importância do planejamento e da gestão da manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar, com ênfase nas estratégias corretiva, preventiva e preditiva e seu impacto na confiabilidade operacional e na produtividade do setor sucroenergético. A pesquisa envolve revisão bibliográfica e estudos de caso reais, abordando os principais pontos de desgaste, causas de falhas e os custos associados à manutenção desses equipamentos. Os resultados evidenciam que a adoção de práticas estruturadas, aliadas ao uso de tecnologias de monitoramento e à capacitação das equipes, contribui significativamente para a redução de paradas não programadas, prolongamento da vida útil das colhedoras e otimização dos custos operacionais. Recomendações práticas são apresentadas visando aprimorar a gestão da manutenção, fortalecer a integração entre operação e logística e promover a sustentabilidade das operações agrícolas. O estudo contribui para a disseminação de uma cultura de manutenção orientada à confiabilidade e à competitividade no setor de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Colhedoras de cana-de-açúcar; manutenção preventiva; manutenção preditiva; confiabilidade operacional; planejamento de manutenção; custos operacionais.

ABSTRACT: This study analyzes the importance of maintenance planning and management in sugarcane harvesters, with emphasis on corrective, preventive, and predictive strategies and their impact on operational reliability and productivity in the sugar-energy sector. The research comprises a literature review and real case studies, addressing main wear points, failure causes, and costs associated with the maintenance of this equipment. The results show that the adoption of structured practices, combined with monitoring technologies and team training, significantly reduces unplanned downtime, extends the service life of harvesters, and optimizes operational costs. Practical recommendations are provided to improve maintenance management, strengthen the integration between operation and logistics, and promote the sustainability of agricultural operations. The study contributes to the dissemination of a maintenance culture focused on reliability and competitiveness in mechanized sugarcane harvesting.

Keywords: Sugarcane harvesters; preventive maintenance; predictive maintenance; operational reliability; maintenance planning; operational costs.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é crucial para o agronegócio brasileiro, destacando-se pela produção e exportação de açúcar, além de sua relevante contribuição para o abastecimento de biocombustíveis – especialmente o etanol – e para a geração de energia a partir do bagaço. O Brasil, maior produtor e exportador mundial de açúcar, obteve uma receita cambial de 8,7 bilhões de dólares em 2020, chegando a 12 bilhões de dólares em 2017 (Souza, 2018). Esse desempenho reflete não apenas a importância econômica do setor, mas também sua representatividade no cenário internacional.

Atualmente, a colheita da cana-de-açúcar é realizada predominantemente por colhedoras automatizadas, um grande avanço em relação ao início do processo, que era manual, envolvia queimadas e tinha apenas o carregamento mecanizado. Nas décadas de 1950 e 1960, melhorias importantes foram incorporadas ao corte mecanizado, com a importação das primeiras máquinas da Austrália (Ribeiro, Carlos, 2021). A mecanização da colheita eliminou as emissões de gases provenientes da queima da cana, reduzindo em 44% as emissões no estado de São Paulo entre 1990 e 2015, segundo estudo da Embrapa Meio Ambiente. Além dos benefícios ambientais, esse processo também trouxe avanços sociais, como a melhor qualificação da mão de obra e as condições de trabalho, e proporcionou ganhos econômicos ao reduzir custos e aumentar a eficiência (Hara, 2022).

Após a Primeira Revolução Industrial, as indústrias passaram a investir fortemente na otimização dos processos produtivos, com crescente mecanização e automação, tornando os equipamentos agrícolas cada vez mais complexos e de alto valor agregado. Nesse contexto, tornou-se imprescindível adotar práticas de controle e manutenção mais rigorosas para evitar falhas e minimizar perdas. O setor de manutenção evoluiu, ao longo dos anos, de uma função meramente corretiva para estratégias preventivas e preditivas, impulsionadas pela competitividade do mercado, redução de custos e busca contínua por maior produtividade (Oliveira, 2013; Ota Junior, 2023).

A intensificação do uso de máquinas agrícolas e as condições adversas de operação promovem desgaste significativo em peças e componentes. Para garantir alto rendimento operacional durante a safra, é fundamental reduzir o tempo de indisponibilidade mecânica e evitar manutenções corretivas emergenciais. Ademais,

a adoção de um plano de manutenção estruturado durante a entressafra contribui para o melhor custo-benefício e para o prolongamento da vida útil das colhedoras ao longo de múltiplas safras (Banchi, et. al., 2012).

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar a importância do planejamento da manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar, abordando as principais estratégias de manutenção – corretiva, preventiva e preditiva –, bem como as práticas voltadas à confiabilidade operacional e à redução de falhas. Busca-se, por meio de revisão bibliográfica, estudos de caso e análise de dados de manutenção, apresentar recomendações para otimizar a eficiência, reduzir custos e prolongar a vida útil desses equipamentos, contribuindo para a sustentabilidade e a produtividade do setor sucroenergético.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE COLHEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A trajetória da colheita de cana-de-açúcar no Brasil reflete a evolução tecnológica e as mudanças de paradigma no setor agrícola ao longo das décadas. Inicialmente, predominava o corte manual, que exigia intensa mão de obra e utilizava a queimada como recurso para facilitar o manejo dos campos. O carregamento, por sua vez, era realizado mecanicamente, configurando um processo híbrido entre técnicas tradicionais e incipientes avanços mecanizados. Durante as décadas de 1950 e 1960, observou-se um salto significativo com a introdução das primeiras máquinas importadas da Austrália, marcando o início da mecanização no campo, embora essas ainda dependessem da queimada para operação eficiente—a preocupação ambiental, naquele período, era praticamente inexistente (NOVA CANA, 2013).

2.1.1. Colheita manual: práticas tradicionais e uso de queimadas

O corte manual associado à queima da palha foi a tônica da colheita durante grande parte do século XX. Essa prática, apesar de tradicional, gerava substanciais emissões de gases de efeito estufa, como CO₂ e CH₄, contribuindo para a degradação ambiental e poluição atmosférica. Mesmo a cana sendo uma cultura eficiente na fixação de carbono, a liberação abrupta de CO₂ resultante da queima impactava negativamente o ciclo do carbono na agroindústria. Como resposta à

crescente conscientização ambiental, legislações estaduais, como a Lei nº 11.241/2002 e o Protocolo Ambiental de 2007 em São Paulo, instituíram a eliminação gradual da queimada: a partir de 2014 em áreas mecanizáveis e de 2017 nas demais áreas, direcionando o setor para métodos mais sustentáveis (Revista Cultivar, 2015).

