

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

EVELIN LARISSA ROMBI DE AQUINO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ELETRÔNICO PARA DETECÇÃO DE
ENTRADA DE POEIRA EM PROTÓTIPO PARA SIMULAR O SISTEMA DE
ADMISSÃO DE AR DE MOTORES DIESEL**

TUPÃ

2020

EVELIN LARISSA ROMBI DE AQUINO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ELETRÔNICO PARA DETECÇÃO DE
ENTRADA DE POEIRA EM PROTÓTIPO PARA SIMULAR O SISTEMA DE
ADMISSÃO DE AR DE MOTORES DIESEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Tupã, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de Pesquisa: L1 Competitividade de Sistemas Agroindustriais

Orientador: Prof. Dr. Mário Mollo Neto

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Co-orientador: Prof. Dr. Flávio José de Oliveira Moraes

TUPÃ

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

A56d

Aquino, Evelin Larissa Rombi de.

Desenvolvimento de sistema eletrônico para detecção de entrada de poeira em protótipo para simular o sistema de admissão de ar de motores diesel. / Evelin Larissa Rombi de Aquino. – Tupã: [s.n.], 2021.

98 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências e Engenharia, 2021.

Orientador: Mário Mollo Neto

Coorientador: Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Coorientador: Flávio José de Oliveira Moraes

1. Protótipo. 2. Sistema Eletrônico. 3. Manutenção Preditiva. I. Título. II. Autor.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ELETRÔNICO PARA DETECÇÃO DE ENTRADA DE POEIRA EM PROTÓTIPO PARA SIMULAR O SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR DE MOTORES DIESEL

AUTORA: EVELIN LARISSA ROMBI DE AQUINO

ORIENTADOR: MARIO MOLLO NETO

COORDENADOR: PAULO SÉRGIO BARBOSA DOS SANTOS

COORDENADOR: FLÁVIO JOSÉ DE OLIVEIRA MORAIS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONEGÓCIO E DESENVOLVIMENTO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARIO MOLLO NETO (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Prof.^a Dr.^a SILVIA REGINA LUCAS DE SOUZA (Participação Virtual)

Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA - UNESP - Botucatu/SP

Prof. Dr. FABRICIO CESAR LOBATO DE ALMEIDA (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Tupã, 16 de dezembro de 2020

Dedico este trabalho à minha família, em especial às minhas sobrinhas, que sempre me mostram o quanto a simplicidade traz felicidade, paz e aconchego.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os bons amigos que me acompanharam e incentivaram nessa jornada árdua.

Agradeço à minha mãe que sempre me apoiou de todas as formas possíveis e sempre desejou que eu alcançasse todos os meus objetivos, independentemente de quais fossem.

Agradeço ao meu irmão por ter conquistado uma família tão linda e amorosa, e por compartilhá-la comigo, o que me traz enorme felicidade.

Ao Prof. Dr. Mário Mollo Neto por dispor de seu tempo e sabedoria para me auxiliar e guiar por essa jornada cheia de desafios e principalmente de amadurecimento pessoal.

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Barbosa dos Santos por toda a motivação e incentivo durante toda a minha trajetória na Unesp, e por todo o empenho e disposição.

Ao Prof. Dr. Flávio José de Oliveira Moraes por estar sempre à disposição.

À Profa. Dra. Cristiane Hengler Corrêa Bernardo por todas as palavras de incentivo e por toda a dedicação e maestria ao ministrar disciplinas que nos forçam a desconstruir o que somos, e compreender que a vida é esse eterno desconstruir-reconstruir.

Aos colaboradores da Unesp, que sempre foram gentis e atenciosos comigo.

Por fim, a todos os que contribuíram direta e indiretamente em meu projeto e merecem meu profundo agradecimento.

“Quero, um dia, poder dizer às pessoas que nada foi em vão...
Que o amor existe, que vale a pena se doar às amizades
e às pessoas,
que a vida é bela sim,
e que eu sempre dei o melhor de mim...
e que valeu a pena!”

Mário Quintana

ROMBI DE AQUINO, Evelin Larissa. Desenvolvimento de sistema eletrônico para detecção de entrada de poeira em protótipo para simular o sistema de admissão de ar de motores diesel. Dissertação - Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2020.

RESUMO

O óleo lubrificante de motores possui diversas funções importantes para a vida útil dos maquinários, tais como a redução do atrito e desgaste de peças, absorção do calor gerado nas superfícies das peças em contato, proteção contra corrosão, entre outras. A contaminação do óleo por elementos externos, como a poeira, que contém altos níveis de Silício causa desgastes e severas avarias ao motor (por ser altamente abrasivo), e atualmente só é diagnosticada por exame laboratorial, realizado periodicamente, e com retorno dos resultados em cerca de 10 dias. Entretanto, caso esteja ocorrendo alguma contaminação por poeira o motor vai falhar antes do setor responsável receber o relatório do laboratório, o que resulta em um alto custo de manutenção corretiva. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema eletrônico capaz de detectar a entrada de poeira no sistema de admissão de ar do motor, e para tanto foi utilizado protótipo baseado no sistema de admissão de um motor de 100 hp, equipado com sensores ópticos para detecção de partículas. Como resultados têm-se que um sistema capaz de detectar a entrada de partículas, com a necessidade aprimoramentos para que o sistema tenha uma melhor resposta e seja eficaz.

Palavras-chave: Protótipo. Poeira. Sistema Eletrônico. Manutenção Preditiva.

ROMBI DE AQUINO, Evelin Larissa. Development of an electronic system for detecting dust ingress in a prototype to simulate the intake system of diesel engines. Dissertation - Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Tupã, 2020.

ABSTRACT

Engine lubricating oil has several important functions for the life of machinery, such as reducing friction and wear of parts, absorbing the heat generated on the surfaces of the parts in contact, protection against corrosion, among others. Contamination of the oil by external elements, such as dust, which contains high levels of Silicon causes wear and severe damage to the engine (as it is highly abrasive), and is currently only diagnosed by laboratory examination, performed periodically, and with return of results in about 10 days. However, if there is any contamination by dust, the engine will fail before the responsible sector receives the report from the laboratory, which results in a high cost of corrective maintenance. The objective of this work was to develop an electronic system capable of detecting the entry of dust into the engine's air intake system, and for that purpose a prototype was used based on the intake system of a 100 hp engine, equipped with optical sensors for the detection of particles. As a result, we have a system capable of detecting the entry of particles, with the need for improvements so that the system has a better response and is effective.

Keywords: Prototype. Dust. Eletronic System. Predictive Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeiro trator movido a gasolina.	72
Figura 2 - Disposição dos elementos básicos do sistema e fluxo de ar.	74
Figura 3 - Fluxograma de proposta de obtenção de dados e análise do sistema.	75
Figura 4 - Esboço do protótipo.	77
Figura 5 - Microcontrolador Arduino Mega 2560.	78
Figura 6 - Sensor DSM501A.	78
Figura 7 - Protótipo (teste inicial).....	79
Figura 8 - Peças impressas em 3D.	80
Figura 9 - Protótipo após melhoramentos.	81
Figura 10 - Led emissor infravermelho.	84
Figura 11 - Led Receptor.....	84
Figura 12 - Simulação no Fritzing.	85
Figura 13 - Protótipo Final.	86
Figura 14 - Programação do sistema.	86
Figura 15 - Sistema na vertical para teste final.	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variável duração.....	82
Gráfico 2 - Varáveis Ocupação, Proporção e Concentração.....	82
Gráfico 3 - Teste 1.....	87
Gráfico 4 - Teste 2.....	88
Gráfico 5 - Teste 3.....	88
Gráfico 6 - Teste 4.....	89
Gráfico 7 - Teste 5.....	89
Gráfico 8 - Teste 6.....	90
Gráfico 9 - Valores obtidos pelos 3 pares de Leds com sistema na vertical.	91
Gráfico 10 - Soma das leituras realizadas pelos 3 pares de Leds.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de materiais para construção do protótipo.....	77
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
CAPÍTULO I – FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MOTORES DIESEL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	19
CAPÍTULO II – POSSÍVEIS PONTOS DE CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE POR SÍLICA, EM MOTORES DIESEL	51
CAPÍTULO III - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ELETRÔNICO PARA DETECÇÃO DE ENTRADA DE POEIRA NO SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR DE MOTORES DIESEL	70
1 INTRODUÇÃO	70
2 MATERIAIS E MÉTODOS	74
2.1 Protótipo inicial.....	76
2.1.1 Análise de funcionamento do projeto inicial	79
2.2 Aprimoramento do projeto inicial.....	80
2.2.1 Análise de funcionamento do projeto aprimorado	81
2.3 Substituição do sistema de leitura de partículas	83
3 RESULTADOS.....	87
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
REFERÊNCIAS	93
CONSIDERAÇÕES GERAIS	96
REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....	97

INTRODUÇÃO GERAL

Com o crescimento populacional acelerado e contínuo e a proximidade dos limites da fronteira agrícola (SAATH; FACHINELLO, 2018), faz-se necessária crescente tecnologia empregada na área agrícola para otimização dos resultados, atendimento à grande demanda por alimentos, segurança alimentar, e conservação ambiental (LAMAS, 2017).

As empresas necessitam de novas ferramentas para gerenciamento dos recursos, que objetivem a redução de custos, o aumento da produtividade e satisfação dos clientes (BRAGA; BRAGA; SOUZA, 2010), e um melhor controle do custo de produção, devido à estreita margem de rentabilidade de determinadas culturas (OLIVEIRA; SANTANA; HOMMA, 2012).

Os custos envolvidos no processo produtivo são divididos em fixos e variáveis, sendo que, os custos fixos envolvem a depreciação, juros, alojamento e seguro, e independem da utilização dos equipamentos/maquinários, enquanto os custos variáveis/operacionais dependem diretamente da quantidade de uso, sendo eles: combustíveis, lubrificantes, reparos e manutenções e salário do operador (PACHECO, 2000).

O setor de manutenção de frota representa grande parte dos custos nas propriedades agroindustriais e toda a inovação e tecnologia empregada na redução destes custos impacta diretamente no preço final do produto. Segundo Marion (2014) a gestão de custos deve englobar os gastos com investimentos, manutenção corretiva, preventiva e preditiva, além de treinamentos específicos.

A manutenção preventiva é aquela que segue períodos regulares, visando a não ocorrência de danos ao equipamento, com procedimentos e períodos regulares de manutenção, baseando-se no manual do equipamento, oferecido pelo fabricante, já a manutenção preditiva visa a diminuição dos custos com manutenção, com base em sistemas de monitoramento, adotando critérios próprios de manutenção ou troca de componentes. Na manutenção corretiva o reparo é feito após a ocorrência de danos com a necessidade de serviço especializado (SENAR, 2009), o que eleva os custos e o tempo de reparo.

A manutenção preventiva dos motores diesel é realizada com base na inspeção diária do nível do óleo de lubrificação do motor, e a troca total do fluido de acordo com o manual do equipamento. Já a manutenção preditiva é realizada

por meio de monitoramento das condições químicas e físicas do óleo lubrificante, observando-se a presença de contaminação por moléculas de água, amônia, silício e/ou presença de partículas ferrosas na amostra (SANTOS *et al.*, 2014).

O lubrificante, utilizado nos motores, desempenha importantes funções tais como: minimização do atrito entre peças e consequente redução significativa do desgaste; redução de ruídos; amortecimento de choques (TANAKA; PADOVAN; VIANA, 2014); facilitação da partida em baixas temperaturas (PADOVAN; ANJOS, 2012); redução da perda de pressão da câmara de combustão (vedando a folga dos anéis de segmento do pistão) (SANTOS *et al.*, 2014); além de atuar como elemento de limpeza (VALTRA, 2007), retirando os contaminantes sólidos gerados durante o funcionamento do motor e transportando esse material particulado para o elemento filtrante para ser retirado do circuito de lubrificação (JUNQUEIRA; OLIVEIRA, 2013); absorção o calor, proporcionando a diminuição do aquecimento dos componentes em atrito; e formação de película lubrificante nas peças, que oferece proteção contra corrosão e formação de depósitos.

Segundo Snook (1968) a degradação e contaminação do óleo lubrificante são as principais causas da redução de sua eficiência. E segundo o Instituto Americano de Petróleo (1988), as principais fontes de contaminação dos óleos lubrificantes de motores são a poeira, as partículas provenientes de desgaste das peças e os subprodutos da combustão (água, ácidos e fuligem e a diluição por combustível).

Sabendo-se que o motor de um trator não se alimenta só de combustível, uma vez que a combustão interna do motor se processa com uma mistura de cerca de 90% de ar e 10% de combustível, e que a poeira contida no ar é um dos fatores mais nocivos ao motor uma vez que acelera seu desgaste, diminuindo sua potência, e aumentando o consumo de combustível (SILVEIRA, 2001), torna-se extremamente relevante a criação de ferramenta capaz de identificar a sucção de poeira, e minimizar os seus impactos.

Kimura (2010), em estudo do uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel, cita a Sílica – proveniente da contaminação por poeira – como uma das principais partículas de desgaste devido ao deslizamento severo que forma estrias nos componentes comprometendo a vida útil do equipamento.

O Silício é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, e possui alto poder abrasivo, o que em contato com o óleo lubrificante dos motores pode causar enormes danos internos. Segundo Godfrey (1989) a manutenção do óleo limpo proporciona o prolongamento da vida útil das máquinas, redução do custo de manutenção, aumento da vida útil do lubrificante e aumento da produtividade. Ainda, segundo ele, de setenta a oitenta e cinco por cento dos problemas de desgaste em máquinas lubrificadas são causadas por contaminação do óleo lubrificante.

A proposta deste projeto é o desenvolvimento de um sistema eletrônico dotado de sensor capaz de identificar a entrada de poeira no sistema de admissão de ar dos motores dos equipamentos agrícolas, ou seja, uma nova ferramenta de manutenção preditiva, capaz de identificar material particulado em suspensão durante a sucção de tempo real, o que possibilitaria a tomada de medidas imediatas, reduzindo assim os custos com reparos, o que impactaria diretamente nos recursos empregados em manutenções.

O projeto se justifica pelo fato de que, atualmente, a única forma de detecção de silício no motor é feita através da análise de óleo, que deve ser realizada periodicamente nos equipamentos, sendo que este procedimento se resume na coleta de amostras e envio para laboratórios especializados, com tempo de retorno dos resultados em cerca de 10 dias, o que muitas vezes é um período de resposta muito demorado, pois caso esteja ocorrendo alguma contaminação por poeira, ter-se-á um desgaste excessivo das peças e certamente o motor vai falhar antes mesmo que os resultados do laboratório sejam liberados, o que resulta em prejuízos enormes devido ao alto custo de reparo e tempo de indisponibilidade do equipamento.

As análises laboratoriais de óleo são uma ótima ferramenta de manutenção, porém, dependem de rápida e eficiente comunicação entre o laboratório e o setor responsável (SNOWDEN; WESTERHEID, 1976) o que põe em xeque a sua efetividade.

Erickson e Taylor Jr. (1984), reforçam a participação da análise do óleo lubrificante no programa de manutenção preventiva, baseando-se em um plano de horas de operação, elencando novamente a necessidade de que as informações obtidas nas análises sejam prontamente disponibilizadas à manutenção para que

possam evitar avarias nos equipamentos, o que reforça a necessidade de melhoria no sistema de detecção de contaminantes.

Nepomuceno (1985) aponta a necessidade de capacitação de pessoal e rigor, organização e racionalização para utilização dos resultados de maneira eficaz, e salienta as limitações do processo devido ao alto custo de uma monitoração permanente para determinação de avarias de rápida evolução.

Conforme informado por um grupo Sucroenergético, que na última safra perdeu 15 motores de máquinas agrícolas que trabalham diretamente na colheita de cana-de-açúcar, mesmo possuindo laboratório próprio para análise das amostras, o custo estimado é de cerca de R\$ 85.000,00/motor para realização dos reparos e trocas de peças desgastadas em oficina própria, e este custo de reparo/motor pode chegar até a R\$ 150.000,00 se for realizado na concessionária do equipamento (tendo em vista a necessidade de troca de maior número de peças para certificar a garantia).

Ante todo o exposto, o sistema proposto pretende proporcionar redução significativa dos custos operacionais relativos à manutenção corretiva (que demanda mão-de-obra especializada, troca de componentes, e indisponibilidade do equipamento), possibilitando a tomada de ação imediata para evitar que tais danos ocorram.

Dessa forma, objetivo geral da presente pesquisa é desenvolver um sistema eletrônico capaz de detectar a entrada de poeira no sistema de admissão de ar de motores diesel. Para tanto, a pesquisa foi estruturada em três artigos que correspondem a cada um dos capítulos da dissertação, que buscam atingir de modo específico os objetivos:

- i. Realizar revisão bibliográfica sistemática (RBS) para determinar o estado do conhecimento sobre as ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel;
- ii. Identificar os possíveis pontos de contaminação do óleo do motor diesel por sílica e propor *check list* para inspeção visual;
- iii. Desenvolver sistema eletrônico capaz de identificar a entrada de poeira no sistema de admissão de ar de motores diesel.

O primeiro deles buscou realizar uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para identificar o estado do conhecimento sobre as ferramentas de manutenção preditiva de motores diesel existentes, levando em consideração

publicações do período de 1999 a 2019. Tal revisão justifica a proposta deste projeto, uma vez que, foi possível inferir que tais pesquisas sobre ferramentas de manutenção preditiva vem ganhando importância nos últimos anos, sendo cada vez mais estudadas e desenvolvidas por pesquisadores da área, e que grande parte das ferramentas identificadas poderiam ser adaptadas aos motores diesel empregadas no setor agrícola.

O segundo buscou identificar, por meio de inspeção visual em três tratores, os possíveis pontos de contaminação do óleo lubrificante do motor diesel por sílica. Tal análise revelou que tal contaminação pode se dar nos sistemas de arrefecimento, lubrificação, injeção e admissão devido a diversos fatores, e que muitos poderiam ser identificados antecipadamente se implementado *check list* para inspeção visual na rotina diária de manutenção de tratores agrícolas. Resultando ainda na proposta de um *check list* simplificado para inspeções visuais que pode contribuir com a redução dos custos com manutenção corretiva.

O terceiro aborda o desenvolvimento de um sistema eletrônico capaz de detectar a entrada de poeira no sistema de admissão de ar de motor diesel, e para tanto, utilizou-se de protótipo que simula o sistema de admissão de ar. Os resultados apontam que o sistema proposto é capaz de detectar a entrada de partículas, porém, para que a detecção seja realizada de forma efetiva, faz-se necessários aprimoramentos que contornem as dificuldades encontradas.

Os capítulos estão estruturados em forma de três artigos científicos, seguidos das considerações finais gerais da dissertação.

**CAPÍTULO I – FERRAMENTAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MOTORES
DIESEL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA**

Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 11, p. e57691110195, 2020.

DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10195.

Ferramentas de manutenção preditiva de motores diesel: uma revisão bibliográfica sistemática

Tools for predictive maintenance of diesel engines: a systematic bibliographic review

Herramientas para el mantenimiento predictivo de motores diesel: una revisión bibliográfica sistemática

Recebido: 13/11/2020 | Revisado: 15/11/2020 | Aceito: 21/11/2020 | Publicado: 27/11/2020

Evelin Larissa Rombi De Aquino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2027-3842>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: evelin.aquino@unesp.br

Mario Mollo Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8341-4190>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: mario.mollo@unesp.br

Cristiane Hengler Corrêa Bernardo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9957-7437>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: cristiane.bernardo@unesp.br

Flávio José de Oliveira Morais

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7638-1984>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: flavio.morais@unesp.br

Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8211-3882>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: paulo.sb.santos@unesp.br

Resumo

O setor de manutenção de frota representa grande parte dos custos nas propriedades agroindustriais e toda a inovação e tecnologia empregada na redução destes custos impacta diretamente no preço final do produto. Diante desse contexto, o objetivo desse artigo é

identificar como está configurado o estado do conhecimento sobre as ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel. Para atender o objetivo, foi utilizada uma revisão bibliográfica sistemática, composta por três fases: Entrada, Processamento e Saída. Foi possível identificar um avanço nas produções científicas relacionadas as ferramentas de manutenção preditiva, o que reforça a sua importância. Ao analisar os documentos na íntegra, foi possível categorizar os documentos por aplicabilidade, sendo: Industrial; Motores Diesel; Motores Diesel 2T; Motores Diesel de Tratores Agrícolas; Motores e equipamentos Mecânicos; Ônibus e Transporte de Passageiros; Mineração e Marítima. Pôde-se, ainda, concluir que os setores que mais pesquisam e desenvolvem ferramentas de manutenção preditiva para motores são o industrial e o marítimo. Dos 41 documentos analisados nesta pesquisa, oito são capítulos de livros, o que demonstra que a análise de tal formato documental é relevante à temática aqui abordada. Da mesma forma, pesquisas sobre a manutenção preditiva vem ganhando importância nos últimos anos, o que nos leva a acreditar que também deve caminhar em direção ao setor agrícola.

Palavras-chave: Manutenção preditiva; Motores diesel; Revisão bibliográfica sistemática.

Abstract

The fleet maintenance sector represents a large part of the costs in agro-industrial properties and all the innovation and technology used to reduce these costs directly impacts the final price of the product. Given this context, the objective of this article is to identify how the state of knowledge about predictive maintenance tools for diesel engines is configured. To meet the objective, a systematic bibliographic review was used, consisting of three phases: Input, Processing and Output. It was possible to identify an advance in scientific production related to predictive maintenance tools, which reinforces its importance. When analyzing the documents in full, it was possible to categorize the documents by applicability, being: Industrial; Diesel Engines; 2T Diesel Engines; Diesel Engines for Agricultural Tractors; Engines and Mechanical equipment; Bus and Passenger Transport; Mining and Maritime. It was also possible to conclude that the sectors that research and develop the most predictive maintenance tools for engines are industrial and marine. Of the 41 documents analyzed in this research, eight are book chapters, which demonstrates that the analysis of such a documentary format is relevant to the theme addressed here. Likewise, research on predictive maintenance has been gaining importance in recent years, which leads us to believe that it must also move towards the agricultural sector.

Keywords: Predictive maintenance; Diesel engines; Systematic literature review.

