

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL

GEOVANY JOSE CAVALCANTI PEDRO
LUIZ HENRIQUE DE PAULA EVANGELISTA

ESTRATÉGIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E PREDITIVA EM
COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

LINS/SP
2º SEMESTRE/2025

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL

GEOVANY JOSE CAVALCANTI PEDRO
LUIZ HENRIQUE DE PAULA EVANGELISTA

ESTRATÉGIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E PREDITIVA EM
COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio
Seabra, para obtenção do Título de Tecnólogos em
Gestão da Produção Industrial.

Orientador: Prof. Me. Juliano Munhoz Beltani

LINS/SP
2º SEMESTRE/2025

Pedro, Geovany Jose Cavalcanti

P372e Estratégia da Manutenção Preventiva e Preditiva em Colhedoras de Cana-de-açúcar / Geovany Jose Cavalcanti Pedro, Luiz Henrique de Paula Evangelista. — Lins, 2025.

25f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão da Produção Industrial) — Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra: Lins, 2025.

Orientador(a): Me. Juliano Munhoz Beltani

1. Manutenção. 2. Preditiva. 3. Preventiva. 4. Colhedora de Cana-de-açúcar. I. Evangelista, Luiz Henrique de Paula. II. Beltani, Juliano Munhoz. III. Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra. IV. Título.

CDD 658.5

Gerada automaticamente pelo módulo web de ficha catalográfica da FATEC Lins mediante dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**GEOVANY JOSE CACALCANTI PEDRO
LUIZ HENRIQUE DE PAULA EVANGELISTA**

**ESTRATÉGIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E PREDITIVA EM
COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio Seabra, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Tecnólogos em Gestão da Produção Industrial sob orientação do Prof. Me. Juliano Munhoz Beltani.

Data de aprovação: 02/12/2025

Prof. Me. Juliano Munhoz Beltani

Profa. Ma. Egiane Carla Camillo Alexandre

Prof. Dr. Eduardo Teraoka Tofoli

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 4 |
| ABSTRACT | 4 |
| 1 INTRODUÇÃO | 5 |
| 2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO | 6 |
| 2.1 DEFINIÇÃO DE MANUTENÇÃO | 7 |
| 2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO | 9 |
| 2.2.1 Manutenção Corretiva | 10 |
| 2.2.2 Manutenção Preventiva..... | 11 |
| 2.2.3 Manutenção Preditiva..... | 11 |
| 2.2.4 Manutenção Detectiva..... | 12 |
| 2.3 CUSTOS DE MANUTENÇÃO | 13 |
| 3 MECANIZAÇÃO DA COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR..... | 13 |
| 3.1 COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR..... | 14 |
| 3.1.1 Divisão das Colhedoras em Sistemas Principais | 15 |
| 3.1.1.1 Sistema de Corte de Pontas ou Despontador | 15 |
| 3.1.1.2 Sistema Divisor de Linhas..... | 15 |
| 3.1.1.3 Sistema de Corte da Base..... | 16 |
| 3.1.1.4 Sistema de Rolos Alimentadores/Transportadores | 16 |
| 3.1.1.5 Sistema Picador | 16 |
| 3.1.1.6 Sistema de Limpeza e Remoção de Impurezas | 16 |
| 3.1.1.7 Sistema de Transporte e Descarga..... | 16 |
| 3.1.1.8 Sistema Rodantes | 17 |
| 3.1.1.9 Sistema Hidráulico | 17 |
| 3.1.1.10 Sistema de Geração de Potência..... | 17 |
| 3.1.1.11 Sistema Eletrônico | 17 |
| 4 METODOLOGIA..... | 17 |
| 5 ESTUDO DE CASO | 18 |
| 5.1 A EMPRESA | 18 |
| 5.2 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO DAS COLHEDORAS..... | 19 |
| 5.2.1 Planos de Manutenção Preditiva..... | 20 |
| 5.2.2 Planos de Manutenção Preventiva..... | 20 |
| 6 RESULTADOS FINAIS..... | 21 |
| 7 CONCLUSÃO..... | 21 |
| REFERÊNCIAS | 22 |
| APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO À EMPRESA | 25 |

ESTRATÉGIA DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E PREDITIVA EM COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Geovany Jose Cavalcanti Pedro ¹, Luiz Henrique de Paula Evangelista ²
Juliano Munhoz Beltani ³

^{1, 2} Acadêmicos do Curso de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial da Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio Seabra - Fatec, Lins-SP, Brasil

³ Docente do Curso de Tecnologia em Gestão da Produção Industrial da Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio Seabra - Fatec, Lins-SP, Brasil

RESUMO

A evolução tecnológica tem impulsionado as máquinas industriais a operarem em velocidades crescentes e com níveis de complexidade sem precedentes. Essa transformação exige uma abordagem de manutenção que seja não apenas eficiente, mas também meticulosamente adequada às especificidades de cada equipamento. A dependência de tais máquinas em um ambiente de produção moderno torna a manutenção preventiva e preditiva um pilar fundamental para a continuidade operacional. O objetivo deste artigo visa descrever a estratégia da manutenção preventiva e preditiva automotiva implementada no departamento mecânico especializado em colhedoras de cana-de-açúcar em uma indústria do setor sucroenergético. Foram empregadas pesquisas bibliográficas sobre o tema para embasar todas as análises e transcrições do trabalho, além de pesquisas exploratórias, estudo de caso e entrevistas direcionadas. Considerando o progresso ao longo dos anos na maneira como a manutenção automotiva é gerenciada nas indústrias, a empresa em questão necessitou de modernizações no setor mecânico. Planos de manutenção preventiva e preditiva foram estabelecidos com o intuito de aprimorar o maquinário, impactando diretamente o desenvolvimento e, consequentemente, o aumento da produtividade. Os resultados obtidos durante a pesquisa demonstram, de forma evidente, melhorias significativas tanto para o setor mecânico quanto para toda a organização.

Palavras-chave: Manutenção. Preditiva. Preventiva. Colhedora de Cana-de-açúcar.

ABSTRACT

Technological evolution has driven industrial machinery to operate at increasing speeds and with unprecedented levels of complexity. This transformation requires a maintenance approach that is not only efficient but also meticulously tailored to the specificities of each piece of equipment. The dependence of such machinery in a modern production environment makes preventive and predictive maintenance a fundamental pillar for operational continuity. The objective of this article is to describe the strategy of preventive and predictive automotive maintenance implemented in the mechanical department specializing in sugarcane harvesters in a sugar-energy industry. Bibliographic research on the subject was used to support all analyses and transcriptions of the work, in addition to exploratory research, case studies and targeted interviews. Considering the progress over the years in the way automotive maintenance is managed in industries, the company in question needed to modernize

the mechanical sector. Preventive and predictive maintenance plans were established with the aim of improving the machinery, directly impacting development and, consequently, increasing productivity. The results obtained during the research clearly demonstrate significant improvements both for the mechanical sector and for the entire organization.

Keywords: Maintenance. Predictive. Preventive. Sugarcane Harvester.

1 INTRODUÇÃO

As atividades de manutenção transcenderam a mera função corretiva, assumindo um papel de destaque na estratégia de operações de empresas industriais contemporâneas (Lima et al., 2010). Essa transformação reflete a crescente conscientização de que a manutenção eficaz não apenas previne falhas e prolonga a vida útil dos equipamentos, mas também impacta diretamente a produtividade, a qualidade dos produtos, a segurança dos trabalhadores e a sustentabilidade ambiental. Em um ambiente industrial cada vez mais competitivo e tecnológico, a manutenção proativa, preventiva e preditiva emerge como um diferencial estratégico, capaz de otimizar o desempenho dos ativos, reduzir custos operacionais e garantir a continuidade da produção. Empresas que investem em programas de manutenção bem estruturados e alinhados aos seus objetivos de negócio colhem os frutos de uma maior eficiência operacional, da redução de perdas e do fortalecimento da sua posição no mercado.

Conforme Moellmann (2006), a otimização do uso de recursos produtivos, como maquinário e mão de obra, representa um dos maiores desafios na gestão empresarial. A preocupação com o tempo de inatividade dos equipamentos e os elevados custos de manutenção é crucial, pois ambos impactam diretamente os resultados operacionais. Nesse contexto, a gestão da manutenção assume um papel fundamental, visando gerenciar ações e otimizar o tempo de recuperação de equipamentos e instalações. Além disso, ela desempenha um papel estratégico no planejamento preventivo, contribuindo para a redução de custos e o aumento da eficiência.