2.1.2. Introdução da mecanização

O avanço da mecanização na agricultura foi impulsionado pela necessidade de aumentar a produtividade e atender ao crescimento populacional e à urbanização. Desde o século XVIII, ferramentas rudimentares foram substituídas por implementos de tração animal e, posteriormente, por máquinas motorizadas, o que elevou substancialmente a eficiência agrícola. Invenções como a colheitadeira de grãos, a descaroçadora de algodão e o desenvolvimento de arados de aço robustos representaram marcos tecnológicos no setor. Nos Estados Unidos, a adoção pioneira de colheitadeiras a vapor foi determinante para o surgimento da agricultura em larga escala (Auster Tecnologia, 2019). No caso brasileiro, a mecanização da colheita de cana-de-açúcar consolidou-se décadas mais tarde, especialmente em resposta à legislação ambiental e à demanda por maior produtividade.

2.1.3. Adoção de colhedoras automatizadas no Brasil

A transição definitiva para colhedoras automatizadas no Brasil foi motivada por pressões ambientais, econômicas e pela necessidade de otimizar a eficiência operacional. O processo de mecanização não se restringiu apenas à substituição da mão de obra, mas implicou em revisões profundas no manejo da lavoura, sincronização entre colhedoras e equipamentos de transbordo e regulagem de componentes-chave, como extratores primários. Estudos recentes mostram que uma colhedora moderna pode processar entre 150 e 180 toneladas por hora; porém, a média nacional ainda está entre 30 e 80 toneladas/hora, evidenciando que gargalos operacionais persistem e requerem simulação e análise para sua mitigação (Biasotto, 2017).

2.1.4. Impactos na produtividade e eficiência da colheita

Apesar dos notórios ganhos da mecanização, o uso intensivo de máquinas pode trazer consequências negativas, como a compactação do solo e danos aos colmos remanescentes, prejudicando a estrutura do solo e, conseqüentemente, sua capacidade de retenção de ar, água e nutrientes. Além disso, cortes de base mais altos e menor densidade de plantas podem reduzir o potencial produtivo das áreas colhidas. Tais impactos exigem ajustes constantes nas práticas de manejo, adoção de tecnologias mitigadoras e, sobretudo, um planejamento criterioso das operações para garantir a sustentabilidade da cultura (Dias & Sentelhas, 2018).

2.1.5. Benefícios da colheita mecanizada

Por outro lado, os benefícios da colheita mecanizada são amplamente reconhecidos. Segundo Biasotto (2017), a mecanização foi fundamental para tornar o setor sucroenergético brasileiro mais sustentável, com reflexos positivos na economia, no meio ambiente, na agronomia e no contexto social. Economicamente, houve expressiva redução de custos e aumento de eficiência. Ambientalmente, a mecanização contribuiu para eliminar as queimadas, conservar a cobertura vegetal e melhorar a fertilidade do solo. Socialmente, a demanda por profissionais mais qualificados impulsionou a valorização e capacitação da mão de obra rural. Dados do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) apontam que, entre 2008 e 2015, a área colhida por máquinas saltou de 47% para 97% na região Centro-Sul do Brasil, demonstrando a consolidação desse modelo. Embora a produtividade diária de uma colhedora varie entre 400 e 700 toneladas, há potencial para ganhos ainda maiores, condicionados à incorporação de melhores práticas de operação, treinamento e manutenção eficiente dos equipamentos.

2.2. MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS: DA CORREÇÃO À PREVENÇÃO

A evolução da mecanização agrícola no Brasil transformou radicalmente as práticas de manutenção de máquinas e equipamentos utilizados no campo. Em

sua fase inicial, especialmente antes da Segunda Guerra Mundial, a manutenção era predominantemente corretiva: realizava-se apenas quando ocorriam falhas, refletindo um contexto de baixa mecanização, equipamentos superdimensionados e ausência de equipes técnicas especializadas para intervenções rotineiras (Kardec & Nascif, 2009). Nessa época, grandes panes eram solucionadas, muitas vezes, com o suporte direto dos fabricantes, sem procedimentos sistematizados de prevenção (Branco Filho, 2008).

Com o avanço tecnológico e o aumento da complexidade dos equipamentos agrícolas, especialmente a partir do pós-guerra, tornou-se evidente a necessidade de métodos mais eficientes de gestão e manutenção. A partir desse momento, o setor passou a valorizar práticas preventivas, buscando garantir maior disponibilidade das máquinas, reduzir custos com paradas não programadas e aumentar a produtividade do setor agrícola (Kardec & Nascif, 2009).

2.2.1. Tipos de manutenção

A NBR 5462 define três tipos principais de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva. Compreender suas diferenças é essencial para que empresas e produtores escolham a abordagem mais adequada para cada ativo, considerando o contexto operacional, o ciclo de vida dos equipamentos e os objetivos de desempenho (Cássia, 2025).

2.2.1.1. Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é caracterizada por intervenções reativas, realizadas após a ocorrência de uma falha ou defeito, com o objetivo de restaurar o funcionamento do equipamento. Apesar de ser, à primeira vista, uma alternativa mais econômica pela ausência de investimentos prévios, essa modalidade não considera os custos ocultos relacionados à perda de produtividade, à redução da qualidade do produto e à elevação dos riscos operacionais (Caroline, 2022). Dependendo do contexto, a indisponibilidade dos equipamentos pode gerar grandes prejuízos, tornando a dependência exclusiva da manutenção corretiva uma estratégia arriscada e pouco sustentável no médio e longo prazo.

2.2.1.2. Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é fundamentada na execução programada de inspeções, ajustes, lubrificações e substituições de componentes antes que falhas ocorram. Seu objetivo principal é prolongar a vida útil dos equipamentos, evitar paradas inesperadas e assegurar a eficiência operacional (Aegro, 2022). Essa abordagem é baseada no conhecimento dos intervalos médios de vida útil das peças, bem como no histórico de falhas e no acompanhamento sistemático do desgaste dos componentes (Bueno et al., 2011). Na prática, manuais dos fabricantes orientam a periodicidade das atividades — diárias, semanais, mensais ou anuais — e detalham procedimentos para inspeção, limpeza e troca de peças críticas. Cabe destacar que, em frotas antigas, muitas vezes sem manuais disponíveis, a adoção de um plano de manutenção geral é indispensável para garantir o bom funcionamento e a durabilidade dos equipamentos (Bueno et al., 2011).