Resumen

El sector de mantenimiento de flotas representa una gran parte de los costos en propiedades agroindustriales y toda la innovación y tecnología utilizada para reducir estos costos impacta directamente en el precio final del producto. Ante este contexto, el objetivo de este artículo es identificar cómo se configura el estado de conocimiento sobre herramientas de mantenimiento predictivo para motores diésel. Para cumplir con el objetivo se utilizó una revisión bibliográfica sistemática, que consta de tres fases: Entrada, Procesamiento y Salida, se logró identificar un avance en la producción científica relacionada con las herramientas de mantenimiento predictivo, lo que refuerza su importancia. Al analizar los documentos en su totalidad, fue posible categorizar los documentos por aplicabilidad, siendo: Industrial; Motores diesel; Motores diésel 2T; Motores diésel para tractores agrícolas; Motores y equipos mecánicos; Transporte de pasajeros y autobuses; Minero y Marítimo. También se pudo concluir que los sectores que investigan y desarrollan las herramientas de mantenimiento más predictivas para motores son el industrial y el marino. De los 41 documentos analizados en esta investigación, ocho son capítulos de libros, lo que demuestra que el análisis de dicho formato documental es relevante para la temática aquí abordada. Asimismo, la investigación sobre el mantenimiento predictivo ha ido ganando importancia en los últimos años, lo que nos lleva a pensar que también debe avanzar hacia el sector agrícola.

Palabras clave: Mantenimiento predictivo; Motores diesel; Revisión sistemática de la literatura.

1. Introdução

Os maquinários agrícolas surgiram devido a demanda por maior produção de alimentos e necessidade de diminuição do desgaste físico e substituição da força animal empregados em tal atividade. Além de possibilitar a exploração de áreas extensas, impactando diretamente na velocidade e organização do processo de trabalho no meio rural, a mecanização gera ganhos substanciais na produtividade (quando associada com outras tecnologias) e reduz a necessidade de mão-de-obra (Goodman, Sorjv & Wilkinson, 2008).

Inicialmente os tratores se assemelhavam às máquinas movidas a vapor, mas evoluíram rapidamente, passando a funcionar a gasolina (modelo projetado por Froelich em 1892, e modelo projetado por Ford em 1917), e entre as décadas de 1920 e 1940 surgiram novos modelos, de novos fabricantes, com a introdução de novas tecnologias e motores movidos a diesel, e nas décadas seguintes os modelos foram aperfeiçoados, e a mecanização

se estendeu aos demais implementos agrícolas, passando a operar também nos processos de colheita (Vian et al, 2013).

A mecanização agrícola possibilita o atendimento da demanda por alimentos, a otimização do tempo empregado na atividade, supressão da escassez de mão-de-obra, redução dos custos de produção, aumento da produtividade sem a necessidade de expansão da área cultivada; economia de recursos; e o controle de qualidade da operação e do produto, porém, tem como principais desvantagens a compactação do solo, necessidade de mão-de-obra especializada (operação e manutenção); alto investimento de implementação; e despesas com lubrificantes e combustíveis (Magro & Cavichioli, 2017; Jacto, 2019).

Os custos envolvidos no processo produtivo são divididos em fixos e variáveis, sendo que, os custos fixos envolvem a depreciação, juros, alojamento e seguro, e independem da utilização dos equipamentos/maquinários, enquanto os custos variáveis/operacionais dependem diretamente da quantidade de uso, sendo eles: combustíveis, lubrificantes, reparos e manutenções e salário do operador (Pacheco, 2000).

O setor de manutenção de frota representa grande parte dos custos nas propriedades agroindustriais e toda a inovação e tecnologia empregada na redução destes custos impacta diretamente no preço final do produto. Segundo Marion (2014), a gestão de custos com manutenção, deve englobar os gastos com investimentos, manutenção corretiva, preventiva e preditiva, além de treinamentos específicos.

A manutenção preventiva é aquela que, visando preservar o equipamento, segue procedimentos em períodos regulares de manutenção, tendo como base o manual do operador oferecido pelo fabricante do equipamento, já a manutenção preditiva visa a diminuição dos custos com manutenção, com base em sistemas de monitoramento, adotando critérios próprios de manutenção ou troca de componentes. Na manutenção corretiva, o reparo é feito após a ocorrência de danos com a necessidade de serviço especializado (Senar, 2009).

Quando realizadas corretamente, as manutenções preventivas e preditivas, resultam em redução dos custos de manutenção, economia de lubrificantes, e o prolongamento da vida útil dos equipamentos e seus componentes (Santos et al, 2014).

A manutenção preditiva tem como objetivo evitar falhas nos equipamentos ou sistemas por meio do acompanhamento de diferentes parâmetros, o que permite que o equipamento esteja disponível para operação por maior tempo, e a parada para manutenção ocorra com base em um planejamento, de forma mais precisa e efetiva, reduzindo diretamente os custos relacionados à manutenção (Kardec & Nascif, 2009) por evitar a necessidade de manutenções corretivas, que são de alto custo, e demandam mão de obra qualificada, e

consequentemente, indisponibilizam o equipamento por longos períodos (Girdhar & Scheffer, 2009).

Pode-se dizer que a principal característica da manutenção preditiva é a capacidade de programar determinado reparo para quando este terá o menor impacto possível sobre a produção, tendo em vista que o tempo despendido para a manutenção reativa (corretiva) não pode ser recuperado (Kardec & Nascif, 2009).

O problema ao qual essa pesquisa busca responder é: Como está configurado o estado do conhecimento sobre as ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel existentes?

Diante desse contexto, o objetivo desse artigo é identificar como está configurado o estado do conhecimento sobre as ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel existentes.

Justificando-se na necessidade de implantação de ferramentas para manutenção preditiva de motores diesel em tratores e implementos agrícolas, uma vez que a manutenção de frota representa parte significativa dos custos de produção (Girdhar & Scheffer, 2004).

2. Materiais e Métodos

Considerando o problema de pesquisa apresentado “Como está configurado o estado do conhecimento sobre as ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel existentes?”, que, segundo indicado por Koche, J. C. (2011) é, um enunciado interrogativo que questiona sobre a possível relação que possa haver entre as variáveis do processo de manutenção, e passível de testagem ou observação empírica. Então, segundo orientações do mesmo autor, foi construída a hipótese de que é possível identificar como está configurado o estado do conhecimento sobre as ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel existentes por meio de uma revisão bibliográfica como sendo o verdadeiro ‘fator produtivo’ da pesquisa.

A técnica de pesquisa adotada para este artigo, que segundo Pereira, A. S. et al (2018), foi a de prospecção de documentos científicos e outros tipos de documentos por meio da prospecção das bases de artigos científicos. A técnica considerou as observações de que o observador, segundo dizem Ludke, M. & Andre, M. E. D. A. (2013), precisa aprender a fazer registros descritivos, saber separar os detalhes relevantes dos triviais, aprender a fazer anotações organizadas e utilizar métodos rigorosos para validar suas observações.

Assim, devido a estas considerações dos autores Koche, J. C. (2011), Pereira, A. S. et

al (2018) e Ludke, M. & Andre, M. E. D. A. (2013), adotou-se a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) como base metodológica para a realização do presente estudo.

A Revisão Bibliográfica Sistemática é um método para mapeamento de trabalhos publicados sobre determinado tema de pesquisa, específico, que adota procedimentos, etapas e ferramentas técnicas para criação de uma síntese do conhecimento existente sobre o tema de interesse, sendo um estudo secundário, dependente de estudos iniciais (Biolchini et al, 2007).

A RBS é metódica, explícita e passível de reprodução, e serve para nortear o desenvolvimento de projetos, bem como indicar futuras investigações. Requer uma pergunta clara, a definição de uma estratégia de busca e de critérios para inclusão ou exclusão de documentos e leitura e análise criteriosa de cada item selecionado (Sampaio & Mancini, 2007).

Para atender o objetivo desse artigo, foi utilizada uma revisão bibliográfica sistemática, adotando-se o método desenvolvido por Conforto, Amaral & Silva (2011), que é composto por três fases: Entrada, Processamento e Saída.

Na fase inicial (Entrada), define-se o problema de pesquisa que a RBS visa responder, delimitando seus objetivos, e a partir destes, os critérios para inclusão e exclusão dos documentos no estudo, as fontes primárias de dados, os Strings de busca, os métodos e ferramentas a serem utilizados. Na fase intermediária (Processamento), são realizadas as buscas, a seleção inicial dos documentos por meio de leitura e análise, e a seleção final se dá com a análise aprofundada destes. Na fase final (Saída), são cadastrados e arquivados os artigos/ documentos selecionados na etapa anterior de forma a facilitar a análise, processamento e compartilhamento dos dados, e a elaboração de síntese dos resultados obtidos.

2.1 Entrada

O problema ao qual essa pesquisa busca responder é: Como está configurado o estado do conhecimento sobre as ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel existentes?

Dessa forma, o objetivo da presente RBS é a identificação do estado do conhecimento das ferramentas de manutenção preditiva utilizadas em motores diesel.

A escolha das bases de dados deu-se de acordo com a sua relevância na área de estudo, sendo estas: Science Direct, Scopus e Web Of Science.

Os Strings de busca foram elaborados com base nos termos de interesse, onde foram

realizados testes iniciais para determinação do String que melhor atenderia aos objetivos da pesquisa, como pode-se observar no Quadro 1, sendo elegido o String 2 (“diesel engine” AND (“predictive maintenance” OR “failure diagnostics”)), por apresentar o maior número de resultados, totalizando 233 arquivos (pesquisa realizada no dia 08 de outubro de 2019).

Quadro 1 - Testes para definição dos *Strings* de busca.

Strings de busca		Bases de dados		
		Web Of Science	Scopus	Science Direct
String 1	(“predictive maintenance” AND “diesel engine”)	11	40	162
String 2	“diesel engine” AND (“predictive maintenance” OR “failure diagnostics”)	11	41	181
String 3	“diesel engine” AND “predictive maintenance” AND “oil analysis	2	5	42
String 4	“diesel engine” AND “predictive maintenance” AND (“oil analysis OR “lubricant”)	2	8	69
String 5	“diesel engine” AND (“predictive maintenance” OR “failure diagnostics”) AND (“oil analysis OR “lubricant”)	2	8	70
String 6	“diesel engine” AND (“predictive maintenance” OR “failure diagnostics”) AND (“oil analysis OR “lubricant”) AND (“dust” OR “dust-out OR “Silicon”)	0	3	34
String 7	“diesel engine” AND (“predictive maintenance” OR “failure diagnostics”) AND (“oil analysis OR “lubricant”) AND (“dust” OR “dust-out OR “Silicon” OR particle”)	0	3	59
String 8	“diesel engine” AND (“predictive maintenance” OR “failure diagnostics”) AND (“oil analysis OR “lubricant”) AND (“dust” OR “dust-out OR “Silicon” OR particle” OR “failure in filtration”)	0	3	59

Fonte: Autores.

Este Quadro 1, exibe as *Strings* que foram elencadas para a busca e a conformação das frases de filtros com os devidos conectivos para que o software possa varrer a rede e os respectivos bancos de dados das bases científicas, apresentando os resultados obtidos de cada um dos filtros.

Optou-se por não delimitar a pesquisa a artigos, pois acredita-se que possam existir outros tipos de documentos relevantes para a problemática apresentada.

Os critérios iniciais para inclusão de documentos estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Filtros iniciais aplicados nas bases de dados.

Bases de Dados	Web Of Science	Scopus	Science Direct	Total de documentos
Data da busca e exportação	08/10/2019	08/10/2019	08/10/2019	
Resultado 1 (busca do String 2)	11	41	181	233
Filtro 1 - Lapso temporal (1999 a 2019)				
Rejeitados por estarem fora do lapso temporal	2	10	43	55
Filtro 2 – Idiomas (Inglês, Português e Espanhol)				
Rejeitados por estarem fora dos idiomas analisados	0	2	Não possui o filtro	2
Exportar arquivos - Formato do arquivo BibTex				176

Fonte: Autores.

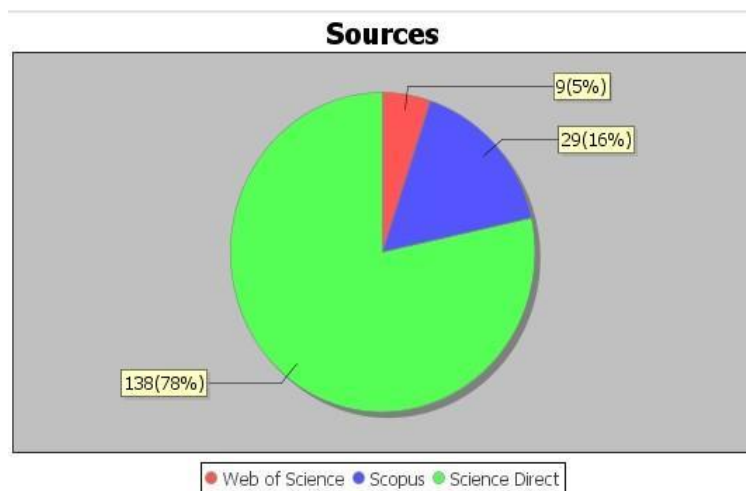
Como pode-se observar no Quadro 2, os critérios iniciais para inclusão de documentos foram: delimitação do lapso temporal (1999 a 2019 - vinte anos) com o intuito de observar a evolução da temática abordada, e idiomas de interesse (português, inglês e espanhol – por conveniência), totalizando 176 documentos, como apresentado no Quadro 2, assim como os resultados da aplicação e cada critério.

2.2 Processamento

Com os documentos previamente selecionados, e com base nos critérios da fase inicial (Entrada), iniciou-se a etapa de processamento, na qual foram exportados 176 documentos das bases de dados, em arquivos no formato BibTex, e importados para o *Software* de

gerenciamento StArt, sendo: 9 documentos da *Scopus*, 29 documentos da *Web Of Science* e 138 documentos da *Science Direct*, como pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 - Percentual de documentos por base de dados.



Fonte: Autores, com base no software StArt.

A Figura 1, que apresenta os resultados do software StArt, traz informações em formato de gráfico de pizza, separando os percentuais relativos a quantidade de documentos obtidos de cada uma das bases prospectadas.

Na sequência, já com o uso do *Software* StArt, foram identificados os documentos duplicados automaticamente (Filtro 3) e manualmente (Filtro 4), totalizando 25 documentos. A partir de então, foram realizadas análises textuais iniciais dos documentos, sendo avaliados os títulos, resumos e palavras-chaves para verificação de conformidade com os termos da pesquisa. Em seguida, foram aceitos todos os documentos que traziam termos relacionados à manutenção preditiva, diagnóstico de falhas e motor diesel, como pode-se observar no Quadro 3, que apresenta os filtros 3, 4 e 5, bem como seus resultados.

Quadro 3 - Filtros na etapa de seleção.

StArt - Fase de seleção				Total de documentos
Bases de dados	Web Of Science	Scopus	Science Direct	
Filtro 3 - Arquivos duplicados identificados pelo StArt	0	3	17	20
Filtro 4 - Arquivos duplicados identificados manualmente	3	0	2	5
Filtro 5 - Análise textual (Leitura dos título, resumo e palavras-chave)				
Rejeitados por não estarem em conformidade com a pesquisa	0	1	40	41
Total de documentos restantes	6	25	79	110

Fonte: Autores.

O Quadro 3, apresenta os resultados obtidos da fase de seleção de documentos nas respectivas bases prospectadas, com a aplicação de cada um dos filtros 3, 4 e 5 e assim, pode-se verificar no total de documentos uma significativa redução devida a documentos duplicados automaticamente (Filtro 3) e manualmente (Filtro 4), e rejeitados por não conformidade com a pesquisa (Filtro 5).

Passou-se então à próxima etapa, em que foram identificados os documentos que não estavam disponíveis para acesso na íntegra (Filtro 6). Em seguida foram realizadas leituras detalhadas dos títulos, resumos, palavras-chave, introduções e conclusões dos documentos (Filtro 7). Com isso buscou-se selecionar aqueles que abordassem ferramentas específicas de manutenção preditiva de motores diesel, independentemente de sua aplicação (industrial, marítima, agrícola, outras).

Como pode-se observar no Quadro 4, restaram 41 documentos após a aplicação dos filtros 6 e 7, sendo: 5 documentos da *Web Of Science*, 7 documentos da *Scopus* e 29 documentos da *Science Direct*.

Estes documentos passaram para a etapa de leitura integral e análise detalhada, para posterior tabulação e apresentação dos resultados.

Quadro 4 - Filtros na etapa de extração.

StArt - Fase de Extração				Total de documentos
Bases de dados	Web Of Science	Scopus	Science Direct	
Filtro 6 - Documento indisponível na íntegra	1	15	9	25
Filtro 7 - Análise textual (verificação de proposta de ferramenta/método de manutenção preditiva para motores diesel) - Leitura do resumo, introdução e conclusão				
Rejeitados por não estarem em conformidade com o filtro 7	0	3	41	44
Total de documentos restantes	5	7	29	41

Fonte: Autores.

O Quadro 4 exhibe a seleção daqueles artigos que abordam ferramentas específicas de manutenção preditiva de motores diesel, independentemente de sua aplicação (industrial, marítima, agrícola, outras), onde foram aceitos 41 e rejeitados 44 artigos, o que reduz ainda mais o universo de prospecção.

2.3 Saída

Foram baixados, então, os 41 documentos como listado no Quadro 5, sendo que, todos foram lidos na íntegra e tabulados de forma a apresentar os resultados obtidos.

Quadro 5 – Documentos analisados na íntegra para revisão bibliográfica sistemática

N.	Tipo de documento	Autor	Título	Ferramenta apresentada	Aplicação
1	Artigo	Oliveira; Lago, Oliveira Filho & Medeiros (2018)	<i>A new stochastic model for particulate matter and debris emitted by diesel engines</i>	Modelo estocástico para prever a evolução do desgaste em um motor diesel baseando-se na análise de detritos do tubo de escape	Motores Diesel

2	Artigo	Boullosa, Falces, Barrena, Lopez-Arraiza, Menendez & Solaetxe (2017)	<i>Monitoring of fuel oil process of marine diesel engine</i>	Monitoramento de variáveis SSDM com base na combinação de gráficos	Motor Diesel Marítimo 2T
3	Artigo	AbdulMunaim, Reuter, Abdulmunem, Balzer, Koch & Watson (2016)	<i>Using terahertz timedomain spectroscopy to discriminate among watercontamination levels in diesel engine oil</i>	A espectroscopia THz deve ser avaliada para discriminar outros contaminantes do óleo do motor	Motores Diesel
4	Artigo	Villanueva, Espadafor, CruzPeragon & Torres (2011)	<i>A methodology for cracks identification in large crankshafts</i>	Classificador baseado em redes neurais para identificar o nível de risco de falha nos virabrequins - um modelo de elementos finitos	Motores diesel usados em usinas de energia e propulsão marítima
5	Artigo	Macian, Payri, Tormos & Montoro (2006)	<i>Applying analytical ferrography as a technique to detect failures in Diesel engine fuel injection systems</i>	Análise ferrográfica - Sistema de injeção de combustível	Motores Diesel
6	Capítulo de Livro	Mobley (2001)	<i>43 - Vibration Fundamentals</i>	Análise de vibração	Motores Diesel
7	Artigo	Wang, Mao, Zhu, Song & Zhuo (2009)	<i>An intelligent diagnostic tool for electronically controlled diesel engine</i>	Ferramenta de diagnóstico inteligente interativa e amigável, baseada no KWP 2000	Motores Diesel
8	Artigo	Huang, Liu & Tao (2019)	<i>Mechanical fault diagnosis and prediction in IoT based on multi-source sensing data fusion</i>	Modelos de fusão de dados com detecção de múltiplas fontes e algoritmos de fusão	Turbinas ólicas, caixas de engrenagens, rolamentos de esferas, motores a diesel e outros equipamentos mecânicos
9	Artigo	CruzPeragón, Palomar, Díaz & Jiménez-Espadafor (2009)	<i>Practical identification of non-linear characteristics of elastomeric couplings in engine assemblies</i>	Método baseado em testes estáticos e dinâmicos, modelos não lineares e técnicas para identificação	Motores

				de parâmetros	
10	Artigo	Raposo, Farinha, Fonseca & Galar (2019)	<i>Predicting condition based on oil analysis: A case study</i>	Análise de óleo lubrificante e histórico de máquinas	Ônibus urbanos
11	Artigo	Nahim, Younes, Shraim & Ouladsine (2016)	<i>Modeling with Fault Integration of the Cooling and the Lubricating Systems in Marine Diesel Engine: Experimental validation</i>	Modelos dinâmicos para o sistema de refrigeração e lubrificação do motor diesel marítimo	Motores Diesel Marítimos
12	Capítulo de Livro	Moore (2007)	<i>13 - Predictive maintenance/ condition monitoring</i>	Análise de óleo e de vibração	Industrial
13	Capítulo de Livro	Girdhar & Scheffer (2004)	<i>1 - Predictive maintenance techniques: Part 1 predictive maintenance basics</i>	Análise de vibração	Industrial
14	Artigo	García, Ordóñez & Torregrosa (2016)	<i>Noise analysis in the design and construction of a semianechoic chamber for the diagnosis of internal combustion engines</i>	Análise de ruído	Motores de combustão interna
15	Artigo	Li, Jiang, Duan & Peng (2018)	<i>A new swarm intelligence optimized multiclass multi-kernel relevant vector machine: An experimental analysis in failure diagnostics of diesel engines</i>	Análise de vibração	Motores Diesel
16	Artigo	Kumar, Shankar, Lakshman & Thakur (2018)	<i>A big data driven sustainable manufacturing framework for condition-based maintenance prediction</i>	Big data para previsão de manutenção baseada em condições	Motores Diesel Marítimos
17	Artigo	Patocka, Schlögl, Schneidhofer, Dörr, Schneider & Schmid (2019)	<i>Piezoelectrically excited MEMS sensor with integrated planar coil for the detection of ferrous particles in liquids</i>	Sensor MEMS piezoelectricamente excitado com bobina planar integrada para a detecção de partículas ferrosas em líquidos	Industrial
18	Artigo	Sitnik, Pentoś, Magdziak-Tokłowicz &	<i>The Laser Doppler Vibrometry in mechatronics</i>	Vibrometria a Laser Doppler no diagnóstico	Motores Diesel