A gestão estratégica da manutenção desempenha um papel crucial na otimização da eficiência da produção industrial. Ao assegurar a disponibilidade contínua dos equipamentos e minimizar os custos decorrentes da ociosidade, ela contribui significativamente para o desempenho operacional. Em contrapartida, a negligência no planejamento da manutenção pode acarretar sérias consequências, como a redução do volume de produção, atrasos nas entregas e, conseqüentemente, a perda de vantagem competitiva no mercado (Mendes, 2011).

As atividades de manutenção podem ser categorizadas de acordo com a natureza da intervenção, abrangendo desde a ação corretiva até a busca pela causa raiz dos problemas. A manutenção corretiva, por exemplo, é reativa, intervindo apenas após a ocorrência da falha para realizar o reparo ou a substituição do componente danificado. Já a manutenção preventiva, por sua vez, baseia-se em parâmetros predefinidos, como tempo de uso, quilometragem ou ciclos de produção, para programar as intervenções. A manutenção preditiva, por sua vez, utiliza o monitoramento contínuo dos equipamentos para antecipar possíveis falhas, permitindo a intervenção antes que o problema se manifeste. Por fim, a manutenção proativa busca identificar as causas subjacentes dos problemas, em vez de apenas

tratar os sintomas observados, visando a eliminação definitiva das falhas (Kardec e Nascif, 2006).

No contexto deste estudo, a manutenção preditiva assume um papel central. Essa modalidade de manutenção engloba atividades que empregam técnicas avançadas de monitoramento de variáveis críticas em equipamentos. Tais variáveis fornecem informações cruciais sobre o estado dos equipamentos, obtidas por meio de inspeções sensoriais ou instrumentação de campo (Peres Lima, 2008). A manutenção preditiva, portanto, permite a identificação precoce de possíveis falhas, possibilitando intervenções preventivas e otimizando a disponibilidade e a vida útil dos ativos.

O presente estudo tem como objetivo descrever a estratégia da manutenção preventiva e preditiva automotiva implementada no departamento mecânico especializado em colhedoras de cana-de-açúcar em uma indústria do setor sucroenergético. Foram empregadas pesquisas bibliográficas sobre o tema para embasar todas as análises e transcrições do trabalho, além de pesquisas exploratórias, estudo de caso e entrevistas direcionadas. Considerando o progresso ao longo dos anos na maneira como a manutenção automotiva é gerenciada nas indústrias, a empresa em questão necessitou de modernizações no setor mecânico. Planos de manutenção preventiva e preditiva foram estabelecidos com o intuito de aprimorar o maquinário, impactando diretamente o desenvolvimento e, consequentemente, o aumento da produtividade. Os resultados obtidos durante a pesquisa demonstram, de forma evidente, melhorias significativas tanto para o setor mecânico quanto para toda a organização.

A organização prioriza a preservação do bom funcionamento dos maquinários, reconhecendo sua importância fundamental para o processo produtivo. Nesse contexto, a manutenção automotiva bem estruturada desempenha um papel crucial, assegurando as condições ideais de uso dos equipamentos e a continuidade do processo produtivo.

2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

A excelência na manutenção depende de uma organização planejada, com pessoal qualificado, treinado e engajado, trabalhando de forma colaborativa. Criar esse ambiente harmonioso é um desafio, mas essencial para o sucesso da equipe e da empresa. Segundo Nepomuceno (1989), a aplicação de técnicas de manutenção preditiva, dentro de um sistema de manutenção bem organizado, é fundamental para garantir a longevidade dos equipamentos e a eficiência operacional. A manutenção eficaz é crucial para prolongar a vida útil dos equipamentos, resultando em um retorno sobre o investimento que supera os custos iniciais. Um sistema de manutenção bem gerenciado permite prever falhas e otimizar o tempo ocioso, direcionando-o para a produção interna de peças de reposição, desde que a equipe possua as habilidades necessárias. A crescente complexidade e automação exigem uma adaptação contínua da manutenção, otimizando processos e utilizando tecnologias avançadas para evitar custos exorbitantes de inatividade.

Como destaca Gonçalves (2005), a evolução da manutenção industrial, especialmente a partir das gerações mais recentes, demonstra uma clara migração do foco no reparo para a gestão de ativos e a maximização do retorno financeiro. O autor reforça que o sucesso operacional de uma indústria está intrinsecamente ligado à capacidade de seus gestores de transcender a manutenção corretiva e preventiva baseada em tempo, caminhando para a Manutenção Preditiva e a Manutenção Centrada na Confiabilidade, cada indústria deve ter seus próprios padrões de

manutenção, pois o modelo de manutenção deve ser adaptado às características do setor e deve ser compatível com os equipamentos existentes e com sua exploração. No contexto da manutenção automotiva, o conhecimento e a aplicação correta dos diferentes tipos de classificação de manutenção são essenciais para prevenir desperdícios e interrupções inesperadas, garantindo a continuidade e a eficiência dos processos.

Faria (2013) destaca a importância do gerenciamento da manutenção sob três pilares: econômico, legal e social. No âmbito econômico, a otimização da manutenção resulta em menor frequência de intervenções nos equipamentos, prolongando sua vida útil e liberando recursos financeiros. Além disso, a manutenção eficaz minimiza o desperdício de materiais e tempo, contribuindo para a eficiência operacional.

De acordo com Wickert (2015), a gestão da manutenção tem um impacto significativo na sociedade. Engenheiros trabalham para resolver problemas na cadeia de produção e no uso de produtos, além de analisar seu impacto social. Essa área está em constante desenvolvimento, impulsionando a inovação tecnológica para melhor servir à sociedade.

A manutenção preventiva, conforme descrito por Bazzo (2000), consiste em um conjunto de ações que visam antecipar problemas e manter as máquinas em operação. Sua base é o conhecimento abrangente do produto pelo engenheiro, complementado por testes regulares nos equipamentos.

Monchy (2007) ressalta a importância da manutenção preditiva para pequenas empresas, especialmente em comparação com a manutenção preventiva. Enquanto a preventiva exige planejamento e organização que muitas vezes faltam nessas empresas, a preditiva demanda menos recursos e oferece uma eficiência considerável.

2.1 DEFINIÇÃO DE MANUTENÇÃO

Conforme a norma da ABNT NBR 5462 (1994) define manutenção como um conjunto abrangente de ações técnicas e administrativas, que incluem supervisão, com o objetivo de preservar ou restabelecer a capacidade de um item desempenhar sua função desejada. Adicionalmente, alterações no item em questão podem ser classificadas como atividades de manutenção.

Segundo Kardec e Nascif (1998), a função da manutenção é garantir o funcionamento adequado dos equipamentos, assegurando sua disponibilidade e confiabilidade. Além disso, deve considerar aspectos fundamentais como a segurança.

As atividades de manutenção desempenham um papel fundamental na preservação da integridade de equipamentos e instalações, visando primordialmente mitigar a degradação resultante do desgaste natural e do uso contínuo. No entanto, essa perspectiva, embora correta, pode ser expandida para abranger uma gama mais ampla de objetivos e estratégias de manutenção (Viana, 2013).

O termo "manutenção" abrange uma variedade de interpretações, conforme evidenciado pela literatura especializada. Sua origem remonta ao vocabulário militar, onde significava a preservação constante do efetivo e do material bélico nas unidades de combate. A raiz do termo, "manter", implica a continuidade de um processo ou a preservação de um estado. A fusão desses conceitos resulta em "manutenção", que essencialmente denota a preservação de algo (Ohno, 1997).

A evolução da manutenção pode ser didaticamente organizada em três gerações, conforme proposto por Moubray (1997), oferecendo um panorama histórico das transformações nesse campo. A primeira geração, que se estende até a Segunda

Guerra Mundial, caracterizou-se por um cenário industrial com baixa mecanização. Nesse período, as paralisações decorrentes de falhas em equipamentos não representavam um impacto significativo na produção. Consequentemente, a manutenção era predominantemente reativa, ou seja, executada somente após a ocorrência de falhas. Essa abordagem, embora simplista, refletia as necessidades e as limitações tecnológicas da época, onde a prioridade residia na produção e não na prevenção (Moubray, 1997).

A segunda geração da manutenção inicia-se no período pós-Segunda Guerra Mundial, impulsionada pela crescente mecanização das indústrias. Nesse novo cenário, as máquinas tornaram-se mais numerosas e complexas, aumentando significativamente a dependência das plantas industriais em relação ao bom funcionamento dos equipamentos. A conscientização sobre a importância da disponibilidade e da vida útil dos componentes cresceu, aliada à busca por otimização dos custos de manutenção. Essa fase marcou a transição de uma abordagem predominantemente reativa para uma postura mais preventiva, com o objetivo de minimizar as interrupções na produção e maximizar a eficiência dos ativos.