2.2.1.3. Manutenção preditiva

Com os avanços da automação e da tecnologia embarcada, a manutenção preditiva tornou-se uma realidade cada vez mais acessível no campo. Nessa modalidade, sensores e sistemas informatizados monitoram, em tempo real, as condições dos equipamentos, possibilitando a identificação precoce de anomalias antes que se transformem em falhas graves (Santos, 2018). Técnicas como análise de óleo, vibração, temperatura, ruído e desgaste superficial permitem que intervenções sejam realizadas exatamente quando necessário, otimizando recursos, aumentando a confiabilidade e reduzindo custos com paradas inesperadas.

2.2.2. Manutenção como estratégia para produtividade e competitividade

A adoção de práticas de manutenção eficazes tornou-se um fator decisivo para a sustentabilidade econômica e operacional das empresas agrícolas. Um programa estruturado de manutenção não apenas reduz custos operacionais — ao antecipar e mitigar falhas — como também amplia a disponibilidade dos equipamentos, prolonga sua vida útil e promove um ambiente de trabalho mais seguro (Senior, 2023). Ao identificar e tratar problemas em estágios iniciais, a empresa reduz

o risco de paradas inesperadas, melhora o planejamento da produção e ganha vantagem competitiva sustentável, especialmente em setores de alta demanda e sazonalidade como a cana-de-açúcar.

2.2.3. Tendências atuais e futuras na manutenção agrícola

O setor de manutenção agrícola vem se reinventando diante das exigências do agronegócio moderno. Tecnologias como agricultura de precisão, bioinformática, rastreabilidade, certificações, monitoramento remoto, análise preditiva e integração com plataformas digitais e biotecnológicas já são realidade em grandes operações brasileiras. Máquinas mais potentes, automatizadas e conectadas elevaram o patamar da eficiência operacional e permitiram a redução de custos em escala. Nesse contexto, a implementação de estratégias de manutenção planejada e baseada em dados pode ampliar significativamente a durabilidade dos equipamentos e otimizar a utilização dos recursos.

No caso específico das colhedoras de cana, equipamentos de alto valor agregado e com custos expressivos de operação e manutenção, a gestão eficiente é determinante: essas máquinas podem representar até 80% dos custos totais da colheita mecanizada (Sales, 2019). Por isso, seguir rigorosamente as orientações dos fabricantes e investir em capacitação técnica da equipe são medidas fundamentais para garantir a confiabilidade, produtividade e a sustentabilidade das operações ao longo de toda a vida útil do ativo — tanto em condições favoráveis quanto em situações adversas.

2.3. DESGASTE E FALHAS EM COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

As colhedoras de cana-de-açúcar desempenham um papel fundamental na modernização e competitividade do setor sucroenergético, possibilitando a realização da colheita em larga escala, com rapidez e eficiência. Entretanto, a complexidade tecnológica desses equipamentos, aliada às severas condições de operação em ambientes agrícolas — presença de poeira, umidade, variações extremas de temperatura, exposição constante a detritos vegetais e produtos químicos —, acelera processos de desgaste e falhas nos componentes mecânicos, hidráulicos e eletrônicos. Como resultado, a eficiência operacional, a disponibilidade

das máquinas e os custos de manutenção tornam-se fatores críticos para o sucesso da atividade (Romero, 2025).

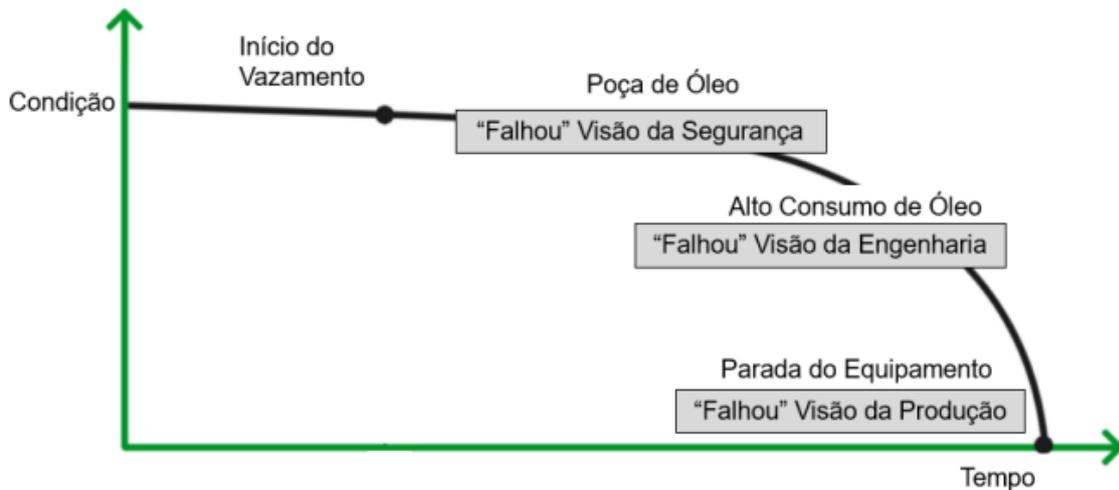
O desgaste acelerado pode afetar diferentes sistemas das colhedoras, como picadores, sistemas de corte de base, elevadores, divisores de linha, rolamentos, filtros, sistemas hidráulicos e motores. Tais desgastes não apenas aumentam o risco de paradas não programadas, mas também podem comprometer a qualidade da colheita, elevar o consumo de combustível, reduzir a vida útil do equipamento e impactar diretamente os custos operacionais. Por esse motivo, torna-se indispensável o desenvolvimento e a adoção de estratégias de mitigação e gestão proativa desses desgastes, fundamentadas em monitoramento, manutenção preventiva e análise criteriosa das condições de operação.