		Wrobel (2015)	<i>diagnostics</i>	mecatrônico	
19	Artigo	Taheri Garavand, Ahmadi, Omid, Mohtasebi, Mollazade, Smith & Carlomagno (2015)	<i>An intelligent approach for cooling radiator fault diagnosis based on infrared thermal image processing technique</i>	Sistema inteligente de diagnóstico de falhas e monitoramento de condições para classificação de diferentes condições do radiador de resfriamento usando imagens térmicas infravermelhas.	Motores
20	Capítulo de Livro	Mobley (1999)	<i>Chapter 2 - Vibration Analysis Applications</i>	Análise de vibração	Motores
21	Artigo	Isa, Yusoff, Nain, Yati, Muhammad & Nor (2013)	<i>Ferrographic Analysis of Wear Particles of Various Machinery Systems of a Commercial Marine Ship</i>	Análise de partículas de desgaste e da ferrografia - óleo lubrificante	Motores Marítimos
22	Artigo	Lazakis, Raptodimos & Varelas (2018)	<i>Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks</i>	Ferramentas analíticas de confiabilidade e rede neural artificial	Motores Diesel Marítimos
23	Capítulo de Livro	Bloch & Geitner (1999)	<i>Chapter 7 - Statistical Approaches in Machinery Problem Solving</i>	Abordagens estatísticas	Motores
24	Artigo	Nasiri, Taheri-Garavand, Omid & Carlomagno (2019)	<i>Intelligent fault diagnosis of cooling radiator based on deep learning analysis of infrared thermal images</i>	Diagnóstico inteligente de falhas do radiador de resfriamento baseado em análise profunda de aprendizagem de imagens térmicas infravermelhas	Industrial
25	Artigo	Bin, Jun & Cheng (2008)	<i>Study on fault diagnosis system of diesel engine fuel injection system based on BP neural network</i>	Diagnostico de falha por análise de vibração com base em rede neural	Sistema de injeção de motores diesel
26	Capítulo de Livro	Girdhar & Scheffer (2004)	<i>7 - Oil and particle analysis</i>	Análise de Óleo lubrificante de motores	Motores
27	Artigo	Gomes & Silva (2008)	<i>Some comparisons for damage detection on structures using</i>	Aplicação de modelo matemático para verificação de	Motores

			<i>genetic algorithms and modal sensitivity method</i>	integridade estrutural	
28	Artigo	Raposo, Farinha, Fonseca & Ferreira (2019)	<i>Condition monitoring with prediction based on diesel engine oil analysis: A case study for urban buses</i>	Monitoramento de condições com previsão baseada na análise de óleo de motor diesel	Ônibus urbanos
29	Artigo	Engineered Machined Products Inc.	<i>A breakthrough in vehicle cooling system pumps design</i>	Proposta de um novo sistema de refrigeração (elétrico) para controle do sistema de refrigeração de motores diesel.	Motores Diesel
30	Capítulo de Livro	Mobley (2002)	9 - Tribology	Análise de óleo	Industrial
31	Artigo	Alvarez & Huet (2008)	<i>Automatic diagnosis of engine of agricultural tractors: The BED experiment</i>	Banco de ensaios para avaliação e diagnóstico	Agrícola
32	Artigo	Kumar & Ghosh (2019)	<i>Size distribution analysis of wear debris generated in HEMM engine oil for reliability assessment: A statistical approach</i>	Modelo para previsão da severidade do desgaste com o tempo de operação com base na análise de óleo - ferrografia	Mineração
33	Artigo	Syan & Ramsoobag (2019)	<i>Maintenance applications of multi-criteria optimization: A review</i>	Artigo de revisão	Manutenção preditiva
34	Capítulo de Livro	Geitner & Bloch (2006)	<i>Chapter 4 - Estimating machinery uptime</i>	Distribuição exponencial para previsão de falhas em equipamentos mecânicos	Motores
35	Artigo	Lazakis, Dikis, Michala & Theotokatos (2016)	<i>Advanced Ship Systems Condition Monitoring for Enhanced Inspection, Maintenance and Decision Making in Ship Operations</i>	Inspeção aprimorada - monitoramento de máquinas com informações em tempo real usando sensores inteligentes e incorporando análise de riscos estruturais e de máquinas	Marítima
36	Artigo	Rubio, Vera-García, Grau, Cámara & Hernandez	<i>Marine diesel engine failure simulator based on thermodynamic model</i>	Simulador de falha de motor diesel marítimo baseado no modo	Motores Diesel Marítimos

		(2018)		termodinâmico	
37	Artigo	Diez-Olivan, Pagan, Sanz & Sierra (2017)	<i>Data-driven prognostics using a combination of constrained K-means clustering, fuzzy modeling and LOFbased score</i>	Abordagem de prognóstico orientado a dados para prever e identificar anomalias e falhas operacionais.	Motores Diesel Marítimos
38	Artigo de Conferência	Nixon, Weichel, Reichard & Kozlowski (2018)	<i>A machine learning approach to diesel engine health prognostics using engine controller data</i>	Abordagem automatizada para a seleção de recursos e classificadores para prognósticos híbridos.	Motores Diesel
39	Artigo	Simões, Viegas, Farinha & Fonseca (2017)	<i>The State of the Art of Hidden Markov Models for Predictive Maintenance of Diesel Engines</i>	Dois algoritmos que podem ajudar a aumentar a qualidade da avaliação dos estados do motor e a eficiência do planejamento de manutenção	Motores Diesel
40	Artigo	Lee, Kao & Yang (2014)	<i>Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment</i>	Aplicativo de monitoramento remoto	Motores Diesel
41	Artigo	Wolak (2018)	<i>TBN performance study on a test fleet in realworld driving conditions using present-day engine oils</i>	Análise de TBN - óleo lubrificante	Motores diesel - Transporte de Passageiros

Fonte: Autores.

O Quadro 5 exibe a lista de todos os 41 artigos selecionados para a pesquisa e indica a contribuição de cada um.

3. Resultados e Discussão

Com base nos critérios adotados nesta revisão sistemática, foi possível identificar um avanço nas produções científicas relacionadas as ferramentas de manutenção preditiva, o que reforça a sua importância.

A Figura 2 apresenta as formas de manutenção identificadas.

Figura 2 – Formas de manutenção.

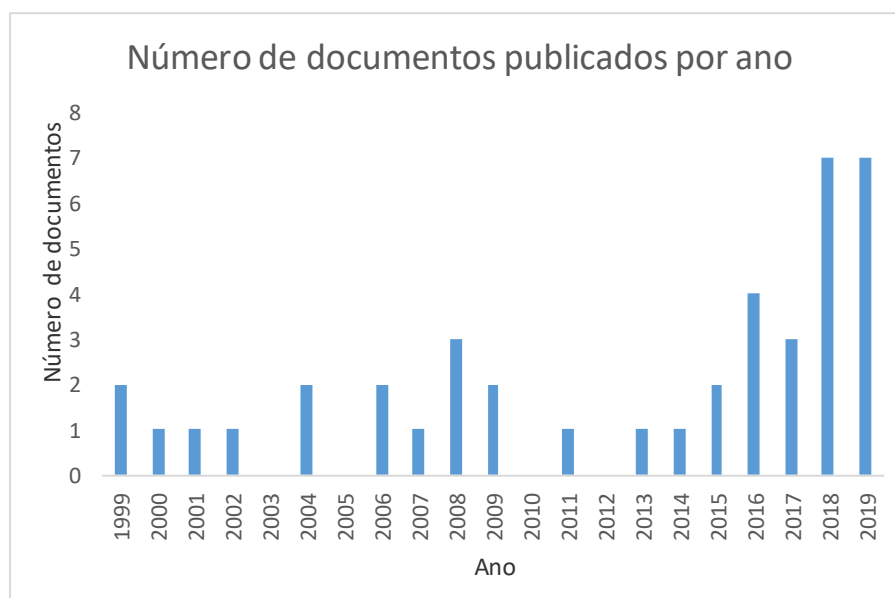


Fonte: Autores.

A Figura 2 traz um organograma que permite observar, que a manutenção pode se dar de forma programada ou não programada.

O Gráfico 1, apresenta o número de publicações por ano obtidas na pesquisa.

Gráfico 1 - Publicações por ano.



Fonte: Autores.

O Gráfico 1, apresenta o número de publicações por ano, dos 41 documentos selecionados. Destes, 28 foram publicados na última década e, 23 foram publicados nos últimos cinco anos, o que demonstra o avanço e relevância da temática abordada.

Na Figura 3 temos mais um resultado do software que considera as palavras chave dos artigos selecionados na pesquisa.

Figura 3 - Nuvem de palavras.

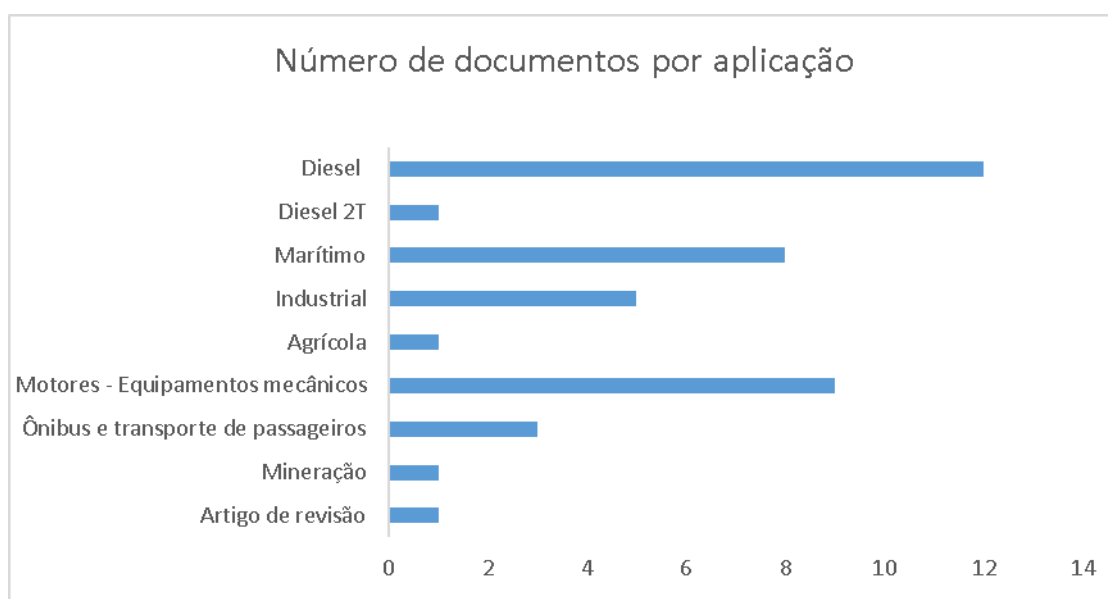


Fonte: Autores.

Na Figura 3 apresenta-se a nuvem de palavras gerada a partir das palavras-chave dos artigos selecionados, com destaque às palavras: Manutenção; Monitoramento; Análise; Preditiva; Diesel; e Motores.

Ao analisar os documentos na íntegra, foi possível categorizar os documentos por aplicabilidade, sendo: Industrial; Motores Diesel; Motores Diesel 2T; Motores Diesel de Tratores Agrícolas; Motores e equipamentos Mecânicos; Ônibus e Transporte de Passageiros; Mineração e Marítima, como demonstrado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Número de documentos por aplicação.



Fonte: Autores.

O Gráfico 2 traz a separação feita nos documentos elencados para a pesquisa, de forma a identificar as aplicações foco de cada um deles. Os focos mais relevantes foram encontrados, em maiores quantidades de artigos, para Diesel, Marítimo, Motores-Equipamentos mecânicos e industrial.

Neste ponto, faz-se importante destacar que a maioria das ferramentas apresentadas para o setor industrial, com exceção à análise e monitoramento da qualidade do óleo lubrificante de motor, tratam de motores diesel estacionários, e estes possuem características distintas dos motores diesel utilizados em tratores agrícolas.

No setor agrícola as máquinas são expostas às condições severas de trabalho, estando sujeitas ao contato com diversos contaminantes, dentre eles a Sílica, que é um dos minerais mais abundante da crosta terrestre (Lazzerini & Bonotto, 2014). A Sílica pode ser facilmente encontrada no ambiente agrícola, em áreas de arado, plantio e colheita, extração mineral em minas a céu aberto, entre outras. Possível de estar presente no óleo lubrificante do motor devido a contaminação externa por poeira, acarretando sérios problemas de desgaste devido ao deslizamento entre as partes metálicas de forma mais severa.

Conforme visto no Gráfico 2, apenas um dos documentos analisados apresenta uma ferramenta de manutenção preditiva aplicada a motores diesel em tratores agrícolas.

Tal artigo (especificado no Quadro 6), apresenta um Banco de Ensaio para avaliação e diagnóstico rápido e automático de motores de tratores agrícolas, por meio da comparação entre o desempenho atual (levando em consideração diversos parâmetros como: a velocidade

de tomada de força, o torque do motor, o consumo de combustível e variáveis ambientais) e valores de referência, sugerindo quais partes podem ser responsáveis pela falta de desempenho.

Quadro 6 - Ferramenta aplicada a motor de trator agrícola.

Autor	Título	Proposta
Alvare & Huet (2008)	Automatic diagnosis of engine of agricultural tractors: the bed experiment	Banco de ensaios para avaliação e diagnóstico de motores de tratores agrícolas

Fonte: Autores.

O Quadro 6 exhibe o artigo que um traz o banco de ensaio para avaliação e diagnóstico rápido e automático de motores de tratores agrícolas, publicado em 2008.

Segundo os autores, é um dispositivo simples, cuja validação estatística foi realizada usando um banco de dados de testes coletados ao longo de 10 anos, e que apresentou resultados satisfatórios.

Também merece destaque a proposta apresentada por Oliveira et al (2018) que trata do monitoramento das condições do equipamento por meio de análise de detritos do tubo de escape provenientes do desgaste do motor com amostras coletadas a cada vinte horas (Quadro 7).

Quadro 7 - Análise de detritos do tubo de escape.

Autor	Título	Proposta
Oliveira; Lago, Oliveira Filho & Medeiros (2018)	A new stochastic model for particulate matter and debris emitted by diesel engines	Modelo estocásticos para prever a evolução do desgaste em um motor diesel baseando-se na análise de detritos do tubo de escape a cada 20 horas.

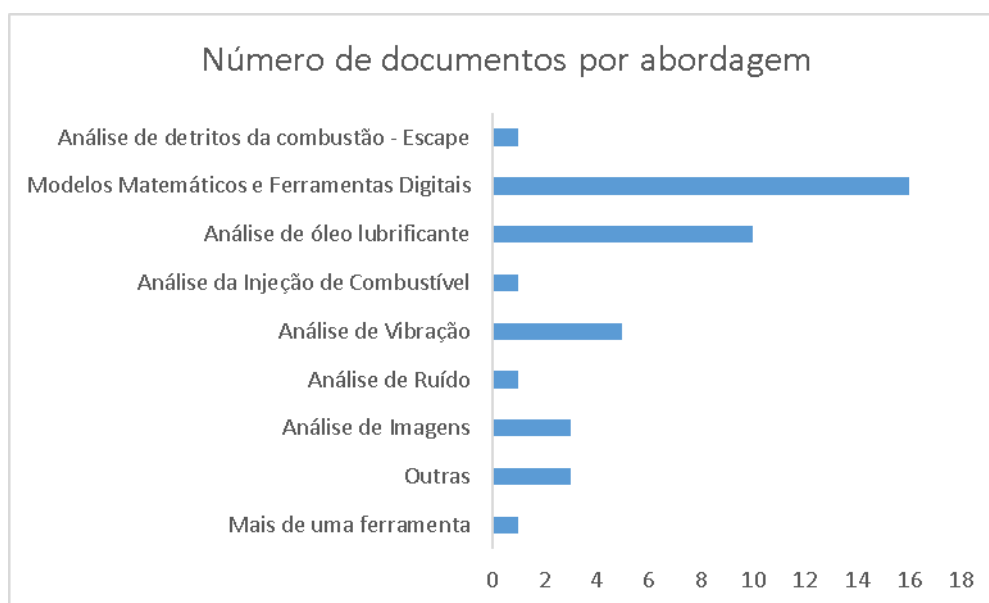
Fonte: Autores.

O Quadro 7 apresenta a ferramenta que poderia ser implementada como proposta na rotina diária de manutenção das máquinas e equipamentos agrícolas, publicada no ano de 2018.

Pode-se ainda classificar os documentos por tipo de ferramenta apresentada, sendo as ferramentas baseadas em: Análise de óleo lubrificante do motor; Análise de vibração; Análise de ruído; Modelos matemáticos ou Ferramentas digitais; Análise de detritos do tubo de escape; Monitoramento do combustível; Uso de imagem e outros.

O Gráfico 3 apresenta as ferramentas tratadas nos documentos analisados de acordo com suas abordagens.

Gráfico 3 - Número de documentos por abordagem.



Fonte: Autores.

Neste Gráfico 3, é possível observar os temas foco dos documentos pesquisados por abordagem, que os Modelos Matemáticos e Ferramentas Digitais são os mais citados, uma vez que, em conjunto, possibilitam a previsão de falhas, com diagnóstico em tempo real, para a tomada de decisão mais assertiva e que cause menor impacto com relação ao plano de trabalho.

Sidahmed (2001), conceitua sabiamente o diagnóstico e monitoramento de condições, como assunto multidisciplinar, por combinar diversas técnicas e áreas de conhecimento, como a engenharia mecânica, instrumentação, processamento de sinais, desenvolvimento de sistemas, análise de dados, entre outros.

A análise de óleo lubrificante, é a segunda abordagem que mais se destaca nos documentos analisados (como pode-se observar na Figura 3), e já é amplamente utilizada no setor agrícola para monitoramento da condição dos motores de máquinas e implementos, uma vez que a degradação e contaminação do óleo lubrificante são as principais causas da redução da eficiência do óleo lubrificante e através das análises é possível verificar a efetividade do óleo e as condições do ambiente operacional (Snook, 1968).

O Quadro 8 apresenta os documentos que abordam a análise das características do óleo lubrificante como ferramenta de manutenção preditiva.

Quadro 8 - Ferramentas que abordam características do óleo lubrificante.

Propostas baseadas em características do óleo lubrificante		
Autor	Título	Proposta
Abdul-Munaim, Reuter, Abdulmunem, Balzer; , Koch & Watson (2016)	Using terahertz time-domain spectroscopy to discriminate among watercontamination levels in diesel engine oil	Utilização de espectroscopia THz para discriminar contaminantes do óleo do motor
Raposo, Farinha Fonseca & Galar (2019)	Predicting condition based on oil analysis: a case study	Monitoramento da condição do óleo lubrificante - criação de histórico para previsão de falhas
Moore (2007)	13 - Predictive maintenance/ condition monitoring	Análise de óleo e de vibração para monitoramento do motor
Patocka, Schlögl, Schneidhofer, Dörr, Schneider & Schmid (2019)	Piezoelectrically excited MEMS sensor with integrated planar coil for the detection of ferrous particles in liquids	Sensor MEMS piezoeletricamente excitado com bobina planar integrada para a detecção de partículas ferrosas em líquidos
Isa, Yusoff, Nain, Yati, Muhammad & Mohd Nor (2013)	Ferrographic analysis of wear particles of various machinery systems of a commercial marine shio	Análise de partículas de desgaste e ferrografia de óleo lubrificante
Girdhar & Scheffer	7 - Oil and particle analysis	Análise do óleo lubrificante do motor

(2004)		
Raposo, Farinha, Fonseca & Ferreira (2019)	Condition monitoring with prediction based on diesel engine oil analysis: a case study for urban buses	Monitoramento de condições com previsão baseada na análise de óleo lubrificante do motor
Mobley (2002)	9 - Tribology	Análise de óleo
Kumar, Kumar & Ghosh (2019)	Size distribution analysis of wear debris generated in HEMM engine oil for reliability assessment: a statistical approach	Modelo para prever a severidade do desgaste com o tempo de operação com base na análise de óleo (ferrografia)
Wolak (2018)	TBN performance study on a test fleet in real-world driving conditions using present-day engine oils	Análise de TBN do óleo lubrificante

Fonte: Autores.

Neste Quadro 8, observa-se que dentre estes artigos, destaca-se o trabalho de Patocka et al (2019), que aborda a análise de partículas ferrosas (provenientes de desgaste das peças internas), por meio de sensor piezoelectricamente excitado, que poderia ser uma ferramenta utilizada para obtenção de parâmetros em tempo real. Os autores ressaltam ainda, que seria necessário a realização de testes em condições reais, com óleo proveniente de máquinas, para avaliação do desempenho do sensor.

Segundo Silveira (2001), a manutenção do óleo limpo e isento de água proporciona o prolongamento da vida útil das máquinas, redução do custo de manutenção, aumento a vida útil do lubrificante e aumento da produtividade, pois cerca de 85% dos problemas de desgaste em máquinas lubrificadas são causadas por contaminação do óleo lubrificante.

A detecção antecipada dessas irregularidades possibilita maior assertividade e segurança nas tomadas de decisões nas manutenções, aumentando a confiabilidade e consequentemente, a disponibilidade do equipamento (Olver, 2002).

4. Conclusões

Com a realização da pesquisa utilizando a ferramenta de revisão bibliográfica sistemática, foi possível identificar diversas ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel.

Com base nos documentos analisados, pode-se concluir que os setores que mais pesquisam e desenvolvem ferramentas de manutenção preditiva para motores são o industrial e o marítimo, sendo que no primeiro, a parada da linha de produção pode gerar inúmeros prejuízos, e muitas vezes esses motores estão relacionados às situações emergenciais, que podem garantir a segurança do processo e dos colaboradores envolvidos. No segundo, assim como no primeiro, existem as questões de prejuízos com a parada destes motores e o risco aos tripulantes da embarcação, mas, principalmente devido às condições as quais esses motores são expostos. Os estudos se mostram extremamente relevantes para que as operações marítimas sejam viáveis financeiramente e seguras.

Dos 41 documentos analisados nesta pesquisa, oito são capítulos de livros, o que demonstra que a análise de tal formato documental é relevante à temática aqui abordada. Da mesma forma, pesquisas sobre a manutenção preditiva vem ganhando importância nos últimos anos, sendo cada vez mais estudada e desenvolvida por pesquisadores da área, o que nos leva a acreditar que também deve caminhar em direção ao setor agrícola.