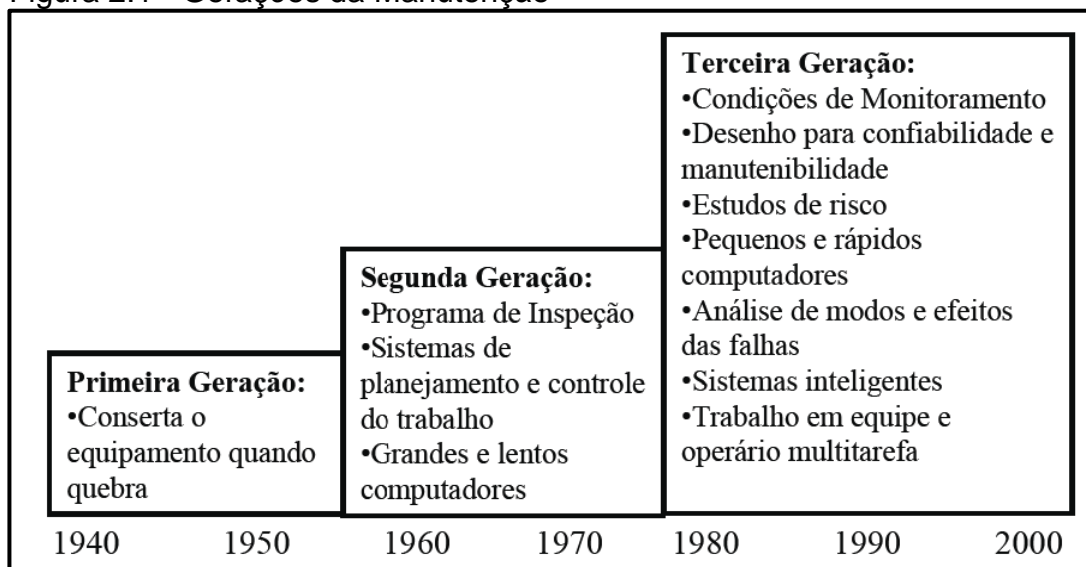
A terceira geração da manutenção, que se estende até a contemporaneidade, é caracterizada por uma abordagem holística que prioriza a máxima disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil dos ativos, ao mesmo tempo em que busca eliminar riscos e danos às pessoas e ao meio ambiente. Nesse contexto, a tomada de decisões é fundamentada em ferramentas analíticas avançadas, como a Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA), que permitem identificar e mitigar potenciais falhas de forma proativa. É nesse cenário que se consolida a Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM), conforme descrito por Moubray (1997), um processo de tomada de decisão abrangente que visa otimizar a manutenção com base na criticidade dos ativos e nos riscos associados às suas falhas.

Segundo Tavares (1999), a crescente complexidade dos sistemas industriais impulsionou a necessidade de uma gestão mais estruturada das atividades de manutenção. Nesse contexto, surgiram equipes especializadas em análise de ocorrências, com o objetivo de administrar e gerenciar falhas de forma proativa, tanto em planejamentos quanto em intervenções preventivas. Essa evolução marcou a transição para uma abordagem mais estratégica da manutenção, onde a prevenção e a análise de falhas tornaram-se pilares fundamentais (Moubray, 1997).

A partir da década de 1970 até os dias atuais, a manutenção industrial passou por transformações significativas, impulsionadas pela crescente complexidade dos sistemas de produção. A manutenção, antes vista como uma atividade secundária, tornou-se um pilar fundamental da qualidade, uma vez que falhas nos equipamentos passaram a impactar diretamente a eficiência e a continuidade da produção. Essa nova perspectiva exigiu uma maior atenção à vida útil dos equipamentos e maquinários, culminando no desenvolvimento de novas abordagens de gestão da manutenção (Pinto e Xavier, 2001).

A Figura 2.1 ilustra a progressão temporal das três gerações da manutenção, delineadas por Moubray (2000), com ênfase no período subsequente à Segunda Guerra Mundial. Essa representação visual permite uma compreensão clara da transição de uma abordagem reativa para uma estratégia proativa na gestão da manutenção industrial.

Figura 2.1 - Gerações da Manutenção



Fonte: Moubray, 2000.

Segundo Branco Filho (2006, p. 82), “manutenção engloba ações técnicas e administrativas que visam manter ou restabelecer a capacidade operacional de equipamentos e sistemas, assegurando que desempenhem suas funções conforme projetado”.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

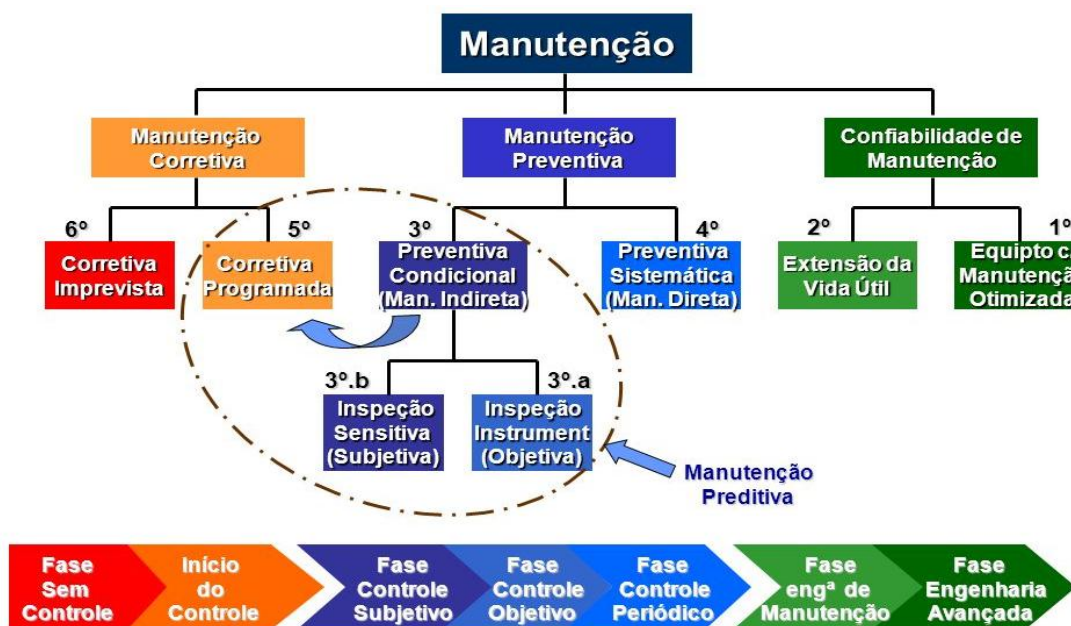
Kardec e Nascif (2009) define a manutenção como um processo que se expandiu da correção de falhas para a prevenção, resultando em uma variedade de tipos e variações. A gestão eficaz dessa diversidade é alcançada por meio do sistema de gestão da manutenção.

Em sua obra, Murça (2012) define a manutenção como um conjunto de ações que inclui verificações e reparos, com o objetivo de manter ou restaurar a capacidade de um equipamento de desempenhar suas funções originais.

Para otimizar a manutenção e alcançar a excelência operacional, é crucial adotar uma abordagem integrada, combinando diferentes estratégias e adaptando-as aos equipamentos e aos eventos específicos de cada situação. Esta integração estratégica se materializa na aplicação inteligente dos quatro pilares fundamentais da intervenção técnica: a manutenção corretiva, a manutenção preventiva, a manutenção preditiva e a manutenção detectiva. (Murça, 2012).

A imagem apresentada a seguir auxilia na compreensão da necessidade de uma abordagem integrada para a manutenção, destacando visualmente como diferentes estratégias se complementam dentro do processo operacional. Para otimizar a manutenção e alcançar a excelência no desempenho dos equipamentos, é fundamental combinar métodos distintos e ajustá-los às características de cada máquina e às condições específicas de operação. Essa integração estratégica é ilustrada na figura ao mostrar a interação entre os quatro pilares essenciais da intervenção técnica: manutenção corretiva, aplicada após a ocorrência de falhas; manutenção preventiva, planejada para evitar interrupções inesperadas; manutenção preditiva, baseada no monitoramento contínuo para antecipar problemas; e manutenção detectiva, voltada à identificação de anomalias não perceptíveis em rotinas comuns.

Figura 2.2 - Tipos de Manutenção



Fonte: Manutrol, 2025.

2.2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva, caracterizada por sua natureza reativa e intervenção após a falha, é a opção mais dispendiosa, conforme apontado por Pereira (2011). Os custos elevados decorrem do estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, tempo de inatividade e perda de produção. A imprevisibilidade da manutenção corretiva leva à redução da vida útil dos equipamentos e a paradas inesperadas, que podem ocorrer em momentos críticos da produção, como picos de demanda ou períodos de crise.