Segundo Lafraia (2002), uma falha pode ser definida como a perda da função prevista de um componente ou sistema. Mais especificamente, uma falha funcional ocorre quando determinado item não é capaz de desempenhar suas funções dentro dos parâmetros esperados de desempenho, qualidade ou segurança. No contexto das colhedoras de cana, essa definição ganha relevância ao se considerar os prejuízos decorrentes de uma parada não planejada durante o período de safra — que pode envolver desde atrasos na colheita até perdas econômicas expressivas devido à deterioração da matéria-prima no campo.

Diante desse cenário, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) surge como uma abordagem estratégica fundamental. O objetivo da MCC é preservar as funções essenciais dos sistemas, identificando, priorizando e controlando as falhas que possam causar maiores consequências à operação. Para isso, realiza-se uma análise aprofundada das funções críticas de cada subsistema da colhedora, classificando as falhas conforme o impacto potencial na produtividade, segurança e custos. Esse método possibilita o direcionamento eficiente dos recursos de manutenção, o aumento da confiabilidade e a redução dos riscos operacionais, tornando o processo produtivo mais robusto e sustentável, conforme o autor demonstra no Gráfico 1 (Peixoto Lunarti, 2023).

Estudos de caso realizados em usinas de bioenergia evidenciam que a análise sistemática das falhas recorrentes — por meio do monitoramento de indicadores, inspeções técnicas e histórico de manutenção — permite não apenas a antecipação de problemas, mas também a implementação de melhorias contínuas nos planos de manutenção e operação das colhedoras.

Gráfico 1 – Aplicação de MCC



Fonte: (Peixoto Lunarti, 2023)

2.3.1. Condições operacionais e desafios para a durabilidade

O ambiente operacional das colhedoras de cana-de-açúcar é caracterizado por condições severas e variáveis, com exposição constante a solos de diferentes composições, detritos vegetais, lama, umidade e agentes químicos como fertilizantes e pesticidas. Esses fatores contribuem diretamente para o desgaste acelerado dos sistemas mecânicos, hidráulicos e eletrônicos das máquinas. Além da abrasividade do solo, a presença de umidade e produtos corrosivos intensifica processos de corrosão, especialmente em componentes metálicos, exigindo o uso de materiais resistentes e práticas de manutenção rigorosas (Peixoto Lunarti, 2023).

2.3.2. Identificação dos principais pontos de falha

O estudo de Peixoto Lunarti (2023), consiste na análise detalhada de seis colhedoras do modelo CH570, que utilizando o princípio de Pareto, revelou que determinados sistemas concentram a maior parte das falhas. O sistema de picador, em particular, se destacou como o mais vulnerável, sendo responsável por uma parcela significativa das ocorrências de falhas em todos os equipamentos avaliados. Esse padrão indica não apenas uma possível limitação de projeto ou inadequação do material utilizado, mas também o impacto direto das condições de trabalho sobre a

performance desse subsistema. Sistemas como elevador, geração de potência e divisor de linha também foram identificados como críticos em determinadas máquinas, o que sugere a influência de variáveis operacionais, frequência e qualidade da manutenção, bem como o perfil de uso de cada unidade.

2.3.3. Implicações para a gestão da manutenção e oportunidades de melhoria

Os resultados do estudo evidenciam a necessidade de revisão e aprimoramento dos planos de manutenção das colhedoras de cana, com foco especial nos sistemas de maior incidência de falhas. A adoção de práticas preditivas e de monitoramento contínuo pode antecipar problemas e reduzir custos operacionais. Além disso, a capacitação de equipes técnicas e operadores, aliada à implementação de melhorias técnicas nos componentes críticos, pode aumentar a confiabilidade e a vida útil das máquinas. A identificação sistemática dos pontos de desgaste abre espaço para a inovação, seja por meio do uso de sensores para análise em tempo real, seja pelo desenvolvimento de peças com maior resistência ou adaptações baseadas no feedback do campo. Em última análise, a integração entre gestão, tecnologia e capacitação é decisiva para garantir a produtividade, sustentabilidade e competitividade no setor de colheita mecanizada da cana-de-açúcar (Peixoto Lunarti, 2023).

3. ESTUDOS DE CASO

3.1. DIAGNÓSTICO E FREQUÊNCIA DAS FALHAS EM SISTEMAS CRÍTICOS DE COLHEDORAS DE CANA

A ocorrência de falhas mecânicas em máquinas agrícolas, em especial nas colhedoras de cana-de-açúcar, representa um dos principais desafios para o setor, comprometendo a eficiência, a disponibilidade operacional e, conseqüentemente, a produtividade das operações. O estudo de Marcasso (2017), realizado em uma usina sucroenergética de referência nacional, oferece um panorama detalhado sobre a diversidade e a frequência das falhas observadas durante a safra de 2016/2017, com base no registro de 398 códigos de falha do sistema de diagnóstico de uma colhedora de cana.

A análise dos dados apresentados na Tabela 1 revela que os problemas mais recorrentes estão relacionados a sinais anômalos dos sistemas de aceleração, alimentação e sensores, destacando-se: Sinal do Acelerador Analógico Primário Fora da Faixa Baixa (68 ocorrências), Acelerador Analógico Primário Inibido (66 ocorrências) e Sinal de Água no Combustível Fora da Faixa Baixa (45 ocorrências). Além disso, falhas no monitoramento e controle dos sistemas de combustível e sensores também foram frequentemente registradas, como Incompatibilidade entre a Pressão Real do Trilho de Combustível e a Desejada (37 ocorrências) e Tensão de Alimentação do Sensor 3 Fora da Faixa Baixa (35 ocorrências). Outras anomalias relevantes incluem problemas em temperatura do reservatório hidráulico (15 ocorrências), nível baixo de óleo hidráulico (17 ocorrências) e falhas no motor do corte de base (28 ocorrências).

Esses dados evidenciam que a maior parte das falhas se concentra em sistemas eletrônicos e de sensores, além dos circuitos de alimentação de combustível e óleo, elementos que são críticos para o desempenho estável e seguro do equipamento. A recorrência desses códigos sugere não apenas possíveis fragilidades de projeto ou desgaste acelerado dos componentes, mas também lacunas nos processos de manutenção preventiva e preditiva, sobretudo no que tange ao monitoramento das condições de operação e à substituição de peças e filtros em tempo hábil.