Apesar de apenas um dos documentos analisados fazer referência direta ao uso em tratores agrícolas, provavelmente grande parte das ferramentas identificadas poderiam ser adaptadas a tal segmento.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a análise mais aprofundada de cada ferramenta identificada, o que poderá gerar mais artigos e novas pesquisas como, por exemplo, o estudo da viabilidade financeira para implementação nas rotinas de manutenção preditiva de máquinas agrícolas.

Referências

Abdul-Munaim, A. M., Reuter, M., Abdulmunem, O. M., Balzer, J. C., Koch, M. & Watson, D. G. (2016). Using terahertz time-domain spectroscopy to discriminate among water contamination levels in diesel engine oil. *Transactions of the ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers*, St. Joseph, Michigan. 59(3) 795-801. [doi.org/10.13031/trans.59.11448.801](http://dx.doi.org/10.13031/trans.59.11448.801).

Alvarez, I. & Huet, S. (2008). Automatic diagnosis of engine of agricultural tractors: The BED experiment. *Biosystems Engineering*, 100(1) 362-369. doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.04.003.

Bin, Z., Jun, Y. & Cheng, T. (2008). Study on fault diagnosis system of diesel engine fuel injection system based on BP neural network. *International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*, CCCM 2008, (2) 108-112. doi.org/10.1109/CCCM.2008.33.

Biolchini, J. C. A., Mian, P. G., Natali, A. C. C., Conte, T. U. & Travassos, G. H. (2007). Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. *Advanced Engineering Informatics*, 21(2) 133-151. doi.org/10.1016/j.aei.2006.11.006.

Bloch, H. P. & Geitner, F. K. (1999). Chapter 7 - Statistical Approaches in Machinery Problem Solving. In: *Practical Machinery Management for Process Plants*. Gulf Professional Publishing, 2(1) 477-522. doi.org/10.1016/S18746942(99)80009-1.

Boullosa-Falces, D., Barrera, J. L. L., Lopez-Arraiza, A., Menendez, J. & Solaetxe, M. A. G. (2017). Monitoring of fuel oil process of marine diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 127 (1) 517-526. doi.org/10.1016/j.applthermale.2017.08.036

Conforto, E. C., Amaral, D. C. & Silva, S. L. (2011). Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projeto. VIII Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Porto Alegre/RS.

Cruz-Peragón, F., Palomar, J.M., Díaz, F.A. & Jiménez-Espadafor, F.J. (2009). Practical identification of non-linear characteristics of elastomeric couplings in engine assemblies. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 23(1) 922-930. doi.org/10.1016/j.ymssp.2008.08.007.

Diez-olivan, A., Pagan, J. A., Sanz, R. & Sierra, B. (2017). Data-driven prognostics using a combination of constrained K-means clustering, fuzzy modeling and LOF based score. *Neurocomputing*, 241(1) 97-107. doi.or/10.1016/j.neucom.02.024.

Engineered Machined Products Inc. (2000). A breakthrough in vehicle cooling system pumps design. *World Pumps*, 2000(1) 42-44. doi.org/10.1016/S0262-1762(00)88913-0.

García, M. O., Ordóñez, C. G. & Torregrosa, A. J. (2016). Noise analysis in the design and construction of a semianechoic chamber for the diagnosis of internal combustion engines. *Informacion Tecnologica*, 27(1) 121-132. doi.org/10.4067/S071807642016000500014.

Geitner, F. K., & Bloch, H. P. (2006). Chapter 4 - Estimating machinery uptime. In: *Practical Machinery Management for Process Plants*. Gulf Professional Publishing, 5(1) 45-77.

Girdhar, P., & Scheffer, C. (2004). Chapter 1 - Predictive maintenance techniques: Part 1 predictive maintenance basics. In: *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Newnes, 1-10.

Gomes, H. M., & Silva, N. R. S. (2008). Some comparisons for damage detection on structures using genetic algorithms and modal sensitivity method. *Applied Mathematical Modelling*, 32(1) 2216-2232. doi.org/10.1016/j.apm.2007.07.002.

Goodman, D., Sorj, B., & Wilkinson, J. (2008). Da lavoura às biotecnologias: agricultura e indústria no sistema internacional. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais. *A apropriação industrial do processo de produção rural*. 6-49. ISBN: 978-85-9966-229-8.

Huang, M., Liu, Z., & Tao, Y. (2019). Mechanical fault diagnosis and prediction in IoT based on multi-source sensing data fusion. *Simulation Modelling Practice and Theory*. doi.org/10.1016/j.simpat.2019.101981.

Isa, M. C., Yusoff, N. H. N., Nain, H., Yati, M. S. D., Muhammad, M. M., & Nor, I. M. (2013). Ferrographic Analysis of Wear Particles of Various Machinery Systems of a Commercial Marine Ship. *Procedia Engineering*, 68(1) 345-351. doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.190.

Jacto. (2020). *Entenda a mecanização da agricultura e conheça 4 vantagens*. Site eletrônico. Recuperado de <https://blog.jacto.com.br/entenda-a-mecanizacao-da-agricultura-e-conheca-4-vantagens/>

Kardec, A., & Nascif J. (2009). *Manutenção: função estratégica*. (3a ed.), Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás.

Köche, J. C. (2011). *Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa*. Petrópolis, RJ: Vozes.

Kumar, A., & Ghosh, S. K. (2019). Size distribution analysis of wear debris generated in HEMM engine oil for reliability assessment: A statistical approach. *Measurement*, 131(1) 412-418. doi.org/10.1016/j.measurement.2018.09.012.

Kumar, A., Shankar, R., & Thakur, L. S. (2018). A big data driven sustainable manufacturing framework for condition-based maintenance prediction. *Journal of Computational Science*, 27(1) 428-439. doi.org/10.1016/j.jocs.2017.06.006.

Lazakis, I., Raptodimos, Y., & Varelas, T. (2018). Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 152(1), 404-415. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.017.

Lazakis, I., Dikis, K., Michala, A. L., & Theotokatos, G. (2016). Advanced Ship Systems Condition Monitoring for Enhanced Inspection, Maintenance and Decision Making in Ship Operations. *Transportation Research Procedia*, 14(1) 1679-1688. doi.org/10.1016/j.trro.2016.05.133.

Lazzerini, F. T., & Bonotto, D. M. (2014). O silício em águas subterrâneas do Brasil. *Ciência e Natura*, 36(2) 159–168. doi.org/10.5902/2179460X13135.

Lee, J., Kao, H. & Yang, S. (2014). Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. *Procedia CIRP*, 16(1), 3-8. doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001.

- Li, Z., Jiang, Y., Duan, Z. & Peng, Z. (2018). A new swarm intelligence optimized multiclass multi-kernel relevant vector machine: An experimental analysis in failure diagnostics of diesel. *Structural Health Monitoring*, 17(1) 1503-1519. doi.org/10.1177/1475921717746735.
- Ludke, M., & Andre, M. E. D. A. (2013). *Pesquisas em educação: uma abordagem qualitativa*. São Paulo: E.P.U. F.
- Macian, V., Payri, R., Tormos, B., & Montoro, L. (2006). Applying analytical ferrography as a technique to detect failures in Diesel engine fuel injection systems. *Wear*. 260(1) 562-566. doi.org/10.1016/j.wear.2005.03.019.
- Magro, T. V., & Cavichioli, F. A. (2018). Uso de implementos agrícolas: vantagens e desvantagens. *SIMTEC*. Simpósio de Tecnologia da Fatec de Taquaritinga. 4(1), 1-13.
- Marion, C. (2014). Mecanização agrícola transforma perfil do gestor. *Revista Máquinas Agrícolas & Inovações*.
- Mobley, R. K. (2001). 43 - Vibration Fundamentals. In: *Plant Engineer's Handbook*. Butterworth-Heinemann. doi.org/10.1016/B978-075067328-0/50045-8.
- Mobley, R. K. (1999). Chapter 2 - Vibration Analysis Applications. In: *Vibration Fundamentals*. Newnes, 3-5. doi.org/10.1016/B978-075067150-7/50038-0.
- Mobley, R. K. (2002). 9 – Tribology: An Introduction to Predictive Maintenance. In: *Plant Engineering*, Butterworth-Heinemann, (2a ed.) doi.org/10.1016/B978075067531-4/50009-9.
- Moore, R. (2007). 13 - Predictive maintenance/ condition monitoring. In: *Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools*. Butterworth-Heinemann. doi.org/10.1016/B978-075067916-9/50014-X.
- Nahim, H. M., Younes, R., Shraim, H. & Ouladsine, M. (2016). Modeling with Fault Integration of the Cooling and the Lubricating Systems in Marine Diesel Engine: Experimental validation. *IFAC*, 49(1) 570-575. doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.08.083.

Nasiri, A., Taheri-Garavand, A., Omid, M. & Carlomagno, G. M. (2019). Intelligent fault diagnosis of cooling radiator based on deep learning analysis of infrared thermal images, *Applied Thermal Engineering*, 163(1). doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114410.

Nixon, S., Weichel, R., Reichard, K. & Kozlowski, J. (2018). *A machine learning approach to diesel engine health prognostics using engine controller data*. Proceedings of the Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society.

Olver, A.V. (2002). Gear lubrication – a review. *Journal of Engineering Tribology*. 216(1) 255-267. doi.org/10.1243/135065002760364804.

Oliveira; F. C. M., Lago, D. M., Oliveira Filho, M. F. & Medeiros, J. T. N. M. (2018). A new stochastic model for particulate matter and debris emitted by diesel engines. *6th International Conference Integrity-Reliability-Failure Lisbon/Portugal*.

Pacheco, E. P. (2000). *Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas*. Rio Branco: Embrapa Acre, (Embrapa Acre. Documentos, 58).

Patocka, F., Schlögl, M., Schneidhofer, C.; Dörr, N., Schneider, M. & Schmid, U. (2019). Piezoelectrically excited MEMS sensor with integrated planar coil for the detection of ferrous particles in liquids. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 299(1) 126957. doi.org/10.1016/j.snb.2019.126957.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria, RS: UFSM, NTE.

Raposo, H., Farinha, J. T., Fonseca, I., Ferreira, L. A. (2019). Condition monitoring with prediction based on diesel engine oil analysis: A case study for urban buses. *MDPI*, v.8, doi.org/10.3390/act8010014.

Raposo, H., Farinha, J. T., & Fonseca, I., Galar, D. (2019). Predicting condition based on oil analysis – A case study. *Tribology International*, 135(1) 65-74. doi.org/10.1016/j.triboint.2019.01.041.

Rubio, J. A. P., Vera-García, F. Grau, J. H., Cámara, J. M. & Hernandez, D. A. (2018). Marine diesel engine failure simulator based on thermodynamic model. *Applied Thermal Engineering*, 144(1) 982-995. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.08.096.

Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, São Carlos, 11(1) 83-89.

Santos, E. A., Soares, H. S., Silva, M. R., Rocha, T. A. F. & Fernandes, T. J. L. (2014). Uso correto dos óleos lubrificantes para máquinas agrícolas. *Revista Cultivar Máquinas*. Ed. 143.

Senar – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. (2009). *Tratores Agrícolas: manutenção de tratores agrícolas*. Coleção SENAR 130. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília: SENAR.

Sidahmed, M. (2001). Diagnostics and condition monitoring, basic concepts. *Encyclopedia of Vibration*, Elsevier. doi.org/10.1006/rwvb.2001.0147.

Silveira, G. M. (2001). *Os cuidados com o trator*. Série Mecanização. Viçosa: Aprenda Fácil.

Simões, A., Viegas, J. M., Farinha, J. T., & Fonseca, I. (2017). The State of the Art of Hidden Markov Models for Predictive Maintenance of Diesel Engines. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(1) 2765-2779. doi.org/10.1002/qre.2130.

Sitnik, L., Pentós, K., Magdziak-Toklowicz, M. & Wrobel, R. (2015). The Laser Doppler Vibrometry in mechatronics diagnostics. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 15(1) 962-970. doi.org/10.1016/j.acme.2015.04.001.

Snook, W. A. (1968). Análise de óleos usados de motores. *Lubrificação*, 54(9) 97-116.

Syan, C. S., & Ramsoobag, G. (2019). Maintenance applications of multi-criteria optimization: A review. *Reliability Engineering & System Safety*, 190(1). doi.org/10.1016/j.ress.2019.106520.

Taheri-Garavand, A., Ahmadi, H., Omid, M., Mohtasebi, S. S., Mollazade, K., Smith, A. J. R. & Carlomagno, G. M. (2015). An intelligent approach for cooling radiator fault diagnosis based on infrared thermal image processing technique. *Applied Thermal Engineering*, 87(1) , 434-443. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.05.038.

Vian, C. E. F., Andrade JR, A. M., Baricelo, G. & Silva, R. P. (2013). Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. *Rev. Econ. Sociol. Rural*. 51(4) 719-744. Brasília. doi.org/10.1590/S0103-20032013000400006.

Villanueva, J. A. B., Espadafor, F. J., Cruz-Peragon, F. & Garcia, M. T. (2011). A methodology for cracks identification in large crankshafts. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 25(8) 3168-3185. doi.org/10.1016/j.ymssp.2011.02.018.

Wang, J., Mao, X., Zhu, K., Song, J. & Zhuo, B. (2009). An intelligent diagnostic tool for electronically controlled diesel engine. *Mechatronics*, 19(1) 859-867. doi.org/10.1016/j.mechatronics.2009.04.009.

Wolak, A. (2018). TBN performance study on a test fleet in real-world driving conditions using present-day engine oils. *Measurement*, 114(1) 322-331. doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.044.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Evelin Larissa Rombi De Aquino – 20%

Mario Mollo Neto – 20%

Cristiane Hengler Corrêa Bernardo – 20%

Flávio José de Oliveira Moraes – 20%

Paulo Sérgio Barbosa dos Santos – 20%

CAPÍTULO II – POSSÍVEIS PONTOS DE CONTAMINAÇÃO DO ÓLEO LUBRIFICANTE POR SÍLICA, EM MOTORES DIESEL

Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 11, p. e99691110669, 2020.

DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10669.

Possíveis pontos de contaminação do óleo lubrificante por sílica, em motores diesel

Possible contamination points of lubricating oil by silica in diesel engines

Posibles puntos de contaminación del aceite lubricante por sílice en motores diésel

Recebido: 27/11/2020 | Revisado: 05/12/2020 | Aceito: 08/12/2020 | Publicado: 10/12/2020

Evelin Larissa Rombi De Aquino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2027-3842>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: evelin.aquino@unesp.br

Mario Mollo Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8341-4190>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: mario.mollo@unesp.br

Lucas Malagutti Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3552-1653>

Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo, Brasil

E-mail: malaguttijd@gmail.com

Flávio José De Oliveira Morais

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7638-1984>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: flavio.morais@unesp.br

Paulo Sérgio Barbosa Dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8211-3882>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: paulo.sb.santos@unesp.br

Resumo

O alto custo de manutenção e despesas com lubrificantes são citados como desvantagens da mecanização agrícola. O setor de manutenção de frota é responsável por grande parte dos custos nas propriedades agroindustriais e toda inovação empregada na redução destes custos pode impactar diretamente no preço final do produto. A análise laboratorial do óleo lubrificante é uma das principais ferramentas de manutenção para verificação de anormalidades no motor diesel e torna possível o monitoramento das condições químicas e

físicas do óleo por meio de análises que apontam a presença de contaminação por água, partículas ferrosas e contaminantes externos como a Sílica, que pode ser proveniente da poeira, e é uma das principais fontes de contaminação do óleo lubrificante, sendo a causa mais comum de desgaste. Diante deste contexto, o objetivo do presente artigo é indicar os possíveis pontos de contaminação do óleo lubrificante do motor diesel por Sílica e propor um *check list* que possa ser utilizado numa inspeção visual detalhada, a ser inserida na rotina de manutenção preventiva dos tratores agrícolas, com a finalidade de identificação de possível contaminação por elementos externos, evitando assim que o sistema continue sendo contaminado até a chegada dos resultados das análises laboratoriais.

Palavras-chave: Manutenção preditiva; Check list; Motor diesel.

Abstract

The high cost of maintenance and expenses with lubricants are cited as disadvantages of agricultural mechanization. The fleet maintenance sector is responsible for a large part of the costs in agro-industrial properties and any innovation employed to reduce these costs can directly impact the final price of the product. A laboratory analysis of lubricating oil is one of the main maintenance tools for checking for abnormalities in the diesel engine and makes it possible to monitor physical and physical conditions through analyzes that point out the presence of contamination by water, ferrous particles and external contaminants such as Silica, which may come from dust, is one of the main sources of contamination of lubricating oil, being the most common cause of wear. Given the context, the objective of this article is to indicate the possible points of contamination of the lubricating oil of the diesel engine by Silica and to propose a check list that can be used in a detailed visual precision, to be inserted in the preventive maintenance routine of agricultural tractors, with the identification of identification of possible contamination by external elements, thus preventing the system from continuing to be contaminated until the results of laboratory analysis arrive.

Keywords: Predictive maintenance; Checklist; Diesel engine.

Resumen

El alto costo de mantenimiento y los gastos con lubricantes se citan como desventajas de la mecanización agrícola. El sector de mantenimiento de flotas es responsable de una gran parte de los costos en propiedades agroindustriales y cualquier innovación empleada para reducir estos costos puede impactar directamente en el precio final del producto. Un análisis de laboratorio de aceite lubricante es una de las principales herramientas de mantenimiento para

la verificación de anomalías en el motor diesel y permite monitorear las condiciones físicas y físicas a través de análisis que señalan la presencia de contaminación por agua, partículas ferrosas y contaminantes externos como La sílice, que puede provenir del polvo, es una de las principales fuentes de contaminación del aceite lubricante, siendo la causa más común de desgaste. Dado el contexto, el objetivo de este artículo es indicar los posibles puntos de contaminación del aceite lubricante del motor diesel por Sílice y proponer una lista de verificación que se puede utilizar con una precisión visual detallada, para ser insertada en la rutina de mantenimiento preventivo de los tractores agrícolas, la identificación de identificación de posible contaminación por elementos externos, evitando así que el sistema continúe contaminado hasta que lleguen los resultados de los análisis de laboratorio.

Palabras clave: Mantenimiento predictivo; Lista de Verificación; Motor diesel.

1. Introdução

Os maquinários agrícolas surgiram para auxiliar o homem na atividade, diminuindo o seu desgaste físico e substituindo a força animal, o que possibilitou o aumento da produção, a exploração de áreas mais extensas, maior velocidade nas operações, redução de necessidade de mão-de-obra e o atendimento da demanda cada vez maior por alimentos (Goodman, Sorj & Wilkinson, 2008), sendo inicialmente movidos a vapor e evoluindo rapidamente para o funcionamento a gasolina e depois a diesel, e posteriormente foram introduzidas novas tecnologias (Vian et al, 2013).

As principais desvantagens da mecanização são a compactação do solo, a necessidade de mão-de-obra especializada para operação e manutenção, o alto investimento de implementação e as despesas com lubrificantes e combustíveis (Magro & Cavichioli, 2017; Jacto, 2019), sendo a manutenção considerada fator crítico em diversas áreas (Silva et al, 2020).

Santos et al, (2014), destacam que as manutenções preventivas e preditivas proporcionam a redução dos custos com manutenção, economia de lubrificantes, e prolongamento da vida útil dos componentes quando são realizadas corretamente. Segundo Jasiulewicz-Kaczmarek & Gola (2019), uma manutenção preditiva efetiva pode proporcionar também a minimização de impactos ambientais, uma vez que possibilita a redução de resíduos (trocas de óleos desnecessárias, peças danificadas, etc.), redução do consumo de combustível e redução na emissão de gases de efeito estufa. Já a ausência ou ineficiência das manutenções

reduz a confiabilidade do trator, aumentam o consumo de combustível, diminuem a potência e a vida útil do motor, e aumentam a emissão de gases de escape (Abdallah et al, 2014).

O objetivo da manutenção preditiva é evitar falhas nos equipamentos com base no acompanhamento de diferentes parâmetros e que a parada para manutenção seja planejada e ocorra de forma mais precisa e efetiva, o que afeta diretamente os custos com manutenção (Kardec & Nascif, 2009), uma vez que evita manutenções corretivas de alto custo, que demandam mão-de-obra qualificada e indisponibilizam o equipamento por longos períodos (Girdhar & Scheffer, 2004).

A troca do óleo lubrificante deve ser realizada conforme consta no manual de manutenção do equipamento fornecido pelo fabricante, e é parte da manutenção preventiva do equipamento, e visa a não ocorrência de danos (Girdhar & Scheffer, 2004), já a periodicidade das coletas de amostras para análises laboratoriais é determinada pelo departamento de manutenção preditiva com base em sistemas de monitoramento/históricos dos equipamentos, e visa a diminuição dos custos com manutenção, adotando critérios próprios de manutenção ou troca de componentes (SENAR, 2009).

O lubrificante utilizado nos motores, desempenha funções importantes, tais como: minimização do atrito entre peças e consequente redução significativa do desgaste; redução de ruídos; amortecimento de choques (Tanaka, Padovan & Viana, 2014); facilitação da partida em baixas temperaturas (Padovan & Anjos, 2012); redução da perda de pressão da câmara de combustão (vedando a folga dos anéis de segmento do pistão) (Santos et al, 2014); além de atuar como elemento de limpeza (Valtra do Brasil LTDA, 2007; Delebecq et al, 1983), retirando os contaminantes sólidos gerados durante o funcionamento do motor e transportando esse material particulado para o elemento filtrante para ser retirado do circuito de lubrificação (Junqueira & Oliveira, 2013); diminuição do aquecimento dos componentes em atrito – absorção do calor (Moore, 2007); e formação de película lubrificante nas peças para proteção contra a corrosão, oxidação e formação de depósitos (Delebecq et al, 1983; Moore, 2007).

A análise laboratorial do óleo lubrificante é uma das principais ferramentas de manutenção para verificação de anormalidades no motor diesel, se destacando entre os métodos de manutenção (Godfrey, 1989, Girdhar & Scheffer, 2004; Aquino, et al, 2020), e torna possível o monitoramento das condições químicas e físicas do óleo por meio de análises que apontam a presença de contaminação por água, presença de partículas ferrosas e contaminantes externos (Santos et al, 2014; Olver, 2002) como a Sílica, o potássio, e outros. A detecção antecipada dessas irregularidades possibilita maior assertividade e segurança nas

tomadas de decisão nas manutenções, aumentando da confiabilidade e consequentemente, a disponibilidade do equipamento (Olver, 2002).