Embora a manutenção corretiva, o tipo mais antigo e simples, envolva a correção de falhas e baixa eficiência, é crucial distinguir entre manutenção corretiva e manutenção de emergência. Kardec e Nascif (2009) a definem como a atuação para corrigir falhas ou desempenho inferior ao esperado, e ela se divide em duas categorias.

Segundo Otani e Machado (2008), a manutenção corretiva se divide em duas fases principais:

a) Manutenção corretiva não planejada: Esta fase ocorre quando a correção da falha ou do desempenho inferior ao esperado é realizada após a ocorrência do problema. A ausência de planejamento prévio resulta em altos custos, devido à necessidade de reparos emergenciais, substituição de peças de última hora e, consequentemente, perdas na produção. Além disso, a imprevisibilidade das falhas pode levar a longos períodos de inatividade do equipamento, impactando negativamente a produtividade e a rentabilidade da empresa;

b) Manutenção corretiva planejada: Nesta fase, a correção é realizada com base em um processo preditivo, detectivo ou por decisão da indústria de utilizar o maquinário até a falha. A utilização de técnicas preditivas, como análise de vibração e termografia, permite identificar possíveis falhas antes que ocorram, possibilitando o planejamento da manutenção corretiva. Alternativamente, a indústria pode optar por utilizar o equipamento até a falha, desde que isso não comprometa a segurança ou a produção. A manutenção corretiva planejada resulta em maior rapidez e custos

reduzidos, devido à preparação prévia para a sua realização, como a disponibilidade de peças de reposição e a alocação de recursos adequados.

Hansen (2006) argumenta que a manutenção corretiva está em declínio, pois o planejamento se torna cada vez mais essencial na gestão de manutenção das organizações.

2.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma estratégia de manutenção proativa e planejada, executada com base em um cronograma pré-estabelecido, com o objetivo de preservar a integridade de máquinas e equipamentos, minimizando o risco de paradas inesperadas.

Esse tipo de manutenção é desenvolvido a partir da análise da frequência de falhas registradas em manutenções corretivas, das informações sobre a vida útil dos componentes fornecidas pelos fabricantes e dos diagnósticos dos equipamentos. Com base nesses dados, são criados cronogramas que permitem a realização de intervenções programadas, como reparos, substituição de peças e lubrificação. Essa abordagem contribui para a redução de problemas decorrentes de quebras inesperadas, otimizando a disponibilidade dos equipamentos e a eficiência operacional (Almeida, 2000).

A estratégia de manutenção preventiva é crucial para a gestão eficaz de ativos, representando o alicerce de um plano de manutenção programado. Seu objetivo principal é mitigar falhas e minimizar interrupções inesperadas na produção (Moro e Auras, 2007). Essa abordagem engloba inspeções meticulosas e a substituição proativa de peças e componentes, visando identificar e corrigir potenciais problemas antes que evoluam para falhas operacionais (Xenus, 2014).

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2008), a manutenção preventiva visa reduzir drasticamente, ou mesmo eliminar, a ocorrência de falhas em equipamentos. Isso é alcançado através de um conjunto de ações preventivas e planejadas, como limpezas, lubrificações, atualizações e inspeções regulares de equipamentos e maquinários, realizadas em intervalos pré-determinados.

Apesar de um planejamento meticuloso, a execução eficaz da manutenção preventiva pode ser comprometida por diversos fatores. Xenus (2014) destaca dois problemas cruciais: a ausência de padronização nos procedimentos e a falta de capacitação técnica dos funcionários. A ausência de procedimentos padronizados pode levar a inconsistências na execução das atividades de manutenção, resultando em falhas. Já a falta de habilidades técnicas adequadas limita a capacidade dos técnicos em identificar e solucionar problemas de forma eficiente.

2.2.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva consiste em um acompanhamento sistemático das variáveis e parâmetros que indicam o desempenho dos equipamentos, com o objetivo de determinar a necessidade de intervenção. O termo "preditiva" deriva da capacidade de antecipar falhas. Quando o acompanhamento preditivo indica a necessidade de intervenção, a ação resultante é classificada como Manutenção Corretiva Planejada (Nepomuceno, 1989).

A manutenção preditiva monitora as condições reais de funcionamento de máquinas e equipamentos, analisando dados que revelam seu desgaste e degradação contínua. Essa abordagem utiliza a modificação de parâmetros de

condição ou desempenho como base para intervenções, seguindo uma sistemática de acompanhamento. O objetivo é prevenir falhas em equipamentos ou sistemas, garantindo a operação contínua pelo maior tempo possível. Através do monitoramento e análise de diversos parâmetros durante o funcionamento normal, a manutenção preditiva estima o período de vida útil dos componentes, otimizando o aproveitamento dos equipamentos (Pinto e Xavier, 2001).

O monitoramento de variáveis que indicam o potencial de falhas é a essência da manutenção preditiva. Seu objetivo primordial é determinar o momento ideal para a intervenção, evitando que o equipamento atinja um estado de degradação física (Otani e Machado, 2008).

Nesse tipo de manutenção, as condições reais de funcionamento dos equipamentos são analisadas com base em dados obtidos dos fenômenos que eles apresentam quando um componente começa a falhar ou um ajuste se torna necessário. Segundo Almeida (2000), essa abordagem se baseia em inspeções periódicas, nas quais fenômenos como temperatura, vibração e ruídos excessivos são monitorados por meio de instrumentos específicos. Essas inspeções permitem analisar as condições de funcionamento e desgaste dos equipamentos, possibilitando o planejamento antecipado de intervenções de manutenção para substituição de peças ou ajustes contextuais.

A manutenção preditiva se destaca como uma estratégia de intervenção de baixo impacto, proporcionando resultados superiores

2.2.4 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva, surgida na literatura na década de 90, representa a última das tipologias de manutenção focadas na identificação de problemas futuros. Ela se define como a atuação de sistemas de proteção para detectar falhas ocultas ou não identificáveis por humanos, ou seja, falhas que escapam à percepção das equipes de operação e manutenção. Apesar da confusão comum, é crucial diferenciar a manutenção detectiva da preditiva (Nepomuceno, 1989).

Enquanto a manutenção preditiva se baseia na coleta periódica de dados como vibração, temperatura, pressão e tensão, a detectiva se distingue pelo monitoramento contínuo de equipamentos, buscando anomalias não visíveis aos operadores. Seu foco é a identificação das causas primárias de falhas e quebras de componentes, conforme destacado por Pinto e Xavier (2001).

A manutenção detectiva, conforme definido por Pinto e Xavier (2001), concentra-se na identificação de falhas ocultas ou não perceptíveis às equipes de operação e manutenção, especialmente em sistemas de proteção. Essa abordagem busca detectar anormalidades nos processos, frequentemente utilizando indicadores visuais e sonoros, como lâmpadas sinalizadoras e sirenes de alarme em painéis de controle. A manutenção detectiva opera em sistemas monitorados, alertando sobre desvios dos padrões pré-estabelecidos dentro dos limites de cada equipamento.

O objetivo principal da manutenção detectiva é aumentar a confiabilidade dos equipamentos e a eficácia das intervenções, otimizando a implementação de sistemas de proteção. Nesse contexto, a tecnologia se tornou uma aliada fundamental, com sistemas operacionais que auxiliam na avaliação da necessidade de manutenção. Esses sistemas utilizam uma variedade de sensores, como termográficos, de vibração e medidores de vazão, entre outros, que são selecionados de acordo com as demandas específicas. No entanto, todos compartilham o objetivo comum de detectar falhas que não são imediatamente perceptíveis (Souza, 2008).

2.3 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

As unidades sucroalcooleiras segundo Banchi (2008) geralmente possuem infraestrutura e equipes próprias para a manutenção automotiva, incluindo oficinas e mecânicos especializados. A terceirização é restrita a serviços pontuais. O custo da manutenção é composto por três elementos: materiais, mão de obra interna e serviços de terceiros.

A estrutura de custos da manutenção automotiva, segundo Cabral (2004), abrange custos diretos (mão de obra, materiais, energia), custos indiretos (encargos fixos e variáveis) e custos de imobilização de estoques (juros, armazenagem, seguros). A otimização desses custos exige uma análise detalhada de cada componente, com foco na identificação de áreas de ineficiência e na implementação de práticas que minimizem perdas.

Segundo os estudos de Shimosakai (2015) evidenciam a relação direta entre a idade e a utilização anual dos veículos e os custos de manutenção. Veículos mais antigos tendem a demandar reparos mais frequentes e complexos, devido ao desgaste natural de componentes e à obsolescência de tecnologias. A disponibilidade de peças de reposição pode se tornar um desafio, elevando ainda mais os custos. Da mesma forma, a utilização intensiva, seja em termos de quilometragem ou condições adversas, acelera o desgaste e exige manutenções preventivas mais frequentes.