O próprio histórico operacional indica que, durante a safra analisada, o cronograma de manutenções e análises preconizado pelo fabricante não foi seguido rigorosamente, resultando em pelo menos uma troca e uma análise a menos do que o recomendado. Além disso, o aumento significativo das concentrações de contaminantes no óleo — sem intervenção correspondente — evidencia uma gestão ineficaz da qualidade dos fluidos, fator responsável por até 80% das falhas em sistemas hidráulicos e motores, segundo literatura técnica. Problemas adicionais, como a não realização adequada de testes essenciais (exemplo: teste de blow-by), ausência de registros completos das peças utilizadas e procedimentos executados, e uso insuficiente de filtros, contribuem para o agravamento das condições do maquinário e para o encurtamento de sua vida útil.

Tabela 1 – Causas recorrentes de falhas

Nome	Nº de Ocorrências
Voltagem da bateria abaixo do limite inferior.	5
SPN 522363 - FMI 2	5
Falha na linha de entrada da direção do sensor que mede a velocidade rotacional do motor direito.	3
Movimento no volante detectado com o veículo em estacionamento.	18
Sinal do Acelerador Analógico Primário Fora da Faixa Baixa	68
Acelerador Analógico Primário Inibido	66
Sinal de Água no Combustível Fora da Faixa Alta	4
Sinal de Água no Combustível Fora da Faixa Baixa	45
Sinal de Temperatura do Ar do Coletor Extremamente Alta	1
Sinal de Temperatura do Ar do Coletor Ligeiramente Alta	4
Sinal de Temperatura do Ar do Coletor Moderadamente Alta	2
Nível do Líquido de Arrefecimento Extremamente Baixo	12
Pressão do Trilho de Combustível não Desenvolvida	2
Interruptor de Desligamento Externo Ativado	6
Incompatibilidade entre a Pressão Real do Trilho de Combustível e a Desejada	37
Temperatura do reservatório hidráulico	15
Motor em Condição de Redução de Potência	2
Nível baixo de óleo hidráulico	23
Nível baixo de óleo hidráulico -corte de base desativado	17
Tensão de Alimentação do Sensor 3 Fora da Faixa Baixa	35
Pressão do Motor do Corte de Base	28
Total de Ocorrência	398

Fonte: (Marcasso, 2017)

3.2. ANÁLISE DA CONFIABILIDADE E CUSTOS DE MANUTENÇÃO EM COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

O conceito de confiabilidade em equipamentos agrícolas, conforme estabelecido pela NBR 5462 (1994), representa a capacidade de um sistema de executar suas funções ao longo do tempo, sob condições operacionais definidas, minimizando falhas e maximizando o desempenho. Em colhedoras de cana-de-açúcar, a busca pela confiabilidade operacional está diretamente relacionada à adoção de estratégias avançadas de manutenção, capazes de antecipar falhas, otimizar intervenções e controlar custos.

O estudo de Sales (2019), realizado com aproximadamente 30 colhedoras do modelo CASE A-8800, fornece um panorama robusto dos custos de

manutenção ao longo dos períodos de safra e entressafra. No total, foram analisadas 193.495 intervenções, com um custo acumulado de mais de 6 milhões de reais. A segmentação desses custos por sistemas mecânicos permite identificar claramente os principais focos de despesas e as áreas críticas para a gestão da manutenção.

A análise da Tabela 2 evidencia que os maiores custos estão concentrados nos sistemas hidráulico (R\$ 697.670) e elétrico (R\$ 602.932), seguidos de peças aplicadas (R\$ 2.542.400, já englobando diferentes sistemas). O sistema hidráulico destaca-se não apenas pelo valor absoluto, mas também pela alta frequência de intervenções (12.247 registros), demonstrando ser um ponto vulnerável que exige atenção prioritária no planejamento de manutenções preventivas e preditivas. O sistema elétrico, por sua vez, embora apresente um menor número de intervenções em relação ao hidráulico, possui elevado custo agregado, o que pode ser atribuído à complexidade dos componentes e à necessidade de mão de obra especializada.

Tabela 2 – Custos concentrados por sistemas

Sistema	Safra		Entressafra		TOTAL	
	Qt.	(R\$)	Qt.	(R\$)	Qt.	(R\$)
Peças aplicadas	1.652	1.293.788	703	1.248.612	2.355	2.542.400
Hidráulico	9.292	562.963	2.955	134.707	12.247	697.670
Elétrico	6.557	515.701	1.225	87.231	7.782	602.932
Estrutura	1.515	223.281	723	131.962	2.238	355.243
Rodante	2.184	124.743	4.872	146.958	7.056	271.701
Motor	1.913	236.925	423	28.602	2.336	265.527
Elevador	2.948	125.470	2.303	136.260	5.251	261.730
Mat. desgaste	17.863	246.469	194	2.645	18.057	249.113
Outros	64.431	166.156	38.475	77.981	102.906	244.137
Alimentação	23.326	149.372	1.790	77.030	25.116	226.402
Limpeza	862	123.071	738	89.006	1.600	212.077
Rolo	4.540	81.677	1.303	55.411	5.843	137.088
Arrefecimento	664	28.333	44	8.072	708	36.404
TOTAL	137.747	3.877.949	55.748	2.224.477	193.495	6.102.424

Fonte: (Sales, 2019)

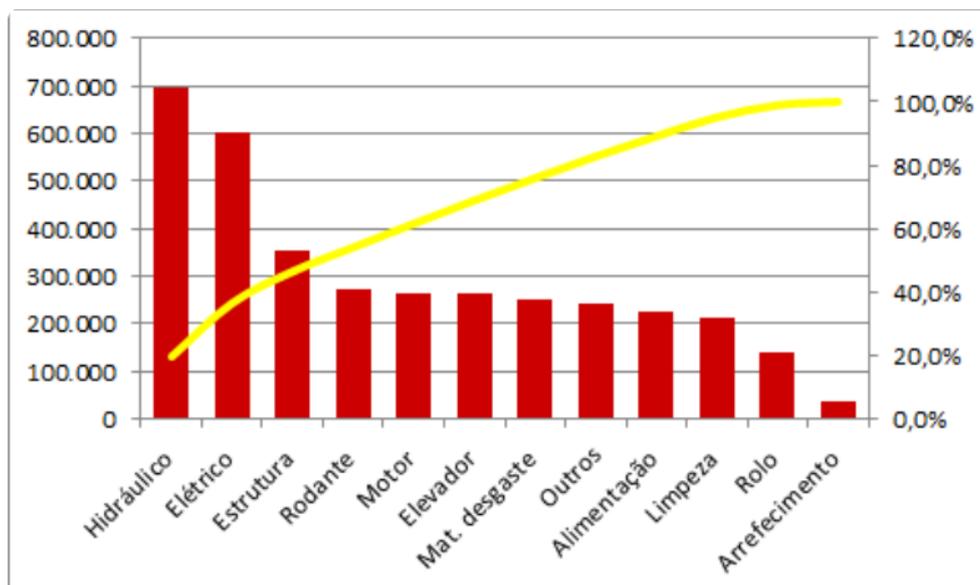
Outro ponto relevante é o custo distribuído entre safra e entressafra. A tabela mostra que, apesar de a maior parte das intervenções ocorrer durante a safra (137.747 contra 55.748 na entressafra), o custo de manutenção é considerável em