O Instituto Americano de Petróleo (API, 1988) aponta a poeira como uma das principais fontes de contaminação do óleo lubrificante, e Olver (2002), afirma que o Silício decorrente da contaminação por sujeira é a causa mais comum de desgaste. Sendo que a contaminação do óleo lubrificante por Sílica, representa alto fator de desgaste de peças por abrasão, devido à elevada dureza das partículas (que pode ser comparada a do diamante quando combinada com Carbono) e que pressionadas às peças do motor, com menor dureza, se atritam ocasionando a retirada de material e consequentemente, danos severos ao motor (Olver, 2002). E a poeira contida no ar captado na admissão é um dos fatores mais nocivos ao motor uma vez que acelera o seu desgaste, diminuindo sua potência, e aumentando o consumo de combustível (Silveira, 2001).

O setor de manutenção preditiva executa um cronograma de análise de óleo, visando diagnosticar o equipamento de maneira eficaz, e para que o processo obtenha êxito, todas as etapas (coleta de amostra, análise laboratorial e análise dos resultados/diagnóstico) devem ser realizadas de maneira adequada. Quando a amostragem é realizada corretamente, garante a qualidade das informações e a padronização dos procedimentos e permite que o setor responsável crie um histórico do equipamento, facilitando a tomada de decisão/diagnóstico, reduzindo custos.

Abdallah et al (2014), identificaram, em estudo realizado em diferentes tratores, no Sudão, que o maior custo de reparo e manutenção registrado foi do motor. Os autores alegam que os sistemas agrícolas têm se tornado caros justamente devido aos altos custos de reparo e manutenção dos tratores agrícolas, salientando a importância dos cuidados com a manutenção regular dos tratores, para redução de falhas e custos extras, além da prevenção de desgaste prematuro. Nesse estudo, os autores constataram que os custos com reparo e manutenção aumentam com a idade do motor e o tempo de uso, o que também é afirmado por Dolas, Jaybhave e Deshmukh (2014), e Painter (2011).

O objetivo do presente artigo é indicar os possíveis pontos de contaminação do óleo lubrificante do motor diesel por Sílica e propor um *check list* que possa ser utilizado numa inspeção visual detalhada, a ser inserida na rotina de manutenção preventiva dos tratores agrícolas, com a finalidade de identificação de possível contaminação por elementos externos, evitando assim que o sistema continue sendo contaminado até a chegada dos resultados das análises laboratoriais.

2. Metodologia

Realizou-se prospecção de referencial teórico que testemunhasse a relevância da manutenção preditiva na redução de custos de reparo.

Posteriormente adotou-se a hipótese de que uma inspeção visual adequada seria uma etapa relevante da manutenção preditiva, sendo capaz de detectar falhas antes que o problema se agravasse, minimizando ou até mesmo evitando gastos com reparos.

Sendo assim, a identificação dos possíveis pontos de contaminação do óleo lubrificante de motor diesel por Sílica, utilizando-se do método de inspeção visual poderia corroborar tal hipótese.

Realizou-se inspeção visual em três tratores da fabricante John Deere (modelos 6100J, 5055E, 7715), todos em concessionária, para venda ou reparos.

Elaborou-se uma lista teórica prévia das formas de contaminação do óleo lubrificante, onde, supostamente, tal contaminação poderia ser proveniente do sistema de admissão, do sistema de arrefecimento, do sistema de lubrificação e até mesmo do sistema de injeção.

A inspeção visual é uma técnica não destrutiva, que pode ou não utilizar dispositivo ótico auxiliar, sendo aplicada em ensaios de acabamento de peças, revestimentos, identificação de estados de superfícies, deformações e avarias mecânicas, evidências de vazamentos, entre outros. Tal técnica exige a definição clara e precisa dos critérios de aceitação ou rejeição do objeto inspecionado, que o executor seja qualificado para identificar avarias e irregularidades, mantendo-se padrões de limpeza e luminosidade para realização dos ensaios e sistema de registro dos resultados (Associação Brasileira De Normas Técnicas, 2017). É comumente utilizada para confirmação de danos detectados através de outras técnicas, como no estudo realizado por Corrêa, Maziero e Storino (2011), onde a inspeção visual realizada em um motor diesel não detectou nenhum desgaste interno, apesar de a análise de óleo lubrificante apontar contaminação em nível crítico, ou mesmo como técnica complementar, como no caso do estudo realizado por Gonzalez, Rivas e Beltrán (2017), onde a inspeção visual foi adotada em conjunto com outras técnicas para análise de falhas em um motor diesel.

A inspeção visual foi realizada a olho nu, sem auxílio de qualquer equipamento, um trator por vez, iniciando-se pelo sistema de admissão de ar, onde foi inspecionado todo o percurso do ar desde o filtro de ar até o motor do trator. Com a tampa do motor levantada foram observados todos os dutos por onde o ar percorre, sendo todos os pontos passíveis de contaminação anotados em um caderno de campo para posterior tabulação dos dados.

No sistema de arrefecimento foi observado o percurso do líquido e todos os componentes que poderiam apresentar falha ou estarem danificados. Já no sistema de lubrificação observou-se a vareta de nível, bocal de abastecimento, drenos e as condições gerais do bloco. Por fim, foi inspecionado o sistema de injeção, sendo observadas as condições gerais dos injetores, bocal de abastecimento e reservatório de combustível.

Os dados coletados em caderno de campo foram tabulados com o auxílio do Excel e então foram coletados os valores de tais itens para uma estimativa do custo de substituição, e também foi coletado valor para substituição do motor completo (consequência da contaminação por Sílica diagnosticada tardiamente).

Os valores foram gentilmente fornecidos pela concessionária autorizada, em reais, e convertidos para dólares (considerando-se a conversão de 4,19 reais por dólar, cotação do dia 20/01/2020). Na ocasião não foram considerados os custos com mão-de-obra especializada para substituição de tais peças.

Com a constatação de que a inspeção visual seria uma maneira eficiente de evitar/reduzir custos com reparos devido a contaminação do óleo lubrificante por Sílica, criou-se um *check list* para auxílio na inspeção, que é apresentado como resultado do presente trabalho.

3. Resultados e Discussão

Baseando-se na técnica de inspeção visual apresentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017) adotada por Corrêa, Maziero e Storino (2011), Gonzalez, Rivas e Beltrán (2017) e Suthisripok & Samsamran (2018) e nos relatos de especialistas em manutenção de tratores agrícolas, pode-se concluir que a contaminação externa do óleo lubrificante do motor pode ocorrer em diversos pontos no sistema de admissão, no sistema de injeção, no sistema de arrefecimento e ainda no próprio sistema de lubrificação. Vejamos as possíveis causas:

3.1 No sistema de admissão de ar

Filtro de ar do motor mal encaixado; Filtro de ar do motor rompido; Suporte do filtro de ar do motor danificado; Mangueiras e dutos danificados ou mal posicionados; Abraçadeiras danificadas ou mal ajustadas; Intercooler danificado; Vedações da admissão danificadas; Anéis de vedação do sensor de obstrução de ar desgastados ou ausentes; Anéis de

vedação do Sensor temperatura do ar de admissão desgastados ou ausentes; Anéis de vedação do Sensor de pressão do ar de admissão desgastados ou ausentes.

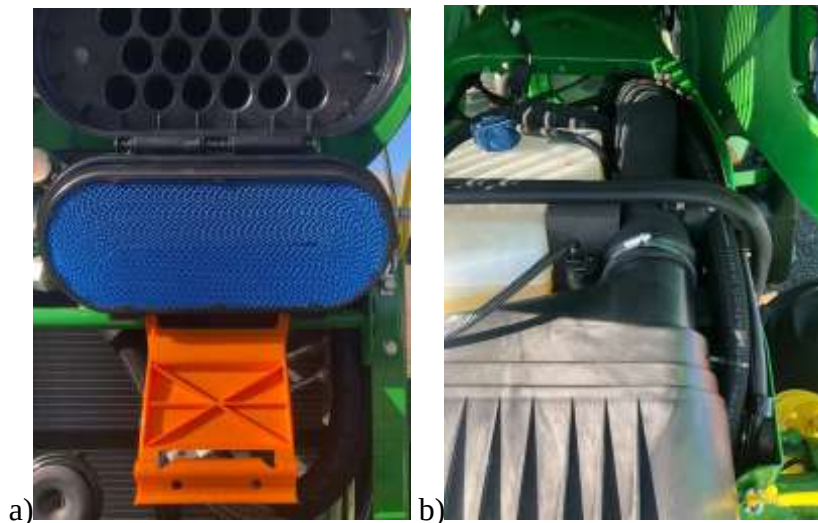
Podendo ainda ocorrer devido ao excesso de limpeza do filtro de ar (limpeza com ar pressurizado que acaba danificando o filtro) ou mesmo, excesso de aperto no filtro de ar (deformação do filtro).

Todas as condições acima elencadas possibilitam a sucção de poeira e permitem que esta alcance a parte interna do motor, ocasionando o desgaste prematuro de peças como: válvula de admissão, válvula de escape, alojamento das válvulas, biela, cilindro, camisa, e anéis do cilindro, e entre em contato com o óleo lubrificante, ocasionando o deslizamento severo e formação de estrias de desgaste nas peças.

Como apontado por Taylor (1998) a manutenção das características do óleo lubrificante é essencial para o bom funcionamento do motor, o que reforça a necessidade de uma atenção especial na manutenção preditiva.

A Figura 1 apresenta pontos em que é possível a contaminação do óleo lubrificante por meio do sistema de admissão de ar.

Figura 1 - Alguns dos possíveis pontos de contaminação no sistema de admissão de ar.





- a) Filtro de ar encaixado corretamente e presença de abraçadeira de fixação da tampa do filtro (trator modelo 6100J);
b) Duto de passagem de ar em excelente estado, abraçadeira posicionada corretamente, e tampa do reservatório de expansão adequada (trator modelo 6100J);
c) Mangueira de pré-limpeza do filtro de ar do motor em excelente estado e com abraçadeiras corretamente posicionadas (trator modelo 6100J);
d) Filtro de ar do motor em bom estado (trator modelo 5055E).
Fonte: Autores.

3.2 No sistema de arrefecimento

Tampa do radiador/ reservatório de expansão danificada; Respiro do radiador/ reservatório de expansão danificado; Utilização de água contaminada para abastecimento do reservatório.

A Figura 2 apresenta possíveis pontos de contaminação do óleo lubrificante do motor, por meio do sistema de arrefecimento.

Figura 2 - Alguns dos possíveis pontos de contaminação no sistema de arrefecimento do motor (Trator modelo 6100J).



- a) Reservatório de líquido de arrefecimento em excelentes condições;
b) Tampa do reservatório com respiro e vedação em excelente estado.
Fonte: Fotos feitas pelos autores.

O líquido de arrefecimento é partilhado pelo trocador de calor (que refrigera o óleo do motor evitando superaquecimento e mantendo a viscosidade de trabalho) e radiador, refrigerando cabeçote, bloco e camisas.

A contaminação do líquido de arrefecimento causa a oxidação de partes metálicas e desgaste do trocador de calor e camisas, possibilitando assim que as partículas cheguem até o cárter do motor por meio destes pontos de desgaste, ocasionando a contaminação do óleo lubrificante pelo líquido de arrefecimento e consequentemente pelos seus contaminantes.

Tal contaminação poderá ser detectada na inspeção diária do nível do óleo do cárter (elevação do nível) e do líquido de arrefecimento (nível abaixo do normal), além da mudança na coloração e formação de borbulha no líquido de arrefecimento (em funcionamento) quando o desgaste ocorrer no curso do pistão (do meio para cima da camisa), e pode ocasionar ainda a perda de potência e superaquecimento do motor.

Com base no apresentado por Silveira (2001), pode-se inferir que a identificação da contaminação do motor por água (líquido de arrefecimento) de forma precoce, e até mesmo a possibilidade de evitá-la, acarretaria ganhos significativos em termos de prolongamento da vida útil do motor, economia de óleo lubrificante e disponibilidade do equipamento, além da redução de custos significativos com reparo do motor, que como apontado por Abdallah et al (2014), é o que acarreta maior custo de reparo em tratores.

3.3 No sistema de injeção de combustível

Tampa do reservatório de diesel danificada ou ausente (Figura 3); Filtro de diesel vencido; Tanque de combustível furado; Utilização de diesel contaminado no transporte ou no abastecimento.

Figura 3 - Possível ponto de contaminação do combustível.



Fonte: Autores.

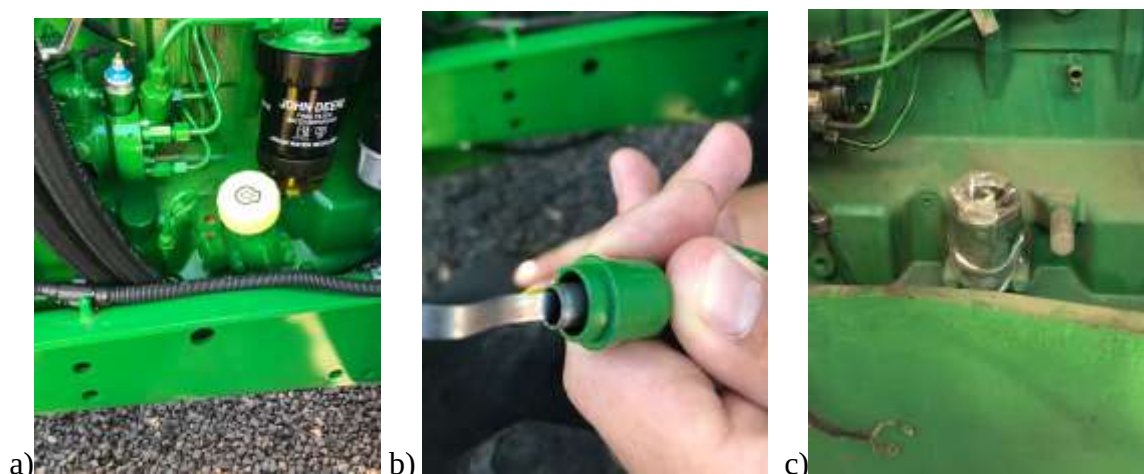
O combustível contaminado, quando injetado na admissão, gera perda de eficiência do equipamento, como bem observado por Silveira (2001), e as partículas acumuladas na câmara de combustão causam danos ao sistema de injeção, aos anéis de vedação do cilindro, ao cilindro e à camisa, e desgaste das válvulas, ocorrendo assim a contaminação do óleo lubrificante por essas partículas.

3.4 No sistema de lubrificação

Tampa de abastecimento de óleo lubrificante do motor danificada ou ausente; Junta da tampa de válvula; Vedação da vareta de nível de óleo danificada; Óleo lubrificante contaminado no transporte ou no abastecimento.

A Figura 4 apresenta possíveis pontos de contaminação do sistema de lubrificação.

Figura 4 - Alguns dos possíveis pontos de contaminação no sistema de lubrificação.



- a) Reservatório de óleo lubrificante corretamente tampado e vareta de medição presentes e com vedação adequada (modelo trator 6100J);
b) Vareta de nível de óleo com vedação ausente (6100J);
c) Reservatório de óleo lubrificante com tampa ausente e vedação inadequada (trator modelo 7715).

Fonte: Autores.

É importante ressaltar que a contaminação prévia do óleo lubrificante pode decorrer de transporte ou armazenamento incorreto e até mesmo no ato de abastecimento do tanque, podendo ainda apontar o controle de qualidade inadequado por parte do fabricante do óleo (Moore, 2007).

3.5 Custos dos reparos

Faz-se importante salientar que os custos de reparos dos possíveis pontos de contaminação do óleo do motor podem variar de centavos (substituição dos anéis de vedação dos sensores temperatura/pressão/obstrução do ar de admissão) a cerca de US\$1.074,00 (substituição de intercooler), e que na ausência destes reparos e consequente dano efetivo e severo ao motor, o valor pode variar de US\$ 21.479,71 (retífica de peças danificadas e substituição de algumas peças) a US\$40.572,79 (substituição de motor em concessionária autorizada), tendo como base um trator de 182cv.

3.6 Check list para inspeção visual

A proposta de *check list* a ser incluído na rotina de manutenção diária do trator se justifica essencialmente pela possibilidade de detecção de avarias antes que estas causem

dados com elevado custo de reparo, evitando assim problemas de contaminação e mitigando situações que demandem manutenção corretiva.

A inspeção visual é uma técnica que não demanda necessariamente ferramentas específicas para sua execução, necessitando essencialmente que o agente inspetor tenha boa acuidade visual e conhecimento amplo das condições ideais dos elementos a serem analisados, iluminação suficiente e que o objeto de análise esteja limpo, o que a torna uma ferramenta de manutenção preditiva de baixo custo.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), dentre os requisitos para o procedimento de inspeção visual estão: a qualificação do agente (treinamento); a definição da técnica de preparação da superfície a ser analisada (procedimento mínimo de limpeza do maquinário antes da inspeção propriamente dita); a verificação de condições de iluminação (padronização em todas as inspeções); a determinação dos instrumentos a serem utilizados (determinar necessidade de uso de lanternas ou lentes de aumento); a sequência de execução (o passo a passo a ser seguido pelo agente durante a inspeção); o registro dos resultados (relação de irregularidades/ condições observadas).

O registro das condições observadas para controle e análise do setor de manutenção pode se dar em formulário físico (papel) ou eletrônico (aplicativo), onde o agente se identifica, identifica o objeto examinado (identificação do patrimônio), a data de execução da inspeção e a condição dos elementos, podendo ou não anexar imagens do estado atual do objeto inspecionado, e podendo ainda inserir observação quanto à eventual projeção de dano.

O Quadro 1 apresenta proposta de *check list* simplificado sugerido.

Quadro 1 – Check List para inspeção visual.

CHECK LIST PARA INSPEÇÃO VISUAL EM TRATORES AGRÍCOLAS				
Unidade/Setor:			Data:	
Patrimônio:				
Responsável:				
Sistema	Componente	Especificações	Status ()Excelente ()Regular ()Ruim	Observações
Sistema de Admissão de ar	Filtro de ar	Condições gerais	()Excelente ()Regular ()Ruim	
		Suporte	()Excelente ()Regular ()Ruim	
		Encaixe	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Mangueiras/Dutos	Condições gerais	()Excelente ()Regular	

			()Ruim	
	Abraçadeiras	Ajuste	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Intercooler	Condições gerais	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Vedação da admissão	Condições gerais	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Sensor de Temperatura	Condições gerais dos anéis de vedação	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Sensor de Obstrução	Condições gerais dos anéis de vedação	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Sensor de Pressão	Condições gerais dos anéis de vedação	()Excelente ()Regular ()Ruim	
Sistema de Arrefecimento	Radiador/ Reservatório de expansão	Condições gerais do radiador	()Excelente ()Regular ()Ruim	
		Condições da tampa do reservatório	()Excelente ()Regular ()Ruim	
		Condições do respiro do reservatório	()Excelente ()Regular ()Ruim	
		Condições do líquido de arrefecimento	()Excelente ()Regular ()Ruim	
Sistema de Injeção	Reservatório de diesel	Condições gerais da tampa do reservatório	()Excelente ()Regular ()Ruim	
		Condições gerais do reservatório de diesel	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Filtro de diesel	Condições e validade	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Combustível	Armazenamento	()Excelente ()Regular ()Ruim	
Sistema de Lubrificação	Reservatório de óleo lubrificante	Condições da tampa de abastecimento	()Excelente ()Regular ()Ruim	
		Condições de vedação da vareta de nível	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Tampa de válvulas	Condições da junta da tampa de válvula	()Excelente ()Regular ()Ruim	
	Óleo Lubrificante	Condições de armazenamento do óleo	()Excelente ()Regular ()Ruim	

Fonte: Autores.

4. Conclusão

Ante todo o exposto, conclui-se que uma inspeção visual adequada, e a observância dos possíveis pontos de contaminação aqui elencados podem contribuir efetivamente com a redução dos custos com manutenção, refletindo também junto à produtividade e lucratividade da fazenda, e um *check list* destes pontos, como o apresentado, pode ser adotado como parte integrante da rotina de inspeção diária do equipamento.

Para trabalhos futuros pretende-se desenvolver um aplicativo para acompanhamento da inspeção visual, bem como para a coleta adequada de amostra de óleo lubrificante para envio a laboratório especializado para análise.

Referências

Abdallah, F. E., Weiming, D., Dahab, M. H., Edris, A. E.. & Alhadi, M. (2014). Estimation of repair and maintenance cost of a tractor base on HP and working hours: Case study of Sudan. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*. 1(1), 2313-8629. ISSN: 2313-8629

Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. (2017). *NBR NM 315: Ensaaios não destrutivos: Requisitos e práticas recomendadas*. Rio de Janeiro: ABNT.

API- American Petroleum Institute. (1988). *Motor oil guide*. 30p.

Aquino, E. L. R. D., Mollo Neto, M., Bernardo, C. H. C., Moraes, F. J. de O. & Santos, P. S. B. dos. (2020). Ferramentas de manutenção preditiva de motores diesel: uma revisão bibliográfica sistemática. *Research, Society and Development*, 9(11), e57691110195. doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10195

Corrêa, I. M., Maziero, J. V. G. & Storino, M. (2011). Mistura de biodiesel de sebo bovino em motor diesel durante 600 horas. *Ciência Rural*. Santa Maria, v. .41(7) 1189-1194. doi.org/10.1590/S0103-84782011005000088

Delebecq, J., Poudou, P., Ayel, J. & Pluvillage, G. (1983). Fatigue resistance of a high-resistance steel in a lubricating médium. *Sci Revis*, 80(11), 638.

Dolas, D. R., Jaybhayne, M. D. & Deshmukh, S. D. (2014). Prediction of repair & Maintenance costs of diesel engine. *International Journal of Recent advances in Mechanical Engineering*, 3(1), 63-69. Recuperado de: <https://wireilla.com/engg/ijmech/papers/3114ijmech06.pdf>.

Girdhar, P. & Scheffer, C. (2004). *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*. Newnes. doi.org/10.1016/B978-075066275-8/50000-X

Godfrey, D. (1989). Clean, dry, oil prolongs life of lubricated machines. *Lubrication Engineering*, 45(1), 4-8.