3 MECANIZAÇÃO DA COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar, cultivada desde o período colonial, consolidou-se como uma das principais atividades econômicas do Brasil, impulsionando avanços significativos nos setores agrônomo e industrial. Segundo o terceiro levantamento da CONAB para a safra 2024/25, realizado em novembro, a produção estimada é de 678,67 milhões de toneladas, em uma área de colheita de 8,7 milhões de hectares. A produção de etanol, proveniente da cana-de-açúcar e do milho, está estimada em 36,08 milhões de litros, enquanto a produção de açúcar alcança 44 milhões de toneladas, mantendo o Brasil como o maior produtor mundial (CONAB, 2024/25).

A transição para a colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua tem sido fortemente impulsionada por mudanças na legislação trabalhista e ambiental. A necessidade de eliminar as condições de trabalho árduas e insalubres associadas ao corte manual, juntamente com a urgência de reduzir os impactos ambientais negativos da queima da cana, tem tornado essa transição inevitável (Coelho, 2009).

A mecanização da lavoura de cana-de-açúcar teve um início modesto nos anos 60, com a introdução do carregamento mecânico, marcando o primeiro passo em direção à modernização do setor. A partir dos anos 70, a adoção de novas tecnologias ganhou impulso significativo com a implementação da colheita mecanizada, transformando radicalmente os métodos tradicionais de cultivo. A década de 80 consolidou a modernização do setor canavieiro, preparando o terreno para a revolução dos anos 90, quando as máquinas de corte de cana crua foram introduzidas, otimizando ainda mais a eficiência e a produtividade (Araújo, 2002).

O investimento em colhedoras de cana-de-açúcar tem crescido significativamente nos últimos anos, impulsionado pela alta eficiência desses equipamentos. Apesar do elevado custo de aquisição e manutenção, o potencial de produção no campo é notável, aumentando a capacidade de transporte da matéria-prima para a indústria. Para otimizar a produtividade e prolongar a vida útil desses ativos, a manutenção assertiva é fundamental, destacando-se a lubrificação adequada

e o monitoramento do desgaste por meio de técnicas preditivas, como a análise de fluidos lubrificantes, conforme Viana (2013).

Nesse contexto de avanço tecnológico, a gestão do desempenho operacional da colheita mecanizada assume um papel crucial. Com o aumento do número, tamanho e complexidade das máquinas, a gestão eficaz desses equipamentos torna-se indispensável. A otimização do uso de máquinas e equipamentos agrícolas, por meio de uma gestão eficiente, não apenas melhora o desempenho operacional, mas também contribui para a sustentabilidade e a rentabilidade do setor (Cervi et al., 2015).

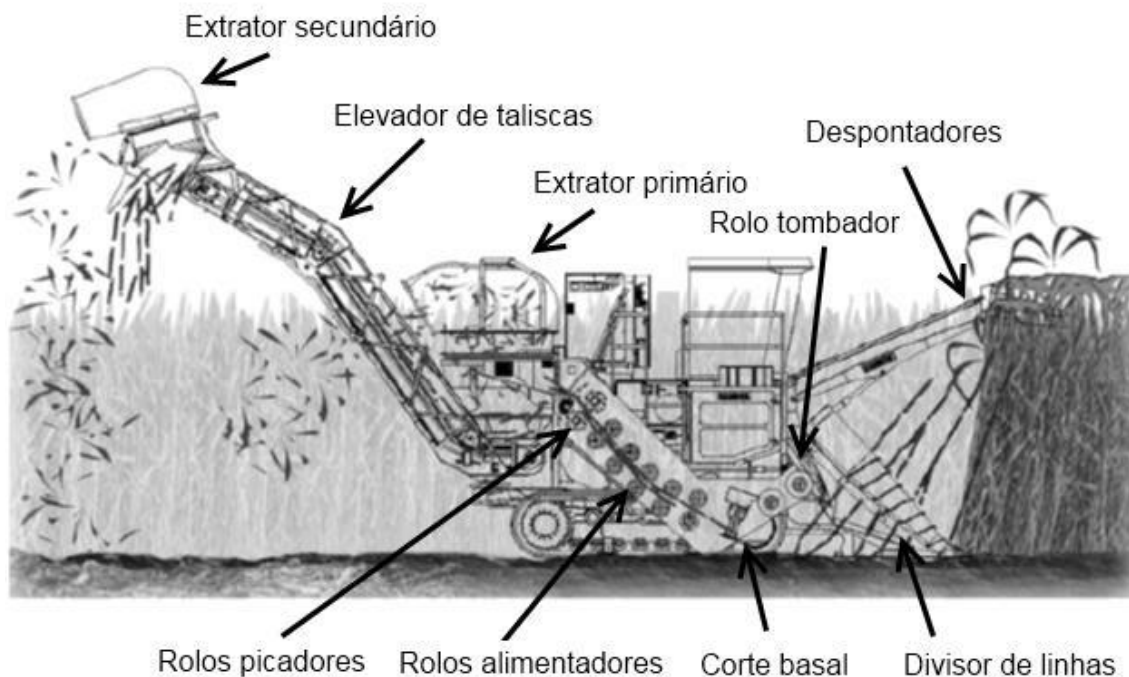
A gestão de equipamentos agrícolas engloba uma série de aspectos que vão além dos custos de aquisição, seguros, combustível, lubrificantes e manutenção. Ela envolve o monitoramento e rastreamento contínuos, a análise em tempo real das condições de utilização e operação, e a coleta de informações detalhadas sobre a produtividade. Essas práticas permitem uma tomada de decisão mais informada e estratégica, resultando em maior eficiência e redução de custos (Shimosakai, 2015).

3.1 COLHEDORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

As colhedoras de cana-de-açúcar, originárias da Austrália, representam um marco significativo na mecanização da lavoura canavieira. Inicialmente desenvolvidas para atender às necessidades daquele país, essas máquinas despertaram o interesse de diversos produtores ao redor do mundo devido ao seu potencial para reduzir esforços manuais e elevar a eficiência no campo. No Brasil, o processo de adaptação ganhou força a partir da década de 1970, quando pesquisas, testes de campo e parcerias entre fabricantes e usinas começaram a moldar equipamentos mais adequados às características do cultivo nacional marcado por variedades específicas de cana, solos variados e condições climáticas desafiadoras. Esse movimento resultou em uma série de modificações estruturais, melhorias tecnológicas e inovações mecânicas que, ao longo dos anos, deram origem às colhedoras modernas utilizadas atualmente. Essa trajetória de evolução contínua evidencia o compromisso do setor sucroenergético brasileiro com o aumento da eficiência, da produtividade e da competitividade. As máquinas de hoje incorporam avanços em automação, sistemas hidráulicos, sensores e ergonomia, refletindo décadas de aprimoramentos e a busca permanente por desempenho superior no campo (Cherubin, 2018).

As colhedoras de cana-de-açúcar desempenham um papel fundamental na mecanização da lavoura, pois são responsáveis pela extração eficiente da matéria-prima destinada à indústria sucroenergética. Para garantir o máximo rendimento durante a colheita mecanizada, torna-se indispensável compreender o funcionamento e a dinâmica operacional das colhedoras modernas. Apesar das variações existentes entre fabricantes e modelos, essas máquinas compartilham um princípio de operação semelhante, seja na colheita de mudas, voltada à implantação de novos canaviais, seja na colheita comercial, destinada ao processamento industrial. Conforme descrito pela John Deere (2006), a padronização dos sistemas como corte, alimentação, limpeza e descarga facilita o entendimento técnico, permitindo melhor desempenho, ajustes adequados e práticas de manutenção mais eficientes. Isso contribui diretamente para a produtividade do campo e para a redução de perdas durante o processo de colheita.

Figura 3.1 - Componentes da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar picada.



Fonte: Adaptado de John Deere (2006).

A imagem apresenta um esquema detalhado dos principais componentes de uma colhedora de cana-de-açúcar, destacando a engenharia empregada no processo de colheita. Tais elementos podem ser categorizados por função, facilitando a compreensão do fluxo operacional da máquina.

3.1.1 Divisão das Colhedoras em Sistemas Principais

Para compreender plenamente as funções de uma colhedora de cana-de-açúcar, é essencial analisar seus sistemas individualmente. Essa abordagem permite uma visão clara de como cada componente contribui para o processo de colheita mecanizada, desde o corte da base da cana até a descarga da matéria-prima processada (John Deere, 2006).