ambos os períodos, evidenciando que a gestão eficiente da manutenção deve ser contínua, não restrita aos períodos de alta demanda operacional.

Sistemas como motor, rodante, estrutura e elevador também apresentam custos expressivos, refletindo o impacto das condições severas de operação e a importância da manutenção sistemática desses subsistemas para garantir a disponibilidade global das colhedoras. Os itens classificados como “material de desgaste”, alimentação, limpeza, rolo e arrefecimento, ainda que com custos individuais mais baixos, quando somados, representam parcela significativa do total de intervenções e do orçamento de manutenção.

O Gráfico 2 apresentado reforça a concentração dos custos nos sistemas hidráulico e elétrico, sugerindo que intervenções direcionadas à melhoria da robustez e da confiabilidade desses componentes têm potencial para gerar economias substanciais e aumentar a disponibilidade operacional da frota.

Gráfico 2 – Concentração de custos



Fonte: (Sales, 2019)

4. ANÁLISE CRÍTICA: ESTRATÉGIAS E PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO EM COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

A manutenção das colhedoras de cana-de-açúcar evoluiu significativamente nas últimas décadas, deixando de ser uma atividade secundária para assumir um papel estratégico essencial na operação agrícola, influenciando

diretamente a produtividade e a lucratividade do setor. Os estudos realizados por Sales (2019) e Marcasso (2017), juntamente com dados coletados em campo, evidenciam claramente os desafios e a importância de uma gestão eficiente e estruturada da manutenção para garantir confiabilidade e desempenho operacional.

A tabela 3 apresentada para inspeções programadas a cada 500 horas fornece um exemplo prático e robusto de um plano detalhado para manutenção preventiva e corretiva das colhedoras. Esta tabela ilustra claramente os componentes críticos que exigem inspeções rotineiras, como o sistema de admissão de ar, hidráulico, rolos tombadores e alimentadores, rolo picador, sistema de corte de base, elevador, cabine e extratores primário e secundário. Essa abordagem sistemática permite antecipar falhas críticas, reduzindo significativamente as chances de paradas não programadas, que são responsáveis por altos custos operacionais e redução drástica da produtividade. A documentação e registro dessas atividades, detalhadas no checklist, garantem um acompanhamento eficiente e proporcionam um histórico valioso para análises futuras.

Tabela 3 – Checklist de inspeções a cada 500 horas

Sistema	Ações a Inspeccionar e Corrigir se Preciso	Bom	Ruim	N/A	Ajustou	Consertou	Trocou	Outro
Admissão de Ar	Verificar Pré-Filtro de Ar do motor							
Admissão de Ar	Mangueiras e abraçadeiras estão bem fixadas							
Admissão de Ar	Reapertar Parafusos das Bombas							
Sistema Hidráulico	Verificar Mangueiras Hidráulicas em Atrito							
Sistema Hidráulico	Verificar Saturação Filtros Diálise Auxiliar							
Sistema Hidráulico	Verificar Pré-Carga dos Acumuladores da Suspensão							
Sistema Hidráulico	Verificar Pré-Carga dos Acumuladores dos Divisores de Linha							
Rolo Tombador	Guias do Braço Telescópio Dos Rolos Superiores							
Rolo Tombador	Verificar Batentes dos Rolos							
Rolo Alimentador	Trocar Rolamento Interno do 'Y'							
Rolo Alimentador	Trocar Estriados Rolos Levantadores e Rolos Carambola							
Rolo Alimentador	Conferir Motores Soltos na Caneca							
Rolo Picador	Reapertar Parafusos da Flange do Picador							
Rolo Picador	Reapertar Porca de Embreagem do Volante do Rolo Picador							
Corte de Base	Reaperto das Canelas							
Elevador	Verificar e Ajustar tensão da Corrente do Elevador							
Elevador	Alinhamento							
Elevador	Verificar Batentes do Amortecedor do Elevador							
Elevador	Verificar Folga dos Rolamentos das Engrenagens							
Elevador	Rodízio das Taliscas							
Cabine	Reapertar Coxins							
Extrator Primário	Verificar Folga do Cubo das Pás							
Extrator Secundário	Verificar Folga do Cubo							

Fonte: (Autores, 2025)

Contudo, apesar da existência de métodos estruturados como demonstrado na tabela 3, os estudos de caso apontam falhas recorrentes no processo de execução da manutenção preventiva, como a negligência na periodicidade das trocas de óleo e filtros, ausência de intervenções imediatas diante da identificação de contaminantes no óleo e falhas na execução de testes essenciais, como o blow-by, citado por Marcasso (2017). Essas situações evidenciam lacunas críticas na gestão operacional da manutenção, reforçando que a implementação do checklist, por si só, não garante eficácia, sendo necessária também uma supervisão rigorosa e capacitação contínua das equipes envolvidas.

A análise econômica fornecida pelo estudo de Sales (2019) demonstra claramente que os sistemas hidráulico e elétrico são responsáveis pelos maiores custos de manutenção. Isso reforça a importância de direcionar esforços específicos para esses componentes, priorizando-os no planejamento da manutenção preventiva e preditiva, reduzindo custos e aumentando a vida útil do equipamento. Ao mesmo tempo, a alta concentração de custos nas peças aplicadas indica que existe potencial para melhorias nos procedimentos de instalação e substituição, com o objetivo de maximizar o retorno sobre o investimento nas peças e reduzir os custos gerais.