Goodman, D., Sorj, B. & Wilkinson, J. (2008). *Da lavoura às biotecnologias: agricultura e indústria no sistema internacional*. Rio de Janeiro: Centro Edelstein. doi.org/10.7476/9788599662298

González, J.L., Rivas, D. & Beltrán, M.A. (2017). Failure analysis of a diesel engine. *Procedia Structural Integrity*. 3. 41-47. 10.1016/j.prostr.2017.04.007.

Jacto. (2019). Entenda a mecanização da agricultura e conheça 4 vantagens. Site eletrônico. Recuperado de: <https://blog.jacto.com.br/entenda-a-mecanizacao-da-agricultura-e-conheca-4-vantagens/>.

Jasiulewickz-Kaczmarek, M. & Gola, A. (2019). Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - an Overview, *IFAC*, 52(1) 91-96. doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.005.

Junqueira, R. A. & Oliveira, H. S. (2013). *Manutenção de Colhedora de Cana-de-açúcar*. São Paulo: SENAR.

Kardec, A. & Nascif, J. (2009). *Manutenção: função estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark.

Magro, T. V. & Cavichioli, F. A. (2018). Uso de implementos agrícolas: vantagens e desvantagens. *Simpósio de Tecnologia da Fatec de Taquaritinga*. 4(1), 13. Recuperado de: <https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/291>

Moore, R. (2007). Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools: What Tool? When? Chapter 13: Predictive maintenance/ condition monitoring. *Butterworth-Heinemann*, 1(1), 247-284. doi.org/10.1016/B978-075067916-9/50014-X.

Olver, A.V. (2002). Gear lubrication – a review. *Journal of Engineering Tribology*, 216(1), 255-267. doi.org/10.1243/135065002760364804

Padovan, L. A. & Anjos, H. S. (2012). *Manutenção de Tratores Agrícolas*. São Paulo: SENAR.

Painter, K. (2011). *Costs of owning and operating farm machinery in the Pacific Northwest: 2011*. Moscow: University of Idaho. Recuperado de: <https://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/PNW/PNW0346/PNW346.pdf>.

Santos, E. A., Soares, H. S., Silva, M. R., Rocha, T. A. F. & Fernandes, T. J. L. (2014). Uso correto dos óleos lubrificantes para máquinas agrícolas. *Revista Cultivar Máquinas*. 143(1) 29-31. ISSN 1676-0158.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. (2009). *Tratores Agrícolas: manutenção de tratores agrícolas*. Brasília: SENAR.

Silva, D. M. da, Andrade, I. C., Alves, J. L. S., Lourenço, R. F. B., & Vasconcelos, G. R. (2020). A manutenção de componentes como fator crítico no processamento de soja e seus desdobramentos. *Research, Society and Development*, 9(7), e241974023. doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4023

Silveira, G. M. (2001). *Os cuidados com o trator*. Viçosa: Aprenda Fácil.

Suthisripok, T. & Samsamran, P. (2018). The impact of biodiesel B100 on a small agricultural diesel engine. *Tribology International*, 128(1) 397-409. doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.042.

Tanaka, E. M., Padovan, L. A. & Viana, N. M. (2014). *Manutenção de Colhedora Automotriz de café*. São Paulo: SENAR.

Taylor, C. M. (1998). Automobile engine tribology design considerations for efficiency and durability. *Wear*, 221(1) 1-8. doi.org/10.1016/S0043-1648(98)00253-1

Valtra do Brasil LTDA. (2007). *Manual de treinamento: Operação, Manutenção e Segurança*. Mogi das Cruzes: Nova Página.

Vian, C. E. F., Andrade Jr, A. M., Baricelo, G. & Silva, R. P. (2013). Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. 51(4) 719-744. Brasília. doi.org/10.1590/S0103-20032013000400006

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Evelin Larissa Rombi De Aquino – 20%

Mario Mollo Neto – 20%

Lucas Malagutti Souza – 20%

Flávio José de Oliveira Moraes – 20%

Paulo Sérgio Barbosa dos Santos – 20%

CAPÍTULO III - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ELETRÔNICO PARA DETECÇÃO DE ENTRADA DE POEIRA NO SISTEMA DE ADMISSÃO DE AR DE MOTORES DIESEL

1 INTRODUÇÃO

As máquinas agrícolas surgiram devido a necessidade de substituição da força animal e diminuição do desgaste físico dos agricultores, possibilitando a exploração de áreas extensas, e impactando diretamente na velocidade e organização do processo de trabalho no meio rural, gerando ganhos substanciais na produtividade (quando associada com outras tecnologias) e reduzindo a necessidade de mão-de-obra (GOODMAN; SORJ; WILKINSON, 2008).

Com o crescimento populacional acelerado e contínuo e a proximidade dos limites da fronteira agrícola (SAATH; FACHINELLO, 2018), torna-se indispensável o uso de implementos agrícolas no cenário atual (MAGRO; CAVICHIOLI, 2018), uma vez que, a produção em alta escala é dependente da mecanização (utilização racional das máquinas agrícolas) (YAMASHITA, 2010), fazendo-se necessário o emprego de crescente tecnologia para otimização dos resultados e atendimento à grande demanda por alimentos, segurança alimentar, e conservação ambiental (LAMAS, 2017).

Magro e Cavichioli (2017) e Jacto (2019), destacam como vantagens da mecanização agrícola: a oportunidade de atendimento da demanda; a otimização do tempo; a redução da mão-de-obra (em número de colaboradores); a redução de custos de produção; o aumento da produtividade sem a necessidade de expansão da área cultivada; a economia de recursos; e o controle de qualidade da operação e do produto.

As principais desvantagens da mecanização referem-se à compactação do solo, necessidade de mão-de-obra especializada (operação e manutenção); alto investimento de implementação; e despesas com lubrificantes e combustíveis (MAGRO; CAVICHIOLI, 2017).

Pacheco (2000), explica que os custos envolvidos no processo produtivo, relativos às máquinas agrícolas, são divididos em custos fixos e variáveis (operacionais), onde o primeiro envolve a depreciação, juros, alojamento e seguro, e independe da utilização dos equipamentos/maquinários, e o segundo depende

diretamente da quantidade de uso (combustíveis, lubrificantes, reparos e manutenções e salário do operador).

As manutenções podem se dar de forma preventiva, preditiva e corretiva, sendo que, a manutenção preventiva segue procedimentos e períodos regulares, e visa a não ocorrência de danos ao equipamento, baseando-se no manual fornecido pelo fabricante, já a manutenção preditiva visa a diminuição dos custos com manutenção, com base em sistemas de monitoramento, adotando critérios próprios de manutenção ou troca de componentes, e na manutenção corretiva o reparo é feito após a ocorrência de danos com a necessidade de serviço especializado (SENAR, 2009), o que eleva os custos e o tempo de reparo.

Nos motores diesel, a manutenção preventiva é realizada com base na inspeção diária do nível do óleo de lubrificação do motor, e a troca total do fluído de acordo com o manual do equipamento. Já a manutenção preditiva é realizada por meio de monitoramento das condições químicas e físicas do óleo lubrificante, observando-se a presença de contaminação por moléculas de água, amônia, silício e/ou presença de partículas ferrosas na amostra (SANTOS *et al*, 2014).

Segundo o Instituto Americano de Petróleo (API, 1988), a poeira é uma das principais fontes de contaminação do óleo lubrificante. O Silício decorrente da contaminação por sujeira é a causa mais comum de desgaste já que contaminação do óleo lubrificante por sílica, representa alto fator de desgaste de peças por abrasão, devido à elevada dureza das partículas (que pode ser comparada a do diamante quando combinada com Carbono), que pressionadas às peças do motor, com menor dureza, se atiram ocasionando a retirada de material, ocasionando assim, danos severos ao motor (OLVER, 2002).

Abdallah *et al*, (2014), identificaram, em estudo realizado em diferentes tratores, no Sudão, que o maior custo de reparo e manutenção registrado foi do motor. Os autores alegam que os sistemas agrícolas têm se tornado caros justamente devido aos altos custos de reparo e manutenção dos tratores agrícolas, salientando a importância dos cuidados com a manutenção regular dos tratores, para redução de falhas e custos extras, além da prevenção de desgaste prematuro.

Faz-se importante ressaltar, que uma manutenção preditiva efetiva pode proporcionar também a minimização de impactos ambientais (JASIULEWICZ-KACZMAREK; GOLA, 2019), uma vez que possibilita a redução de resíduos (trocas

de óleos desnecessárias, peças danificadas, etc.), redução do consumo de combustível e redução na emissão de gases de efeito estufa.

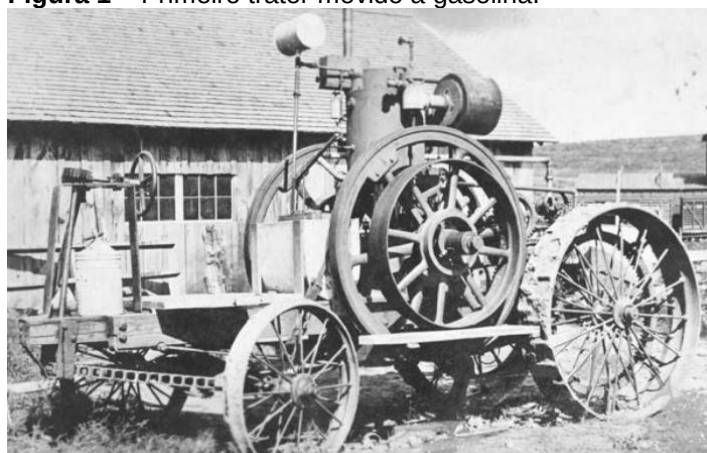
O motor de um trator não se alimenta só de combustível, já que a combustão interna se processa com uma mistura de cerca de 90% de ar e 10% de combustível, e a poeira contida no ar é um dos fatores mais nocivos ao motor uma vez que acelera seu desgaste, diminuindo sua potência, e aumentando o consumo de combustível (SILVEIRA, 2001), o que torna extremamente relevante a criação de ferramenta capaz de identificar a sucção de poeira, e minimizar os seus impactos.

Segundo Godfrey (1989) a manutenção do óleo limpo proporciona o prolongamento da vida útil das máquinas, redução do custo de manutenção, aumento da vida útil do lubrificante e aumento da produtividade. Ainda, segundo ele, de 70 a 85% dos problemas de desgaste em máquinas lubrificadas são causados por contaminação do óleo lubrificante.

Inicialmente as máquinas agrícolas eram movidas a vapor (segadora criada em 1830 e primeiros tratores em 1870), mas rapidamente evoluíram, passando a serem movidas a gasolina e depois a diesel, além de receberem inúmeros melhoramentos tecnológicos com o passar das décadas (agricultura de precisão tomou forma em 1980) (MANTOVANI; QUEROZ; DIAS, (1998); VIAN; ANDRADE JR; BARICELO; SILVA, 2013).

A Figura 1 apresenta o primeiro trator a gasolina, fabricado na Dakota do Sul por Froelich em 1892.

Figura 1 – Primeiro trator movido a gasolina.



Fonte: Iowa Department of Cultural Affairs, 2020

A partir da década de 1990 ocorreu grande avanço na incorporação da eletrônica em implementos e veículos agrícolas, devido ao desenvolvimento de microcontroladores, redes sem fio, e diversos tipos de sensores que auxiliam o controle e operação de tais máquinas (COSTA; SCHIEBELBEIN; SANTOS; STEVAN JÚNIOR, 2015).

A Agricultura de precisão, segundo Cox (2002) se dá com a utilização de um amplo conjunto de ferramentas com a finalidade de coleta de dados ou realização de tarefas, e não apenas do uso de sistema de posicionamento global (GPS). Engloba tecnologias e conhecimentos em informática, eletrônica, geoprocessamento e outros (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

De acordo com Stallings (2008) os sistemas eletrônicos embarcados microprocessados são uma combinação de *hardware*, *software* e componentes adicionais mecânicos. Esses sistemas são projetados para um propósito específico, e realizam uma tarefa dedicada, o que possibilita a redução de tamanho do sistema, uso eficiente de recursos computacionais, robustez, estabilidade e alta confiabilidade, e interação continuamente com o ambiente (em tempo real) por meio de sensores e atuadores, e são gerenciados por um *software* reconfigurável (SANTOS, 2013).

Segundo Corrêa Júnior (2017), o objetivo dos sistemas embarcados em máquinas agrícolas é, além da obtenção de dados e avaliação operacional, informar ao operador os valores e variáveis em tempo real, para que este possa tomar decisões e corrigir possíveis erros ou falhas na operação.

A proposta deste artigo é o desenvolvimento de um sistema eletrônico dotado de um conjunto câmara de análise e sensor capaz de identificar a entrada de poeira no sistema de admissão de ar dos motores dos equipamentos agrícolas, ou seja, uma nova ferramenta de manutenção preditiva, capaz de identificar material particulado em suspensão durante a sucção, em tempo real, o que possibilitaria a tomada de medidas imediatas, reduzindo assim os custos com reparos, o que impactaria diretamente nos recursos empregados em manutenções.

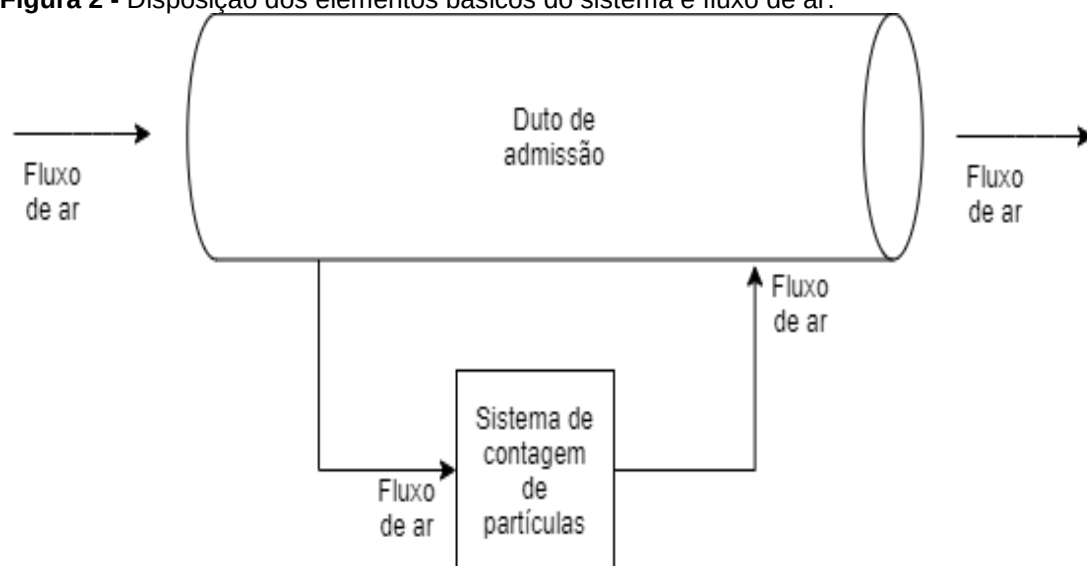
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se inicialmente a prospecção de literatura correlacionada ao tema nas bases de dados mais significativas.

Na sequência a câmara de testes, foi elegida como ferramenta adaptada para realização de testes de efetividade do sistema, sendo projetada a partir inspeção visual em trator agrícola modelo 6100 J, do fabricante John Deere, verificando-se com auxílio de paquímetro que a tubulação de ar pós-filtro possui diâmetro de 100mm.

A disposição dos elementos básicos está representada na Figura 2, que contempla o duto de admissão de ar, o sentido do fluxo de ar e a localização do sistema proposto para contagem de partículas.

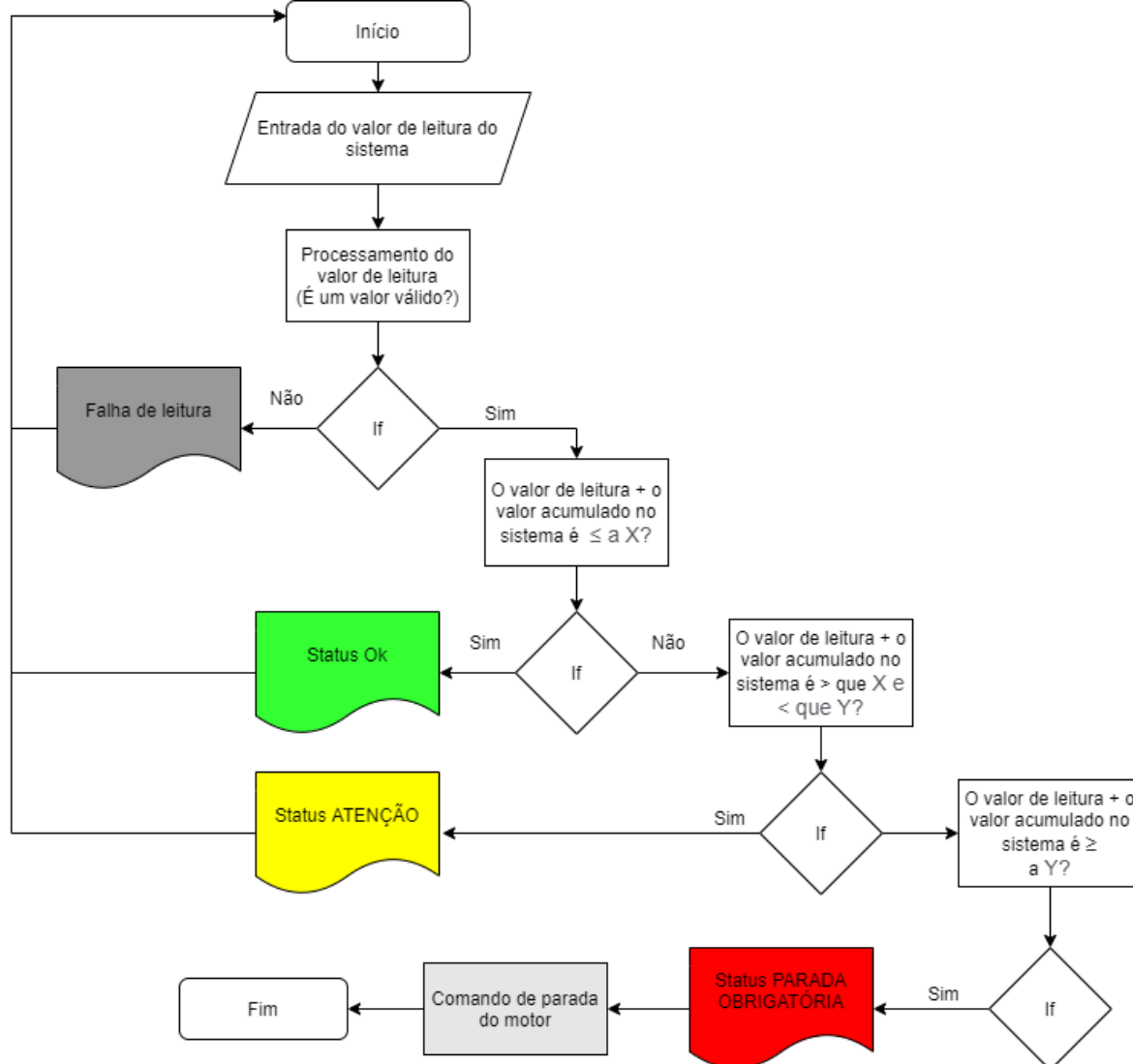
Figura 2 - Disposição dos elementos básicos do sistema e fluxo de ar.



Fonte: Elaborado pela autora.

O processo idealizado está representado em fluxograma, apresentado na Figura 3, onde pode-se observar que o objetivo é que com a passagem de ar pelo sistema a contagem de partículas ocorra em tempo real, levando-se em consideração o tempo de calibração e estabilização do sistema.

Figura 3 - Fluxograma de proposta de obtenção de dados e análise do sistema.



Fonte: Elaborado pela autora.

A proposta do sistema é que, com a sua calibração e estabilização o mesmo passe a etapa de obtenção de dados, que se trata especificamente da contagem de partículas que passam pelo duto.

A lógica de programação inserida seria capaz de acionar comandos de acordo com os dados obtidos nas leituras, de modo que:

- Quando os valores obtidos forem diferentes dos valores considerados válidos, indicando erro na execução da tarefa leitura, o sistema apresentará mensagem de “falha de leitura” e passará para a próxima leitura.
- Quando o número de partículas acumuladas no sistema mais o número de partículas obtido na leitura for menor ou igual ao número X (considerado por

especialistas um valor para verificação), o sistema apresentará sinal luminoso verde, sinalizando que o *status* do sistema está *ok*.

- Quando o número de partículas acumuladas no sistema mais o número de partículas obtido na leitura for maior que X (considerado por especialistas um valor que requer verificação) e menor que Y (considerado por especialistas como sendo danoso ao sistema), o sistema apresentará sinal luminoso amarelo, sinalizando o *status* de atenção, e o setor de manutenção de frota deverá tomar medidas de verificação do sistema.
- Quando o número de partículas acumuladas no sistema mais o número de partículas obtido na leitura for maior ou igual a Y (considerado por especialistas como sendo danoso ao sistema), o sistema apresentará sinal luminoso vermelho, sinalizando o *status* de parada obrigatória, e com a verificação dos requisitos de segurança, o próprio sistema poderia comandar a para do motor.

Devido a importância da pressão do ar no sistema de admissão dos motores de combustão interna, levou-se em consideração que qualquer fração de ar perdida durante a contagem de partículas poderia interferir nos resultados de desempenho do motor. Sendo assim, a ideia é que o ar transite pelo sistema, carregando as partículas suspensas que possa conter e volte para o sistema de admissão, minimizando assim perda de potência.

É importante ressaltar também que, quando o protótipo for portado para uma aplicação real deverão ser observadas todas as possíveis falhas elétricas, mecânicas e de transientes que possam se apresentar para que se possam tratar as eventuais mensagens que o software poderá emitir.