3.1.1.1 Sistema de Corte de Pontas ou Despontador

O Sistema de Corte de Pontas, também conhecido como Despontador, é crucial na colheita da cana-de-açúcar. Ele é responsável por remover a parte superior da planta, que contém uma maior concentração de folhas e um nível de açúcar significativamente menor. Ao eliminar essa porção, o despontador reduz a quantidade de impurezas no produto colhido, otimizando a qualidade da matéria-prima.

Este sistema é composto por três motores hidráulicos que acionam dois tambores coletores. Estes tambores direcionam a cana para um tambor central, equipado com facas de corte que realizam a remoção precisa das pontas (John Deere, 2006).

3.1.1.2 Sistema Divisor de Linhas

O Sistema Divisor de Linhas desempenha um papel fundamental na colheita

da cana-de-açúcar. Sua principal função é separar as linhas de colheita para o equipamento, já que os modelos estudados neste trabalho colhem apenas uma linha por vez.

Além disso, esses componentes são responsáveis por levantar a cana que está tombada ou deitada, garantindo que a planta esteja em uma posição adequada para o corte. O sistema é composto por motores hidráulicos que acionam os rolos divisores de linha, tanto os principais quanto os auxiliares (John Deere, 2006).

3.1.1.3 Sistema de Corte da Base

Este sistema é responsável pelo corte preciso da cana, próximo ao solo. A eficiência do corte é crucial para garantir a qualidade da matéria-prima e facilitar o transporte. As colhedoras modernas utilizam discos ou tambores de corte com lâminas afiadas, projetadas para minimizar as perdas de cana e o consumo de energia (John Deere, 2006).

3.1.1.4 Sistema de Rolos Alimentadores/Transportadores

Após o corte, a cana é alimentada em um sistema de rolos alimentadores/transportadores, também conhecido como sistema de rolos industriais, é essencial para o processamento da cana-de-açúcar. Ele é responsável por direcionar e transportar a cana e esteiras que a direcionam para o interior da máquina. Neste sistema a cana é picada em pedaços menores. Este sistema é composto por rolos superiores e inferiores, que são movimentados por motores hidráulicos facilitando o transporte e o processamento industrial (John Deere, 2006).

3.1.1.5 Sistema Picador

O Sistema Picador é o responsável por cortar a cana-de-açúcar inteira, dividindo-a em diversos pedaços. Para isso, ele utiliza facas e contrafacas montadas em dois rolos giratórios e sincronizados, garantindo a maior precisão possível no corte.

Este é um dos sistemas mais importantes do equipamento, dada a sua condição de operação e impacto na qualidade final do produto. Ele é acionado por um motor hidráulico, que fica instalado em uma caixa de transmissão de engrenagens, popularmente conhecida como caixa do picador. O sistema de facas e contrafacas é fundamental para a eficiente picagem da cana (John Deere, 2006).

3.1.1.6 Sistema de Limpeza e Remoção de Impurezas

Depois que a cana-de-açúcar é picada, ela segue para o extrator primário. Aqui, um ventilador hidráulico de alta rotação entra em ação, sugando impurezas como folhas e galhos e soprando-as de volta para o solo. Essa etapa é crucial para reduzir a quantidade de impurezas no produto final que será entregue à usina (John Deere, 2006).

3.1.1.7 Sistema de Transporte e Descarga

Após a limpeza, a cana picada é transportada por um sistema de esteiras e elevadores até o compartimento de carga da colhedora ou para um veículo de

transporte, como um caminhão. Este sistema garante a eficiência do transporte da cana colhida, para o veículo de transporte (John Deere, 2006).

3.1.1.8 Sistema Rodantes

O sistema rodante, um componente vital responsável pela movimentação da colhedora. Ele é composto por um sistema de roletes e esteira rodante, impulsionado por um motor hidráulico que aciona o aro motriz, conferindo movimento a todo o conjunto.

Este é um dos sistemas mais críticos do equipamento devido às suas severas condições de operação. Consequentemente, os custos de manutenção e o tempo de parada associados ao sistema rodante são geralmente superiores quando comparados a outros sistemas da máquina (John Deere, 2006).

3.1.1.9 Sistema Hidráulico

O sistema hidráulico é responsável por acionar os diversos componentes da colhedora, como os rolos de alimentação, as esteiras de transporte e os sistemas de corte e limpeza. A precisão e a confiabilidade do sistema hidráulico são essenciais para o desempenho da colhedora (John Deere, 2006).

3.1.1.10 Sistema de Geração de Potência

O coração da colhedora é o seu sistema de geração de potência, impulsionado por um robusto motor a diesel de 9,0 litros de combustão interna. Este motor entrega uma potência impressionante de aproximadamente 342 cavalos, o motor está acoplado a uma caixa de engrenagens, comumente chamada de "caixa quatro furos". É nessa caixa que as bombas hidráulicas são conectadas, e elas são as responsáveis por fornecer toda a energia necessária para a movimentação e o funcionamento de todos os sistemas da colhedora (John Deere, 2006).

3.1.1.11 Sistema Eletrônico

As colhedoras modernas são equipadas com sistemas eletrônicos avançados que controlam e monitoram o desempenho da máquina. Sensores e computadores permitem a otimização da colheita, a detecção de falhas e a coleta de dados para análise e melhoria contínua (John Deere, 2006).

4 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa compreende o conjunto de estudos e análises realizados para responder a questões específicas. A pesquisa bibliográfica, que utiliza livros, artigos científicos e fontes online, desempenha um papel fundamental na investigação de temas relevantes e na familiarização com o assunto (Novaes, 2007).

De acordo com Gil (2010) o estudo de caso é uma das metodologias de pesquisa mais poderosas, enfatiza que a sensibilidade teórica, desenvolvida através da literatura, experiência profissional e interação contínua com os dados durante a análise, é crucial para reconhecer e interpretar o significado das informações coletadas.

Creswell (2003) descreve-se o estudo de caso como uma investigação

aprofundada de um fenômeno específico, delimitado no tempo e em sua atividade, que emprega múltiplas técnicas de coleta de dados para obter um entendimento detalhado e contextualizado. Essa abordagem permite gerar insights valiosos sobre o objeto de estudo.

A fim de coletar informações precisas e direcionadas, optou-se pela entrevista estruturada. O roteiro de perguntas foi desenvolvido para extrair as percepções e experiências dos entrevistados em relação ao problema investigado, possibilitando uma análise qualitativa dos dados obtidos.

Nesta etapa do trabalho, descreve-se detalhadamente os métodos e procedimentos empregados na manutenção automotiva.

O presente estudo teve como campo de estudo o setor de mecanização agrícola voltado à colheita de cana-de-açúcar em uma empresa do setor sucroenergético localizada no interior do estado de São Paulo. A metodologia foi aplicada diretamente no processo de manutenção de colhedoras de cana, com foco na implementação e avaliação das práticas de manutenção preventiva e preditiva. Foram observadas as rotinas de inspeção, registros de falhas, como tempo médio entre falhas (TMEF) e tempo médio de reparo (TMR), possibilitando a análise da eficácia das estratégias adotadas e sua contribuição para a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

5 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso se baseia em dados coletados e analisados diretamente na organização, detalhando as informações de forma abrangente. Com grande visibilidade e em constante ascensão no setor sucroenergético, a empresa tem seu setor mecânico como protagonista deste artigo. O presente estudo tem como objetivo descrever a estratégia da manutenção preventiva e preditiva automotiva implementada no departamento mecânico especializado em colhedoras de cana-de-açúcar em uma indústria do setor sucroenergético. Foram empregadas pesquisas bibliográficas sobre o tema para embasar todas as análises e transcrições do trabalho, além de pesquisas exploratórias, estudo de caso e entrevistas direcionadas. Considerando o progresso ao longo dos anos na maneira como a manutenção automotiva é gerenciada nas indústrias, a empresa em questão necessitou de modernizações no setor mecânico. Planos de manutenção preventiva e preditiva foram estabelecidos com o intuito de aprimorar o maquinário, impactando diretamente o desenvolvimento e, conseqüentemente, o aumento da produtividade. Os resultados obtidos durante a pesquisa demonstram, de forma evidente, melhorias significativas tanto para o setor mecânico quanto para toda a organização.

A excelente receptividade da organização foi fundamental, permitindo o esclarecimento de todas as dúvidas e o acesso a informações valiosas que enriqueceram profundamente este trabalho.

A fundamentação teórica deste estudo se apoia em extensa pesquisa bibliográfica, explorando autores, teorias e conceitos relevantes. A abordagem utilizada é descritiva e exploratória, buscando aprofundar o entendimento sobre o tema central.