Outro ponto crítico identificado é a necessidade de investimentos adicionais em tecnologias modernas de manutenção preditiva, como o Structural Health Monitoring (SHM) citado por Lunarti (2023), e a capacitação das equipes operacionais e técnicas. Esses investimentos proporcionam a detecção precoce de falhas estruturais, redução de intervenções corretivas não planejadas e melhoria significativa na eficiência operacional dos equipamentos.

A correta execução deste planejamento, envolvendo definições claras dos recursos necessários, métodos operacionais padronizados e rigor no cumprimento das atividades programadas, garante um ambiente controlado e previsível, elevando a confiabilidade das colhedoras. A gestão adequada do PPCM, aliada a registros meticulosos e análises contínuas, permite uma melhoria constante dos processos e redução significativa dos custos operacionais e do tempo de máquina parada.

4.1. RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Com base nas análises desenvolvidas e nos estudos de caso apresentados neste trabalho, é possível propor recomendações práticas capazes de elevar significativamente os níveis de eficiência e confiabilidade na gestão da manutenção de colhedoras de cana-de-açúcar. Em primeiro lugar, destaca-se a relevância do investimento em tecnologias de manutenção preditiva, que incluem sistemas de monitoramento em tempo real, sensores de alta precisão e softwares avançados de análise de dados. Ferramentas como análise de vibração, termografia, monitoramento da qualidade do óleo e o Structural Health Monitoring (SHM) permitem não apenas identificar e antecipar falhas críticas, mas também reduzem drasticamente o número de paradas inesperadas, otimizando o planejamento das intervenções e, conseqüentemente, os resultados operacionais.

Ademais, a capacitação contínua das equipes – abrangendo tanto operadores quanto técnicos de manutenção – é um fator essencial para o sucesso do programa de manutenção. A oferta regular de treinamentos garante maior precisão no diagnóstico e resolução de problemas, assegura o cumprimento rigoroso dos checklists e promove respostas rápidas e eficazes diante de eventuais falhas. Esse processo contínuo de qualificação contribui não só para a ampliação da autonomia dos profissionais envolvidos, mas também para o aumento da vida útil dos equipamentos e a redução dos custos de manutenção.

Outro ponto estratégico refere-se ao fortalecimento das rotinas de feedback entre operadores e equipes de manutenção. A comunicação sistematizada, viabilizada por relatórios simplificados e reuniões periódicas, possibilita a integração efetiva do conhecimento prático dos operadores ao processo decisório, favorecendo a identificação precoce de anomalias, o aprendizado organizacional e a responsabilidade compartilhada na gestão dos ativos.

A excelência na gestão de manutenção também depende de avanços no registro e uso dos dados operacionais. A digitalização dos registros, associada ao emprego de softwares específicos para gestão de manutenção, facilita o acompanhamento minucioso das intervenções realizadas e das condições de cada componente. Isso permite revisões mais assertivas dos planos de manutenção,

identificação de padrões e tendências de falhas, além de sustentar ciclos contínuos de melhoria.

É recomendado a revisão periódica dos planos e rotinas de manutenção, que devem ser ajustados conforme o histórico de falhas, o envelhecimento da frota, a introdução de novas tecnologias e as mudanças nas condições operacionais. Essa capacidade de adaptação é fundamental para maximizar resultados, antecipar demandas e garantir resiliência diante de novos desafios. De forma complementar, deve haver o planejamento da manutenção à gestão de suprimentos e logística. Uma articulação eficiente entre essas áreas minimiza atrasos e custos excessivos na reposição de peças, sobretudo em períodos críticos de operação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise sobre o planejamento e a gestão da manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar evidencia a importância estratégica dessa prática para o sucesso operacional e econômico do setor sucroenergético. O trabalho demonstrou que a evolução das práticas de manutenção, do enfoque meramente corretivo para abordagens preventivas e preditivas, acompanhou o avanço da mecanização agrícola, respondendo a desafios cada vez mais complexos e exigindo maior profissionalização e integração tecnológica.

Os estudos de caso e a revisão da literatura ressaltaram que a adoção de programas estruturados de manutenção não só minimiza falhas e paradas não programadas, como também otimiza custos, prolonga a vida útil dos equipamentos e assegura maior disponibilidade operacional durante períodos críticos de safra. A concentração de falhas e custos em sistemas como hidráulico e elétrico reforça a necessidade de ações direcionadas para esses subsistemas, tanto na escolha de tecnologias de monitoramento quanto na qualificação das equipes técnicas.

Ademais, ficou evidente que a eficiência da manutenção depende de um conjunto de fatores integrados: o planejamento detalhado das intervenções, a padronização de procedimentos, a capacitação contínua dos operadores e técnicos, e a utilização de ferramentas avançadas de análise de dados. A digitalização dos registros e o uso de softwares específicos permitem o acompanhamento em tempo real do desempenho das máquinas, possibilitando ajustes dinâmicos e a criação de ciclos de melhoria contínua.

O trabalho também destacou a importância do alinhamento entre manutenção, operação e logística, especialmente no contexto de grandes usinas, onde atrasos na reposição de peças podem gerar custos elevados e comprometer a produtividade. Além disso, a adoção de estratégias de manutenção preditiva, aliada ao uso de sensores e sistemas de monitoramento como o SHM, representa uma tendência irreversível para o aumento da confiabilidade dos ativos.

As recomendações práticas propostas — que incluem investimentos em tecnologias preditivas, capacitação regular das equipes, melhoria dos fluxos de comunicação, revisão periódica dos planos de manutenção e integração com a logística de suprimentos — apontam para um caminho de evolução e maturidade na gestão de ativos agrícolas. Adotar essas estratégias fortalece a competitividade das empresas do setor sucroenergético diante das demandas de produtividade, qualidade e responsabilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aegro. Manutenção preventiva de máquinas agrícolas: o que você precisa saber. Climate FieldView, 22 dez. 2022. Disponível em: <https://blog.climatefieldview.com.br/manutencao-preventiva-maquinas-agricolas>. Acesso em: 2025.

Auster Tecnologia. Uma breve história da mecanização agrícola. 2019. Disponível em: https://www.austertecnologia.com/single-post/mecanizacao-agricola-historia?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 2025.

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; FERREIRA, V. A. C.; SCARANELLO, L. T. Análise de reforma de colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista Agrimotor**, São Paulo, 2012. Acesso em: 2025.