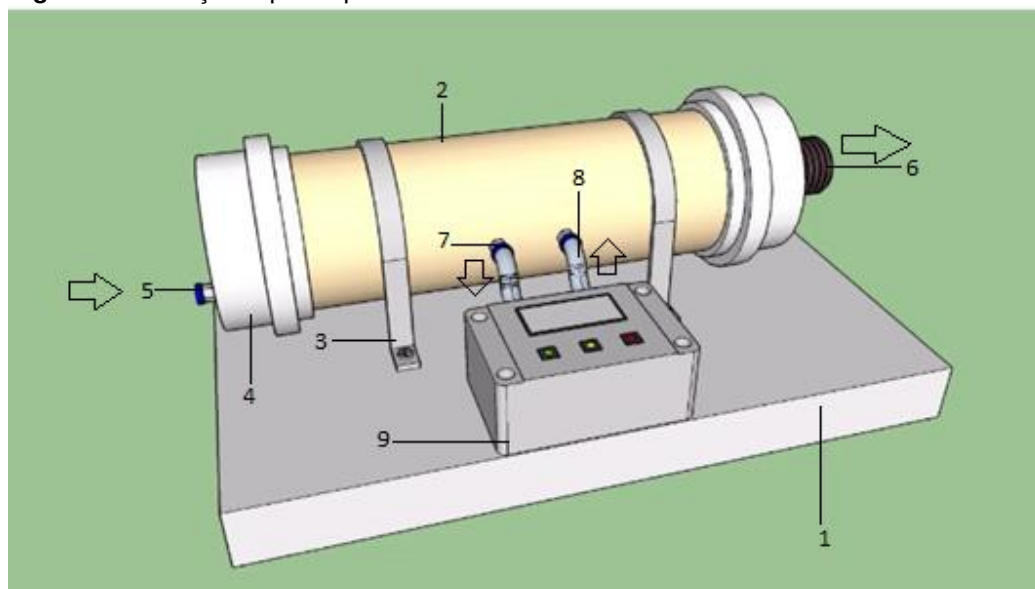
2.1 Protótipo inicial

Baseando-se nas informações preliminares, realizou-se esboço do protótipo, no Software AutoCAD, que é apresentado na Figura 4 e teve a finalidade de identificação dos materiais necessários para construção de sistema representativo da admissão de ar de um motor diesel.

Para elaboração do esboço do protótipo, utilizaram-se conceitos iniciais de sentido do ar no sistema de admissão, dos elementos constantes deste sistema, e dos elementos necessários para coleta de amostras de ar e identificação das partículas, sendo eleito o sistema óptico para isto.

O Quadro 1 apresenta a lista de materiais utilizados na construção do protótipo inicial, bem como o custo dos elementos.

Figura 4 - Esboço do protótipo.



- 1) Bancada de suporte;
 - 2) Duto de simulação do sistema – tubo PVC 4”;
 - 3) Abraçadeira tipo U 4”;
 - 4) Cap 4”;
 - 5) Conexão de ar comprimido 1/8”;
 - 6) Flange 32mm;
 - 7) Conector 1/8 NPT;
 - 8) Mangueira de ar comprimido 8mm;
 - 9) Caixa de processamento (Sensor óptico, LCD, Microprocessador, Peças impressas em 3D e miudezas e acessórios para montagem).
- > Sentido do fluxo de ar do sistema.
Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 1 - Lista de materiais para construção do protótipo.

Quantidade	Descrição	Valor
1 Unid.	Bancada de suporte	R\$27
1 Unid.	Tubo PVC 4”	—
5 Unid.	Conexão de ar comprimido 1/8 NPT	R\$40,00
1 Unid.	Cotovelo conector de ar comprimido 1/8 NPT	R\$8,00
2 Unid.	Cap 4”	R\$11,80
2 Unid.	Abraçadeira tipo U 4”	R\$2,80
1 Unid.	Flange 32mm	R\$25,90
1 Unid.	Sensor Óptico DSM501A	R\$48,90
2 Unid.	Mangueira de ar comprimido 8mm (10 cm)	—
1 Unid.	Microcontrolador Arduino 2560	R\$79,90
2 Unid.	Conexão impressa em 3D	—
1 Unid.	Tampa adaptada impressa em 3D	—
1 Unid.	Display LCD	R\$15,85
1 Unid.	Protoboard	R\$11,78
5 Unid.	LED	R\$1,50
1 Cj.	Miudezas e acessórios para montagem	—

Fonte: Elaborado pela autora.

O Microcontrolador Arduino Mega 2560, que é apresentado na Figura 5, é uma placa microcontrolada baseada no ATmega2560, e possui 54 pinos digitais de entrada ou saída (destes 15 podem ser utilizados como saídas PWM), 16 entradas analógicas e conexão USB, é de fácil programação e pode ser alimentado via USB ou fonte externa (ARDUINO, 2020).

Figura 5 - Microcontrolador Arduino Mega 2560.



Fonte: Arduino, 2020.

O sensor óptico DSM 501A foi utilizado por conveniência, por ser um sensor para Arduino, disponível no mercado e de custo relativamente baixo, sendo responsável por identificar partículas finas de poeira (>1 micrometro), que flutuam em um espaço de até 30m^3 , por meio de dispersão refletida nas partículas de luzes, convertendo a medição em sinal na saída PWM. Internamente o sensor conta com um resistor para gerar calor e criar uma corrente ascendente de ar, atraindo-o do exterior para o interior do módulo (SAMYOUNG S&C, 2017; MACHADO, 2017). A Figura 6 apresenta o sensor DSM501A.

Figura 6 - Sensor DSM501A.

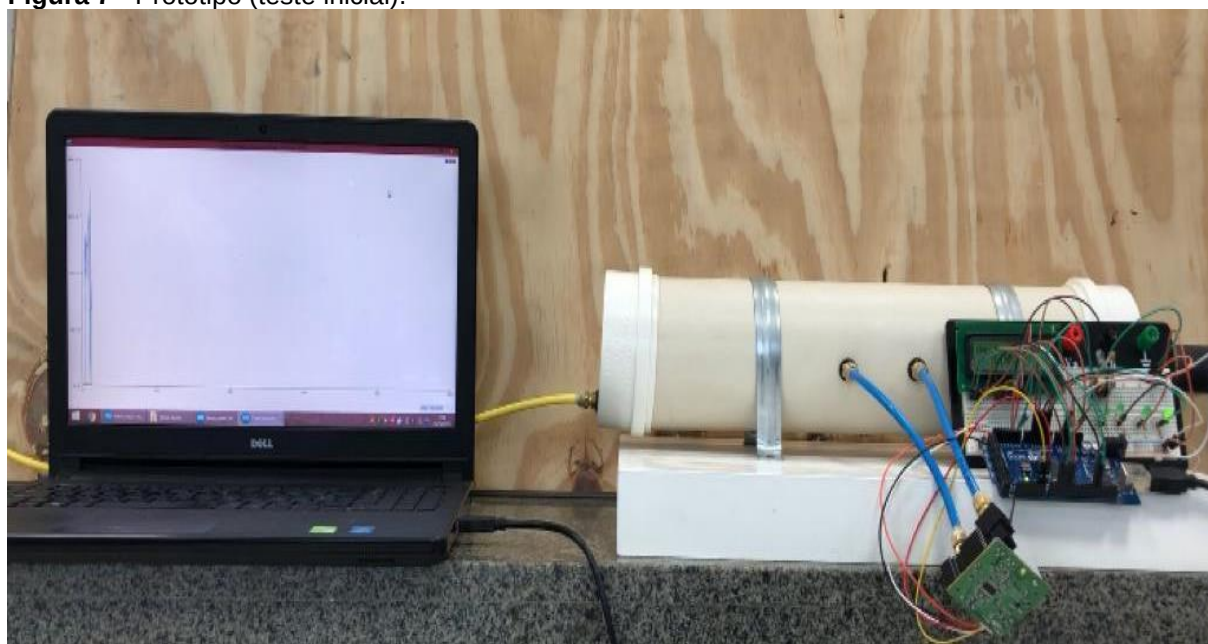


Fonte: SAMYOUNG S&C (2017).

Determinados os elementos necessários para sua construção, e com a aquisição destes materiais, passou-se então ao processo de construção do protótipo, que ocorreu em laboratório de materiais, no Campus da FCE Unesp Tupã, e programação do componente microcontrolador elegido (Arduino 2560), em linguagem C, para então iniciar os testes de funcionamento do sistema.

A Figura 7 apresenta o protótipo construído em teste inicial, realizado em Laboratório de Materiais da FCE Unesp Tupã.

Figura 7 - Protótipo (teste inicial).



Fonte: Própria autora.

2.1.1 Análise de funcionamento do projeto inicial

A análise de funcionamento do projeto piloto foi realizada em laboratório de materiais da FCE Unesp Tupã, com introdução de areia de construção no sistema e verificação de detecção pelo sistema eletrônico.

Na ocasião foi utilizado compressor de ar e aspirador de pó com o intuito de gerar um fluxo grande de ar no sistema.

A resposta do sistema foi positiva, sendo este capaz de identificar a entrada de partículas, sendo que na leitura realizada pelo sensor (digital) a resposta 0 indica a presença de partículas no sistema e a resposta 1 indica a ausência.

Apesar de o sistema ser capaz de identificar a entrada de partículas, notou-se que era necessária grande quantidade de areia para que essa leitura ocorresse. Desta forma buscou-se realizar ajustes no sistema proposto inicialmente, objetivando que o sistema fosse mais eficiente na detecção das partículas.

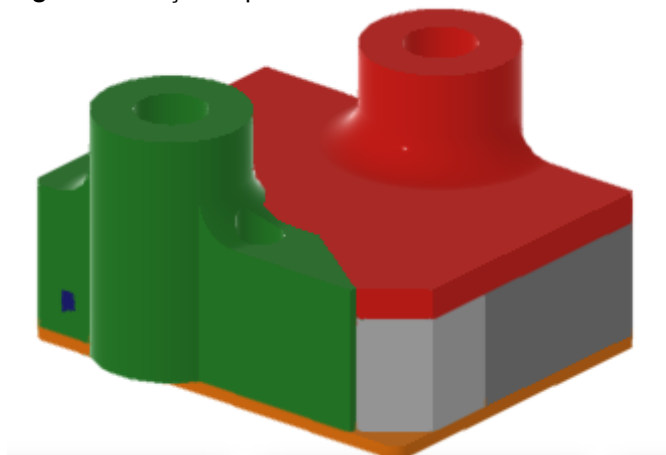
2.2 Aprimoramento do projeto inicial

Buscou-se aproximar as condições do sistema com o que ocorre no sistema de admissão de ar de um motor diesel, e portanto, optou-se por retirar o ar comprimido que passava pelo sistema, uma vez que, no sistema de admissão temos apenas a sucção de ar, e isso evita a turbulência no sistema, que normalmente não ocorreria.

Foi substituído o aspirador de pó por um mais potente e foram refeitas as conexões impressas visando a redução da perda de ar do sistema.

A Figura 8 apresenta as peças adaptadas que foram impressas em impressora 3D visando a minimização de perda de ar no sistema.

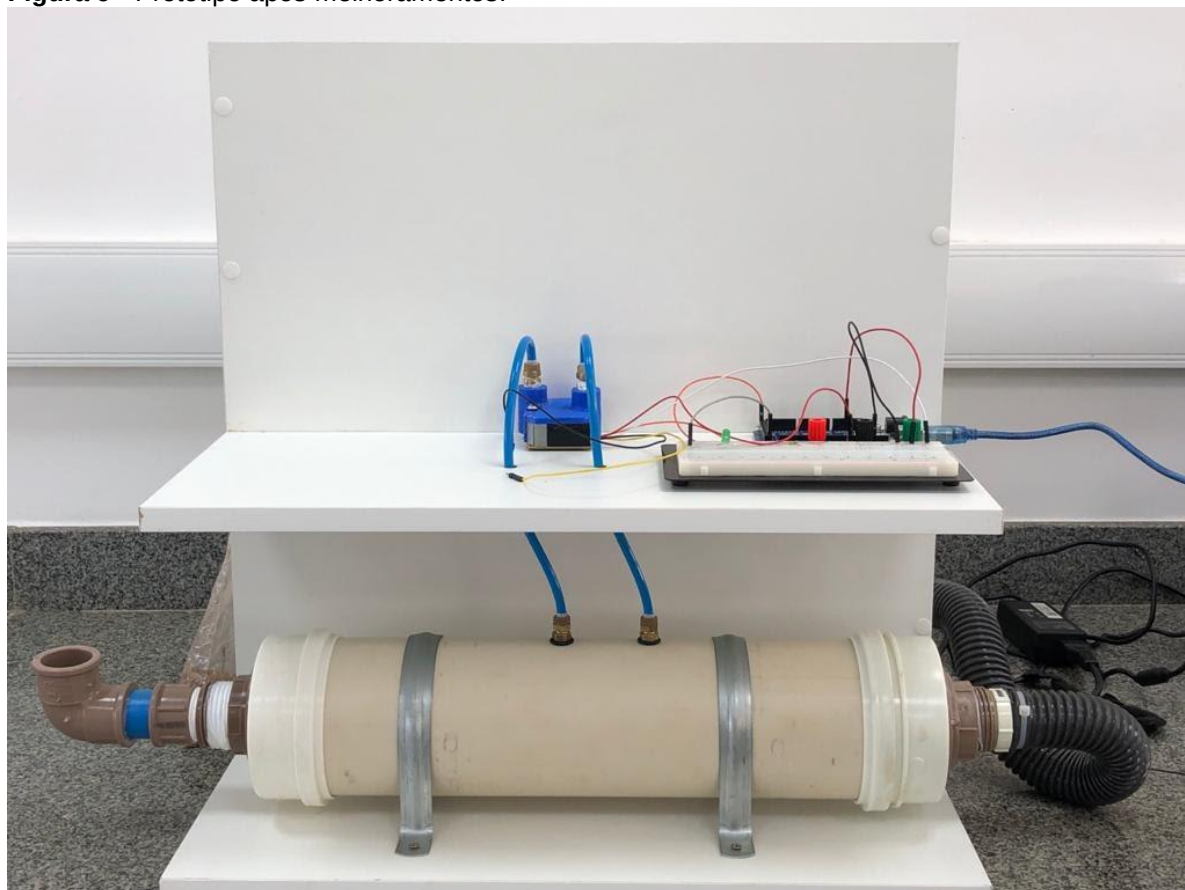
Figura 8 - Peças impressas em 3D.



Fonte: Elaborado pela autora.

Com a retirada da entrada de ar comprimido foi inserido um bocal para inserção de areia no sistema, como pode-se observar na Figura 9, que apresenta o protótipo em nova bancada de suporte.

Figura 9 - Protótipo após melhoramentos.



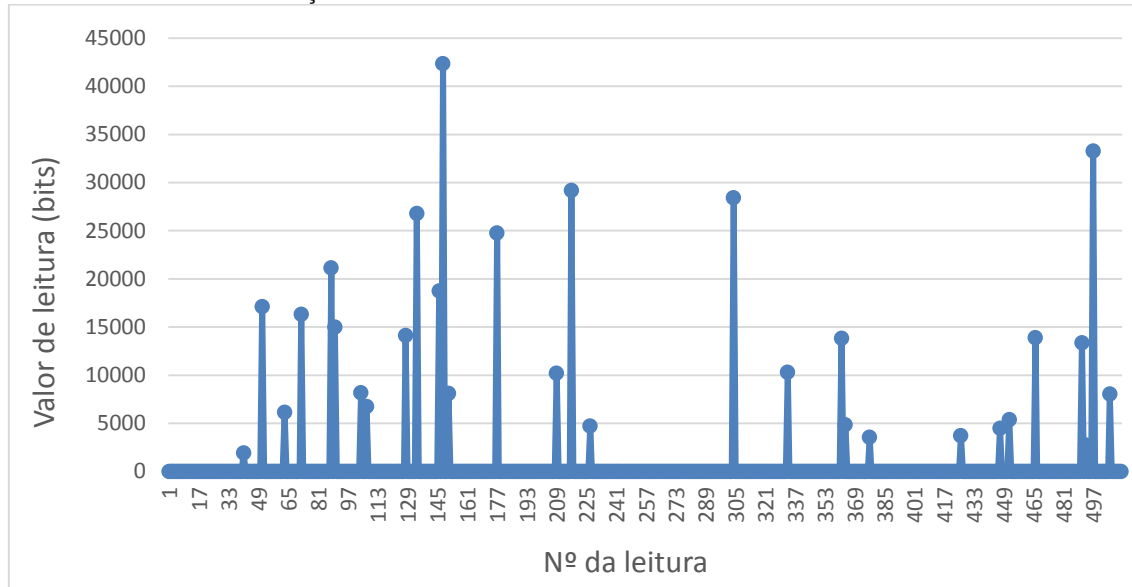
Fonte: Foto autoral.

2.2.1 Análise de funcionamento do projeto aprimorado

O sensor DSM501A é um sensor digital, que quando detecta a passagem de partículas de poeira, apresenta nível lógico 0, e para verificar o tempo que esse material particulado fica na presença do sensor é usado na lógica do programa a função pulseIn para nível lógico LOW.

O Gráfico 1, apresenta a variável duração, que foi a que mais apresentou relação com a passagem de material particulado nos testes, sendo que em condições normais o valor de duração era 0 e quando havia a passagem de terra esse valor alterava e apresentava resultados acima de 0.

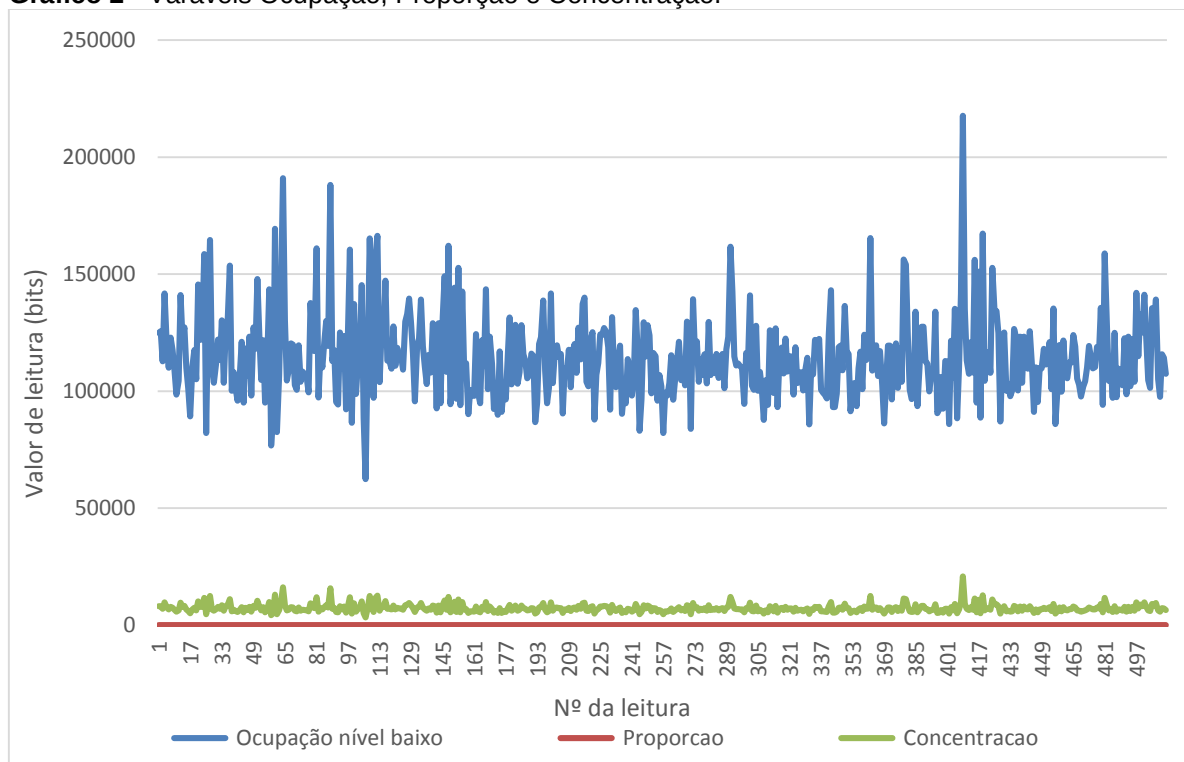
Gráfico 1 - Variável duração.



Fonte: Elaborado pela autora.

As demais variáveis analisadas, apresentadas no Gráfico 2, não foram representativas, não apontando grandes variações quando da inserção de areia no sistema, o que no momento não nos permitiu chegar a um consenso.

Gráfico 2 - Varáveis Ocupação, Proporção e Concentração.



Fonte: Elaborado pela autora.

A lógica foi realizada levando em consideração a variável duração (em relação ao tempo que a partícula é detectada pelo sensor), e quando esta apresentar valor maior do que 0, aciona um sinal luminoso (Led) e um sinal sonoro (Buzzer).

Com os resultados foi possível perceber que a entrada de ar para o sensor DSM501A é de apenas uma pequena amostra de todo o fluxo de ar que passa pelo sistema de sucção principal.

A amostra não foi considerada representativa, uma vez que, nem sempre o sistema detecta a areia que está sendo inserida, o que apontou a necessidade de adoção de um novo sistema de detecção de partículas.

2.3 Substituição do sistema de leitura de partículas

Adotou-se como uma possível solução o uso de um sistema eletrônico para analisar uma maior parte do fluxo de ar que passa pelo sistema de admissão.

Para tanto, utilizou-se de um conjunto de Leds emissores e receptores que são capazes de detectar partículas maiores que 1,0 μm , em suspensão, com faixa de detecção de concentração de partículas extremamente pequenas.

O funcionamento desse sistema de leitura consiste na instalação de emissor e receptor, um de frente para o outro, o que possibilita que qualquer tipo de partícula que interromper o sinal seja detectada, uma vez que, a radiação dispersada pelas partículas é detectada e convertida em sinal analógico, e a porcentagem de partículas que o emissor e o receptor detectaram em um período de tempo de amostragem pode ser diretamente correlacionada com a concentração de partículas (MACHADO, 2017).

A conversão do sinal analógico para digital é realizada na placa Arduino que possui um conversor de 10 bits e 16 canais, mapeando as tensões entre 0 e a tensão operacional (5V) para valores inteiros entre 0 e 1023.

Devido ao tamanho variado das partículas, que muitas vezes não são vistas a olho nu, os Leds emissores e receptores parecem uma ótima opção, e são uma ferramenta completa de controle de partículas e de baixo custo comparados a outros sensores (MACHADO, 2017).