5.1 A EMPRESA

Localizada no interior de São Paulo, a empresa possui uma trajetória marcada por um crescimento notável e uma produção ativa e exemplar, atuante há 18 anos no

dinâmico setor sucroenergético, reconhece a gestão estratégica da manutenção de veículos como um pilar fundamental para sua operação eficiente e crescimento sustentável. A empresa, dedicada à produção diversificada de etanol, açúcar, levedura e biomassa, além do plantio de grãos, compreende que a disponibilidade e a confiabilidade de sua frota e equipamentos são intrínsecas à sua capacidade produtiva e ao alcance de suas metas ambiciosas.

A evolução da organização desde o início de suas operações em 2007 tem sido marcada por expansões significativas: inauguração da fábrica de açúcar e produção de etanol anidro em 2013, investimentos em maquinário em 2018, cisão e aumento da capacidade de moagem para 4,13 milhões de toneladas em 2020, investimento em novos tanques de etanol, armazenamento de açúcar e inauguração da fábrica de levedura em 2021, e em 2023 a expansão administrativa e o aumento da capacidade de moagem para 4,66 milhões de toneladas.

A empresa, presente em 11 cidades com 74 mil hectares de terras gerenciadas e uma equipe de 2.550 colaboradores, possui uma produção robusta. Sua capacidade de moagem é de 4,7 milhões de toneladas, com produção de 6,5 milhões de sacas de açúcar, 215 milhões de litros de etanol e 30 toneladas diárias de levedura. A empresa investe em sistemas internos e mão de obra qualificada, priorizando a qualidade do produto, a eficiência operacional e a diversificação. Seus valores de ética, sustentabilidade, segurança, interação, inovação e valorização das pessoas são a base de sua cultura empresarial.

A sustentabilidade configura um pilar estratégico fundamental para a empresa, permeando suas operações e decisões. Essa prioridade é claramente demonstrada através de um programa de reflorestamento de Áreas de Preservação Permanente (APPs). Em 2023, o programa alcançou a marca expressiva de 1 milhão de mudas plantadas, um feito que reflete o comprometimento da organização com a conservação ambiental e a recuperação de ecossistemas importantes. O programa não apenas contribui para a preservação da biodiversidade e a proteção de recursos hídricos, mas também reforça o papel da empresa como agente de transformação positiva em seu setor, alinhando suas práticas com as melhores diretrizes de responsabilidade socioambiental.

5.2 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO DAS COLHEDORAS

A busca pela excelência operacional impulsiona a organização a investir continuamente na otimização de suas estratégias de manutenção. Reconhecendo a importância crítica da eficiência das colhedoras de cana-de-açúcar para o sucesso da produção, a usina implementou um plano de manutenção abrangente e estruturado.

Este plano se destaca pela combinação de abordagens preditivas e preventivas, visando minimizar interrupções não programadas e maximizar a vida útil dos equipamentos. A operacionalização deste plano é realizada por equipes especializadas, que utilizam veículos e ferramentas apropriadas para cada etapa do processo.

Desde 2024, a gestão da manutenção automotiva adotou um modelo inovador, onde o setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) assume o papel central na programação e monitoramento das atividades. O PCM é responsável por:

- a) Agendar e supervisionar as manutenções preventiva e preditiva;
- b) Monitorar de perto os indicadores de desempenho, como o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF) e o Tempo Médio de Reparo (TMR), para identificar oportunidades de melhoria contínua.

Um dos destaques deste modelo é a adoção de tablets para a gestão de ordens de serviço, abertura de notas, registros de atividades e requisições de peças. Esta tecnologia permite o acesso em tempo real às informações, agilizando a comunicação entre as equipes e reduzindo o tempo de inatividade dos equipamentos.

5.2.1 Planos de Manutenção Preditiva

Antes da realização da manutenção preventiva, a usina aplica a manutenção preditiva, permitindo identificar o desgaste dos componentes e antecipar possíveis falhas. Para essa finalidade é utilizado um veículo específico denominado Skid, equipado com máquina de hemodiálise de óleo e instrumentos de medição que avaliam parâmetros críticos das colhedoras, como: desgaste dos componentes mecânicos, como rodantes (esteiras de tração), rolamentos, buchas, pinos e facas, monitoramento de temperaturas e análise de líquido de arrefecimento e lubrificantes como óleo hidráulico, motor, medição de pressão e vazão hidráulica, fundamentais para a eficiência de todo o conjunto composto por uma colhedora como tração sistemas de corte e alimentação.

Os dados coletados pelo Skid são analisados em laboratório e por técnicos especializados, que determinam quais peças precisam ser substituídas ou ajustadas antes que ocorra uma falha mais grave. Esse monitoramento permite um planejamento mais preciso da manutenção, reduzindo custos e evitando reparos emergenciais que poderiam comprometer a disponibilidade do equipamento e a produção.

5.2.2 Planos de Manutenção Preventiva

A estratégia de manutenção preventiva é realizada a cada 30 horas, executada por técnicos de manutenção de campo, que são fixos em frentes de trabalho onde a colheita está sendo executada, realizam o posicionamento do equipamento e uma lavagem geral, limpeza do compartimento do motor, radiador, alternador e pré-filtro, verificação dos níveis de fluídos, lubrificação de todos os graxeiros, retirada de ar dos cubos redutor, verificação de vazamento, folga, inspeção das taliscas, facas e tencionar a corrente esteira rodante, já a manutenção preventiva de 250 horas para colhedoras de cana é um pilar fundamental para assegurar a máxima disponibilidade e eficiência desses equipamentos cruciais. Ao invés de simplesmente reagir a falhas, a usina adota uma abordagem proativa, focada em prevenir problemas antes que eles ocorram. Planejada através do PCM, com cada etapa detalhada e disponibilizada através de Ordens de Serviço eletrônicas (O.S.) diretamente nos tablets utilizados pelos técnicos, cada O.S. contém um checklist completo das atividades a serem realizadas, especificando os componentes a serem inspecionados, os ajustes necessários e as peças a serem substituídas, essa abordagem tecnológica revoluciona a forma como a manutenção é executada, trazendo eficiência e precisão para o processo. Todas as atividades de manutenção são registradas eletronicamente nos tablets, criando um histórico detalhado de cada colhedora.

A usina investe em um caminhão oficina totalmente equipado e uma equipe especializada, exclusiva para a manutenção preventiva de 250 horas, que se desloca até o local onde a colhedora está operando o que permite realizar a manutenção em campo, minimizando o tempo de inatividade da colhedora.

6 RESULTADOS FINAIS

Este trabalho demonstrou como a usina, ao integrar a manutenção preditiva e preventiva com o suporte do PCM e tecnologias como o Skid e tablets, conseguiu otimizar significativamente a disponibilidade e a vida útil das colhedoras de cana-de-açúcar. A proatividade na identificação de desgastes, o monitoramento contínuo de indicadores e a agilidade na execução das manutenções resultam em uma redução expressiva de custos, minimizam interrupções não programadas e, consequentemente, impulsionam a produtividade da safra.

Um fator crucial para o sucesso foi o investimento contínuo em cursos e capacitação para os colaboradores, garantindo que as equipes estejam sempre atualizadas com as melhores práticas e tecnologias. Isso se refletiu diretamente nos resultados: uma notável redução no custo de manutenção e um Tempo Médio de Reparo (TMR) abaixo do esperado, indicando a eficiência e a agilidade das intervenções. Paralelamente, o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF) superou as expectativas, demonstrando a eficácia das abordagens preditivas e preventivas em prolongar a vida útil dos componentes.

É importante ressaltar que a maior parte do tempo de parada dos equipamentos passou a ser direcionada à realização de manutenções preventivas. Do total de 1.450,52 horas de parada, 666,43 horas correspondem à manutenção preventiva programada, representando 45,94%. Além disso, das 622 horas de paradas dos equipamentos, 247 horas também se referem a atividades preventivas, totalizando 39,71%. Esses indicadores demonstram claramente que a estratégia proativa de manutenção está produzindo resultados positivos. Essa abordagem planejada e controlada contribuiu diretamente para alcançar uma disponibilidade de 93,85% das colhedoras, maximizando o tempo de operação durante a safra.

A adoção de um modelo de gestão de manutenção automotiva centrado no PCM, com foco em dados e na agilidade da informação, serve como um modelo para a indústria sucroenergética. Ele reforça a ideia de que a manutenção, quando bem planejada e executada, transcende o papel de mero suporte e se torna um pilar estratégico para o sucesso do negócio, garantindo a eficiência e a sustentabilidade da produção em longo prazo.