Biasotto, R. 8 tecnologias das colhedoras de cana para a maior eficiência de colheita. 2017. Disponível em: <https://robertobiasotto.wordpress.com/>. Acesso em: 2025.

BUENO, Magno da Silva; KOTSCHAN, Diego; VIZINONI, Romano Vinicius; KLIMEK, Aryonn Felipe; OLIVEIRA, Adenilson de. Manutenção preventiva: um estudo de caso em uma revendedora de maquinários agrícolas da região dos Campos Gerais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, 2011, Ponta Grossa. Anais... Ponta Grossa, PR, Brasil, 2011.

CÁSSIA, Luísa de. Tipos de manutenção: quais suas diferenças? Blog Produtivo, 25 fev. 2025. Disponível em: <https://www.produtivo.com.br/blog/tipos-de-manutencao-quais-suas-diferencas/>. Acesso em: 2025.

COSTA, Caroline. Gestão da manutenção e SMED: Qual a relação entre eles? 6 maio 2022. Disponível em: <https://www.dinamicaej.com.br/>. Acesso em: 2025.

Eae Máquinas. Como garantir a máxima vida útil do material rodante da colhedora de cana. 2024. Disponível em: <https://eaemaq.com.br/noticias-sobre-dica-tecnica/como-garantir-a-maxima-vida-util-do-material-rodante-da-colhedora-de-cana/>. Acesso em: 18 maio 2025.

Edenred. Edenred Gestão de Manutenção: Reduza Custos Operacionais Agora. 2025. Disponível em: <https://blog.edenredmobilidade.com.br/gestao-de-abastecimento/gestao-de-manutencao-reduza-custos-operacionais-agora/>. Acesso em: 2025.

Embrapa. Cana de Açúcar. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/trajetoria-do-agro/desempenho-recente-do-agro/cana-de-acucar>. Acesso em: 2025.

HARA. Cana-de-açúcar: benefícios da colheita mecanizada. 2022. Disponível em: <https://ihara.com.br/>. Acesso em: 2025.

LUNARTI, Luis Felipe Arantes Peixoto. **Gestão de confiabilidade industrial:** estudo de caso do processo de manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar de uma usina de bioenergia. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2023.

MARCASSO, Gabriela. Estudo de caso da falha de um motor diesel 9.0L John Deere de uma colhedora de cana de açúcar John Deere 3522 2L. Trabalho de conclusão de curso, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/d913a68d-9939-479f-8861-af05b3582063>. Acesso em: 2025.

MELO, Felipe Corrêa. Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas. 2018. [S.l.]: Universidade de Brasília – UnB, Faculdade UnB Gama – FGA, Engenharia Automotiva. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20769/1/2018_FelipeCorreaDeMelo_tcc.pdf. Acesso em: 2025.

NOVA CANA. Evolução do plantio e da colheita mecanizados da cana-de-açúcar. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/evolucao-plantio-colheita-mecanizados-cana-de-acucar-160813>. Acesso em: maio de 2025.

OTA JUNIOR, Kazuoichi. Manutenção centrada na confiabilidade com ênfase em colhedoras de cana-de-açúcar: baseado em mapas cognitivos fuzzy. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023. Acesso em: 2025.

PEREIRA, Breno Teixeira; TAVARES LIMA, Vitória Carlyne; FERNANDES, Daniele de Sousa. A aplicação da manutenção preventiva na evidência da produtividade de colhedoras de cana-de-açúcar. Repositório do IESCFAG, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.iescfag.edu.br/server/api/core/bitstreams/61513614-0817-40e2-b2ad-a4e5ae637e8a/content>. Acesso em: 2025.

REVISTA CULTIVAR. Impactos ambientais das queimadas de cana-de-açúcar. 10 nov. 2015. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/impactos-ambientais-das-queimadas-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 2025.

RIBEIRO, Carlos. Mecanização da cana: história e perspectivas para o futuro. Disponível em: <https://blog.sensix.ag/mecanizacao-da-cana-historia-e-perspectivas-para-o-futuro/>. Acesso em: 2025.

ROMERO, Erick Henrique. **Avaliação do momento ideal para substituição de colhedoras autopropelidas de cana-de-açúcar.** Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, 2025.

SALES, Fábio Luciano de. Engenharia da manutenção: Gerente de manutenção, P.C.M., gestão da confiabilidade RCM & FMEA, WCM manutenção de classe mundial, gerenciamento automotivo cana e grãos, mineração e construção, resíduo e transporte. LinkedIn, 8 fev. 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/manuten%C3%A7%C3%A3o-centrada-em-confiabilidade-colhedora-de-cana-sales/>. Acesso em: 27 abr. 2025.

SANTOS, Juliano Aparecido Moreira dos. Os efeitos das inovações tecnológicas na agricultura. Rondonópolis, 2022. Disponível em: [https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/56227/1/JULIANO APARECIDO MOREIRA DOS SANTOS.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/56227/1/JULIANO_APARECIDO_MOREIRA_DOS_SANTOS.pdf). Acesso em: 2025.

Santos, L. R. dos. **Gestão da manutenção em máquinas e equipamentos agrícolas** (Graduando do Curso de Manutenção Industrial da Fatec de Tatuí), 2018.

SENIOR. A importância e a eficiência da gestão de manutenção. SeniorLogística, 14 set. 2023. Disponível em: <https://www.senior.com.br/blog/a-importancia-e-a-eficiencia-da-gestao-de-manutencao>. Acesso em: 2025.

ULTRACLEAN BRASIL. Quais as principais falhas nos maquinários agrícolas? Disponível em: <https://www.ultracleanbrasil.com.br/quais-as-principais-falhas-nos-maquinarior-agricolas>. Acesso em: 21 abr. 2025.

Vian, Carlos Eduardo de Freitas; Andrade Júnior, Adilson Martins; Baricelo, Luis Gustavo; Silva, Rodrigo Peixoto da. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. Revista de Estudos e Pesquisas em Sistemas de Produção, v. 10, n. 2, p. 123-145, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/Yg34vGfdryDNVrRj9K3Vwhx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 2025.

WEDEKIN, Tawane Faria. Gestão da manutenção para uma empresa com frota de caminhões e máquinas agrícolas. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33174/1/Gest%C3%A3oManuten%C3%A7%C3%A3oEmpresa.pdf>. Acesso em: 2025.