7 CONCLUSÃO

A análise detalhada dos dados e informações apresentados neste artigo evidencia que a usina possui um programa de manutenção excepcionalmente bem estruturado. A necessidade constante de aprimoramento dos sistemas e a atualização dos métodos de manutenção são uma prioridade clara da organização, refletida em cada tópico estudado. Esse foco contínuo no aprimoramento, aliado aos resultados positivos obtidos em termos de funcionalidade, benefícios e à capacidade de superar desafios e transtornos inesperados, reforça a eficácia de sua abordagem e demonstra que o objetivo proposto neste estudo foi plenamente atingido, uma vez que a integração das estratégias preditiva e preventiva resultou em maior disponibilidade, redução de custos e aumento da eficiência operacional das colhedoras.

O setor mecânico é o epicentro de todo esse ciclo analisado, contando com uma equipe engajada, a padronização de serviços e a base sólida de planos de manutenção preventivos estruturados. A manutenção é um fator vital para a usina, dada sua necessidade de estar sempre ativa. Paradas inesperadas em maquinários de grande porte podem acarretar em despesas financeiras significativas e queda na

produtividade. Por isso, as manutenções preventivas são as mais utilizadas atualmente, permitindo um planejamento preciso de gastos e tempo de reparo.

Um fator de destaque adicional é a organização do sistema de emissão de ordens de serviço e notas, que garante informações constantes e atualizadas. Essa otimização permite que os colaboradores sejam treinados com base nas orientações emitidas, facilitando as operações diárias e garantindo a padronização e a eficiência das atividades. A estratégia de manutenção implementada pela usina, que combina tecnologia, planejamento e execução eficiente, representa um modelo a ser seguido na gestão de equipamentos agrícolas. Ao priorizar a prevenção em vez da correção, a organização garante a continuidade da produção, a longevidade dos equipamentos e a otimização dos recursos.

O processo de manutenção aqui apresentado, com o setor mecânico de colhedoras no centro do estudo, demonstra sua constante evolução. As alterações são feitas sempre que necessário para alcançar com excelência os objetivos traçados. Isso tudo comprova que o sistema da usina está plenamente funcional e, como resultado, confirma o alcance do objetivo estabelecido, validando sua posição de destaque no mercado sucroenergético e evidenciando sua contínua capacidade de inovação e atualização.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

ALMEIDA, M. T. de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 5 f. Artigo científico – Universidade Federal de Itajubá, 2000.

ARAÚJO, A. **Indicadores da função motomecanização aplicados em usina de açúcar e álcool em um ambiente gerenciado por processos: um estudo de caso**. Dissertação de mestrado, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82549/195870.pdf?sequence=1>. Acesso em: 06 mar. 2025.

BANCHI, A. D.; LOPES, J. R.; ZAGO, C. A. **Estudo dos custos com reparo e manutenção em colhedoras de cana-de-açúcar parte I**. Revista Agrimotor, v. 1, p. 12-13, 2008.

BAZZO, W. A. **Introdução a Engenharia**, Editora: UFSC. 2000.

BRANCO FILHO, G. B. **Indicadores e Índices de Manutenção**. Edição: 1ª. ed. [S.l.]: Ciência Moderna, 2006. 160 p.

CABRAL, J. P. **Organização e Gestão da Manutenção – Dos conceitos a prática**. Lisboa: Lidel. Edições Técnicas Ltda, 2004.

CERVI, R. G., ESPERANCINI, M. S. T., SILVA, H. D. O. F., ISLER, P. R., & DE OLIVEIRA, P. A. (2015). **Avaliação do desempenho operacional da colheita e transbordo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Energia na agricultura, v. 30, n. 3, p. 232-241, 2015. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153411106>. Acesso em: 20 mar. 2025.

CHERUBIN, N. Revista RPA News - **Cana & Indústria**, 2018. Disponível em: <<https://revistarpanews.com.br/ed/56-edicao2015/edicao-170/736-especial-colhedoras-decana>>. Acesso em: 18 abr. 2025.

COELHO, M. F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 12, n. 3 novembro 2024.

CRESWELL, M. A. F. D. **Desenho de Pesquisa: abordagens qualitativas, quantitativas e métodos mistos**. São Paulo: Sage, 2003.

FARIA, N., A., C., **Elaboração e implementação de um plano geral de manutenção preditiva, preventiva e curativa na Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto**. 2013. 116. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010.

GONÇALVES, C. D. F. **Gestão da Manutenção de um Sistema de Cozedura na Indústria Cimenteira**, 2005, 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade de Nova Lisboa, Lisboa, 2005.

HANSEN, R. **Eficiência global dos equipamentos** uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento de lucros. Porto Alegre: Bookman, 2006.

JOHN DEERE. **Colhedora de cana John Deere 3510**: Manual do operador. 6. ed. Edição Sul Americana: Deere & Company, 2006. 238 p.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 1998.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 2.^a ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2006.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**, 3. Ed. Rio de Janeiro: *Qualitymarck*, 2009. p.361.

LIMA, J. R. T. de; SANTOS, A. A. B.; SAMPAIO, R. R.. **Sistemas de gestão da manutenção** - uma revisão bibliográfica visando estabelecer critérios para avaliação de maturidade. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO - ENEGEP, 30., 2010, São Carlos. Anais. São Carlos, ABEPRO, 2010. p. 1-15.

MANUTROL. **O que é manutenção industrial de máquinas e equipamentos?** Disponível em: <https://manutrol.com.br/noticias/o-que-e-manutencao-industrial-de-maquinas-e-equipamentos/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

MENDES, A. A. R. **Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

MOELLMANN, A. H. **Aplicação da teoria das restrições e do indicador de eficiência global do equipamento para melhoria de produtividade em uma linha de fabricação**. Revista da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, v. 2, n. 1, p. 89-105, 2006.

MONCHY, F. A. **Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 2007.

MORO, N.; AURAS, A. P. **Introdução à gestão da manutenção**. Apostila do Curso Técnico de Mecânica Industrial–CEFET/SC, 2007.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered Maintenance RCM II**. 2^a Edição. Nova York, Industrial Press, 1997.

MOUBRAY, J. **RCM II: manutenção centrada na confiabilidade**. Grã Bretanha: *Biddles* Ltda. Guilford and King's Lynn, 2000.

MURÇA, V, A. **Aplicação da filosofia Lean na área de Manutenção**. 2012. 93. p. Dissertação

(Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2012.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo, Atlas, 1989.

NOVAES, A. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 10. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

OHNO, T. **O sistema de produção Toyota: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OTANI, M; MACHADO, W. **A proposta de desenvolvimento de gestão de manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista gestão industrial. Paraná, v.04, n.02, p-3-4, 2008.

PEREIRA. **Engenharia de Manutenção**, Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2011.

PERES LIMA. C.R.C.G.G.B.A. **Proposta de modelo para controle de custos de manutenção com enfoque na aplicação de indicadores balanceados**. Gest. Prod., São Carlos, v. 15, n. 1, p. 149-158, jan.-abr. 2008.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro. Ed. *Qualitymarck*, 2001.

SHIMOSAKAI, V. C. D. M. **Custo de reparo e manutenção de colhedoras de cana-de-açúcar em função das horas de operação**. Dissertação de mestrado, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256765>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **A administração da produção**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do planejamento e controle da manutenção (PCM) com as finalidades e função do planejamento e controle da produção (PCP): Uma abordagem analítica**. 2008. 169p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008.

TAVARES, L. A. **Administração moderna da Manutenção**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 1999.

VIANA. T. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2013.

WICKERT, J. **Introdução À Engenharia Mecânica** - 3ª Ed. Cengage Learning. 2015.

XENUS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade**. 2ª edição. Nova Lima: Falconi Editora, 2014.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO À EMPRESA

- 1) De que forma é identificado o desgaste de componentes das colhedoras?
- 2) Como o setor de Planejamento e Controle da Manutenção organiza as manutenções?
- 3) Qual é a principal estratégia de manutenção adotada pela empresa?
- 4) Existe uma rotina de inspeção para identificar desgastes antes das falhas? Como ela funciona?
- 5) Quais tecnologias são utilizadas nas manutenções?
- 6) Com que frequência as colhedoras passam por manutenções preditivas durante a safra?
- 7) Como são realizadas as manutenções em campo?
- 8) A empresa utiliza algum sistema eletrônico para registrar o histórico das manutenções? De que forma é feito?
- 9) Existe um cronograma de paradas técnicas programadas para manutenção?
- 10) Os colaboradores recebem treinamentos específicos para realizar as manutenções?
- 11) Como são coletados os dados para análise?
- 12) De que forma a manutenção ajuda a prolongar a vida útil e melhorar o desempenho das colhedoras?
- 13) Houve redução de custos com a implantação da manutenção preditiva?