O Led emissor de infravermelho, como o apresentado na Figura 10, emite um sinal que pode ser captado e reconhecido por um receptor infravermelho, sendo uma faixa de luz imperceptível a olho nu.

Figura 10 - Led emissor infravermelho.



Fonte: FilipeFlop (2020).

Já o Led receptor, apresentado na Figura 11, que também funciona através da tecnologia infravermelha, possui dois terminais (um coletor e outro emissor), e é ativado quando existe a incidência de luz infravermelha e o transistor passa a conduzir.

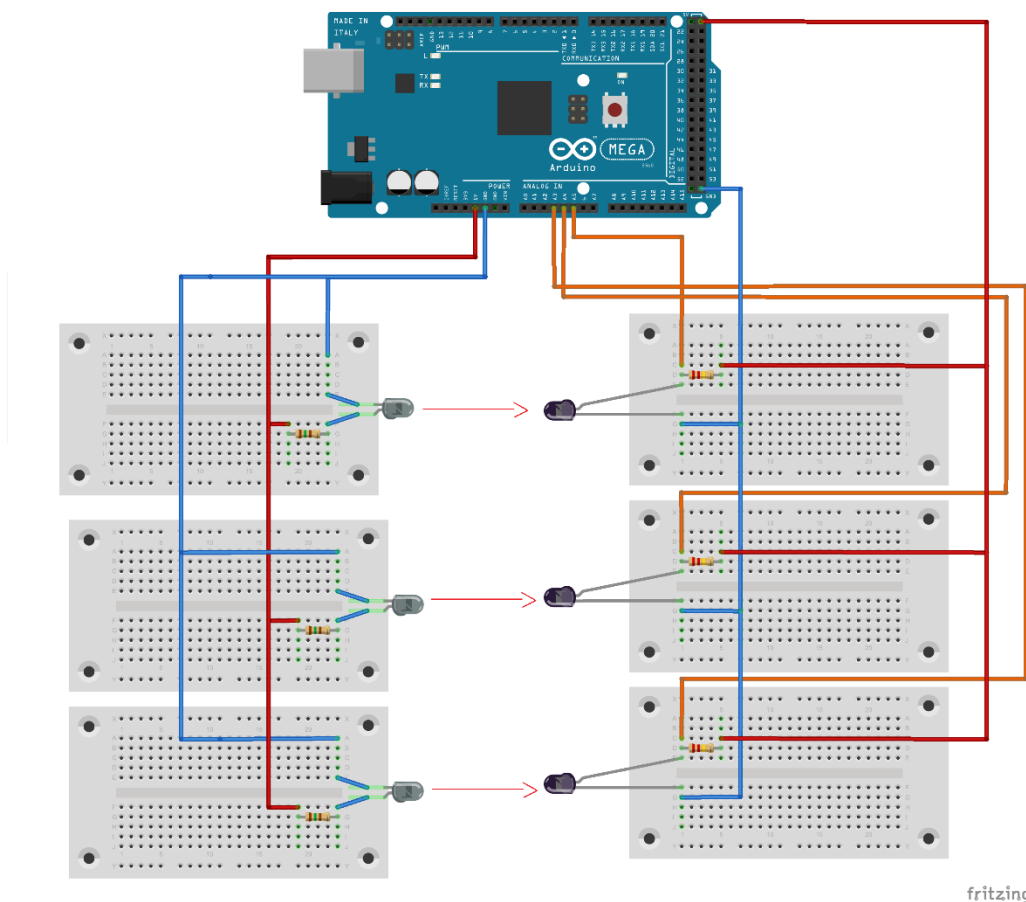
Figura 11 - Led Receptor.



Fonte: FilipeFlop (2020).

A Figura 12 apresenta o esquema de montagem do circuito com 3 pares de Leds, simulando o esquema com leds emissores e receptores de infravermelho, elaborado no programa Fritzing para modelagem e simulação de circuitos.

Figura 12 - Simulação no Fritzing.



Fonte: Própria autora.

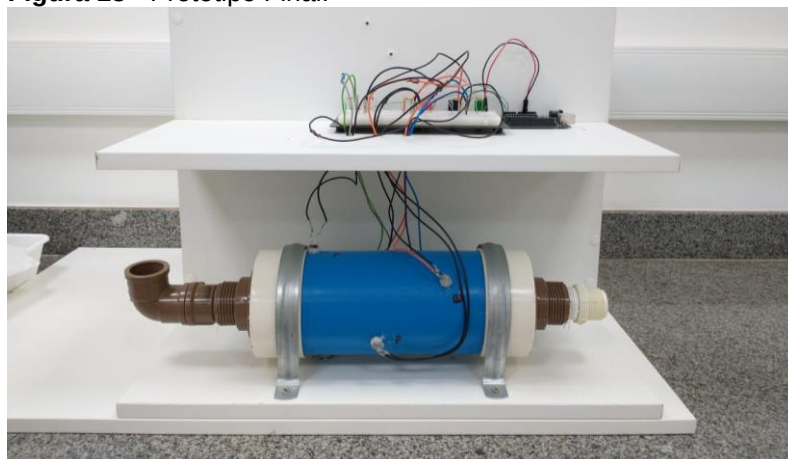
Foram realizados testes com 1, 2 e 3 pares de Leds emissores e receptores, cujos resultados serão discutidos no próximo tópico.

O primeiro par de Leds foi posicionado a 180° no duto, um de frente para o outro. Esse circuito conta com um resistor de 150 Ω que acompanha o emissor e um resistor 220 K Ω que acompanha o receptor, sendo que este realiza a leitura de acordo com a variação do sinal devido a poeira presente no tubo, e é conectado no pino analógico do microcontrolador Arduino.

O segundo par de Leds foi posicionado a 90° em relação ao primeiro par, a uma distância de 5cm no segmento do duto, e o terceiro par de Leds a 45°, na mesma distância em relação ao segundo.

A Figura 13 a seguir apresenta o protótipo final, com os três pares de Leds emissores e receptores.

Figura 13 - Protótipo Final.



Fonte: Própria autora.

A Figura 14 apresenta a programação final do sistema, onde pode-se observar que o Led receptor1 é declarado analógico e conectado ao pino A3 no Arduino, o valor1 é o valor que o Led lê, o Led receptor2 é declarado analógico e conectado ao pino A4 e o Led receptor3 é declarado analógico e conectado ao pino A4. Os receptores são declarados como entrada, e é iniciada a leitura dos pinos analógicos, com um *delay* de 500 milissegundos entre uma leitura e outra, e os valores são enviados para o usuário através do monitor serial do Arduino.

Figura 14 - Programação do sistema.

```
//Configuração inicial e definição das conexões e variáveis;
int receptor1 = A3;    // Receptor 1 ligado a porta analógica do Arduino;
int valor1 = 0;        // Variável de leitura que indica o valor de saída do pino;
int receptor2 = A4;    // Receptor 2 ligado a porta analógica do Arduino;
int valor2 = 0;        // Variável de leitura que indica o valor de saída do pino;
int receptor3 = A5;    // Receptor 3 ligado a porta analógica do Arduino;
int valor3 = 0;        // Variável de leitura que indica o valor de saída do pino;

void setup() {         //Configuração das pinagens;

  Serial.begin (9600);           //Inicialização da comunicação serial
  pinMode (receptor1, INPUT);    //Declaração do pino de entrada;
  pinMode (receptor2, INPUT);    //Declaração do pino de entrada;
  pinMode (receptor3, INPUT);    //Declaração do pino de entrada;
}

void loop() {          //Código principal de execução repetida enquanto o sistema estiver ativo;

  valor1 = analogRead (receptor1); // Valor1 é atribuído pela leitura da porta analógica;
  Serial.print ("valor1:");        // O Valor1 que é lido é enviado através do monitor serial;
  Serial.println (valor1);         // Imprime os dados da porta serial;
  delay (500);                     // Intervalo de tempo de 500 milissegundos;
  valor2 = analogRead (receptor2); // Valor2 é atribuído pela leitura da porta analógica;
  Serial.print ("valor2:");        // O Valor2 que é lido é enviado através do monitor serial;
  Serial.println (valor2);         // Imprime os dados da porta serial;
  delay (500);                     // Intervalo de tempo de 500 milissegundos;
  valor3 = analogRead (receptor3); // Valor3 é atribuído pela leitura da porta analógica;
  Serial.print ("valor3:");        // O Valor3 que é lido é enviado através do monitor serial;
  Serial.println (valor3);         // Imprime os dados da porta serial;
  delay (500);                     // Intervalo de tempo de 500 milissegundos;
}
```

Fonte: Própria autora.

3 RESULTADOS

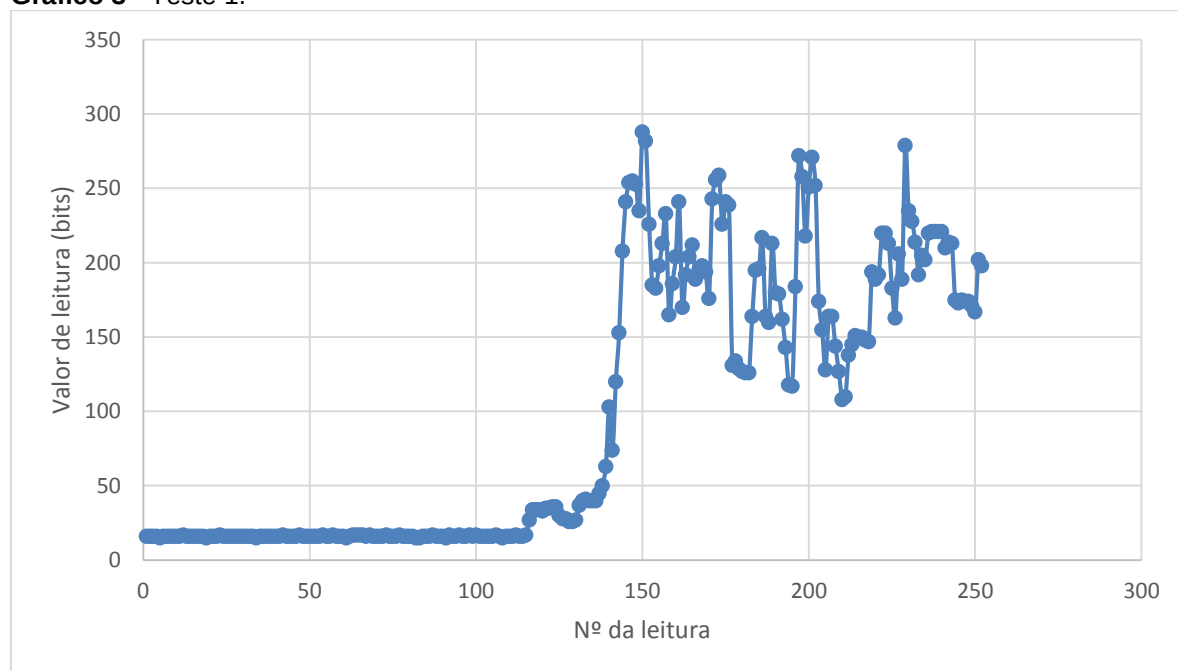
Os resultados obtidos nos testes realizados com o sistema no formato anterior não foram significativos, portanto este tópico abordará os resultados obtidos nos testes com a versão final do sistema, o que foi possível até o momento levando-se em consideração às condições atuais de trabalho devido à pandemia e ao prazo para término do curso.

Foram realizados testes em laboratório da FCE, com o auxílio de um computador ao qual estava conectado o Arduino (alimentação via USB), e ocorreu inicialmente o acompanhamento da variação da leitura captada por 1 par de Leds conforme a areia foi adicionada ao sistema, sendo representada graficamente em monitor serial Arduino.

A areia adicionada pelo bocal percorre todo o duto e é succionada pelo aspirador de pó conectado na outra extremidade do duto, nestes moldes foram realizados 6 testes.

No Teste 1, quando acionado o sistema, antes da inserção de areia pelo bocal, a leitura apresentada no monitor era de aproximadamente 16 e com a adição de areia pode-se observar que o valor de leitura passou a ser 200, inclusive no final do teste, verificando-se o acúmulo de areia no duto, que cobriu parcialmente os sensores. A variação gráfica das leituras é apresentada no Gráfico 3.

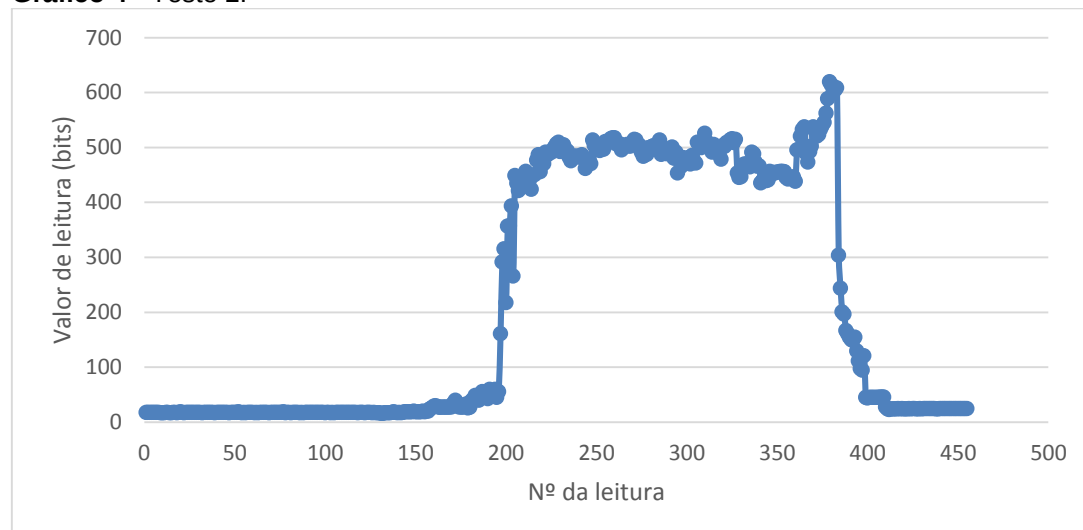
Gráfico 3 - Teste 1.



Fonte: Própria autora.

O teste 2 apresentou um comportamento diferente na leitura das partículas, sendo que, na inicialização do sistema o valor de leitura era 18, e após a inserção de areia no sistema o valor variou em torno de 500. Com o encerramento do teste o valor caiu para 25. O Gráfico 4 apresenta as variações obtidas no teste.

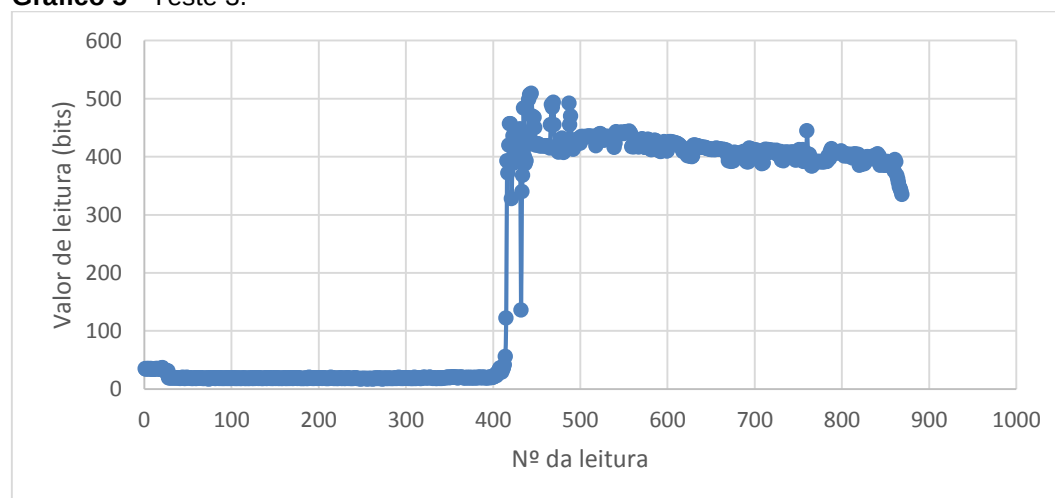
Gráfico 4 - Teste 2.



Fonte: Própria autora.

O terceiro teste foi realizado nos mesmo parâmetros dos testes anteriores, e apresentou o valor de leitura próximo a 35 no início do teste, e com a inserção de areia a variação de leitura ficou em torno de 400, sendo que após o termino do teste apresentou valor 300, verificando-se a existência de acúmulo de areia no duto, cobrindo parcialmente os sensores. O Gráfico 5 apresenta as variações de leitura no Teste 3.

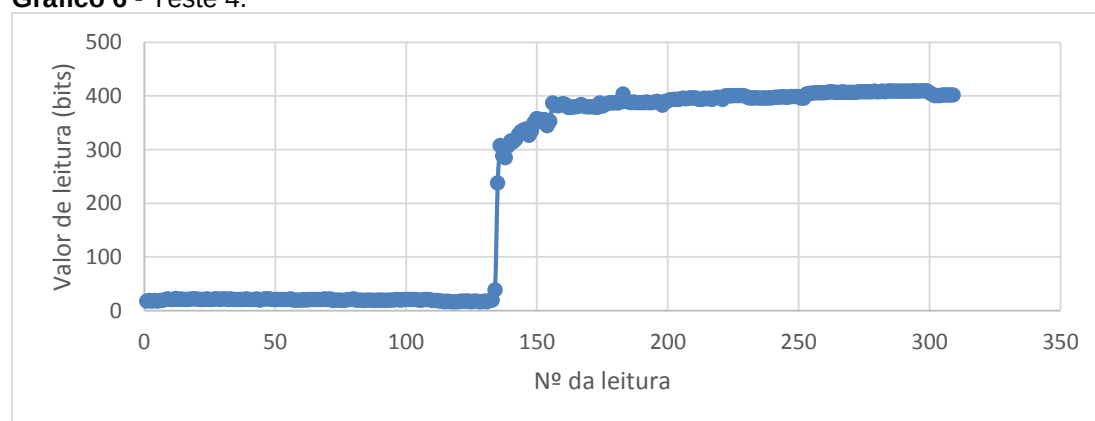
Gráfico 5 - Teste 3.



Fonte: Própria autora.

No início do quarto teste o valor de leitura encontrava-se em torno de 18, e quando a areia foi inserida a variação de leitura ficou em torno de 400, sendo que, ao encerramento do teste o valor de leitura permaneceu em torno de 400, verificando-se mais uma vez o acúmulo de areia do duto do sistema, encobrendo parcialmente o sensor, como apresentado no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Teste 4.

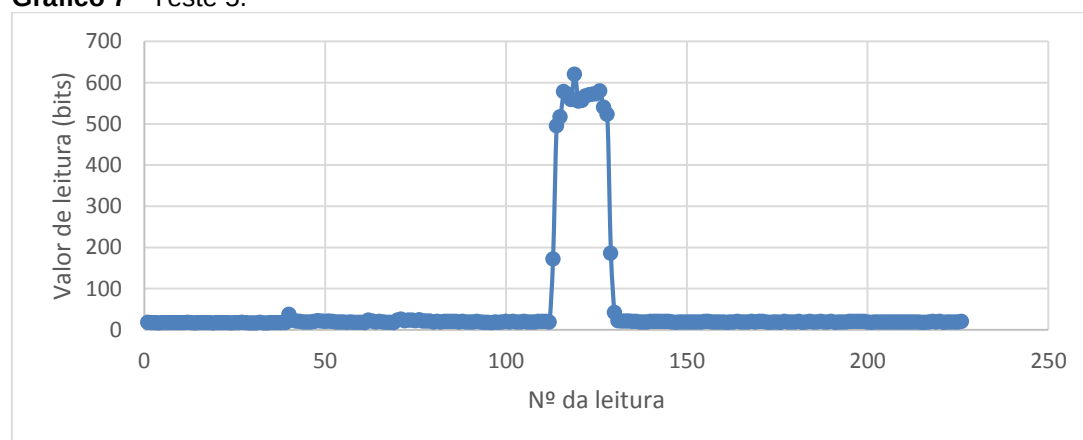


Fonte: Própria autora.

O Teste 5 foi realizado nos mesmos parâmetros dos anteriores, porém teve sua duração reduzida devido ao fato de o aspirador de pó ter superaquecido e parado antes do previsto.

A leitura inicial no teste era em torno de 18, e com a inserção de areia o valor de leitura subiu para 500, caindo para 20 ao final do teste. O Gráfico 7 demonstra a variação de leitura durante o teste 5.

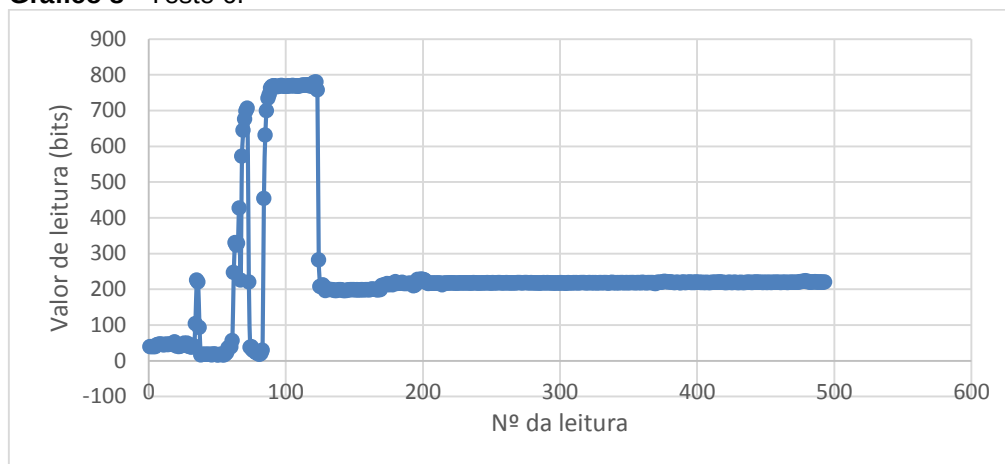
Gráfico 7 - Teste 5.



Fonte: Própria autora.

No teste 6 o valor inicial de leitura estava em torno de 40, considerado alto quando comparado com os outros valores iniciais dos testes anteriores, o que foi atribuído ao fator de provavelmente haver certa quantidade de areia de teste anterior no interior do duto. Com a inserção de areia os valores de leitura ficaram em torno de 800 e com a finalização do teste o valor caiu para 200, como demonstrado no Gráfico 8.

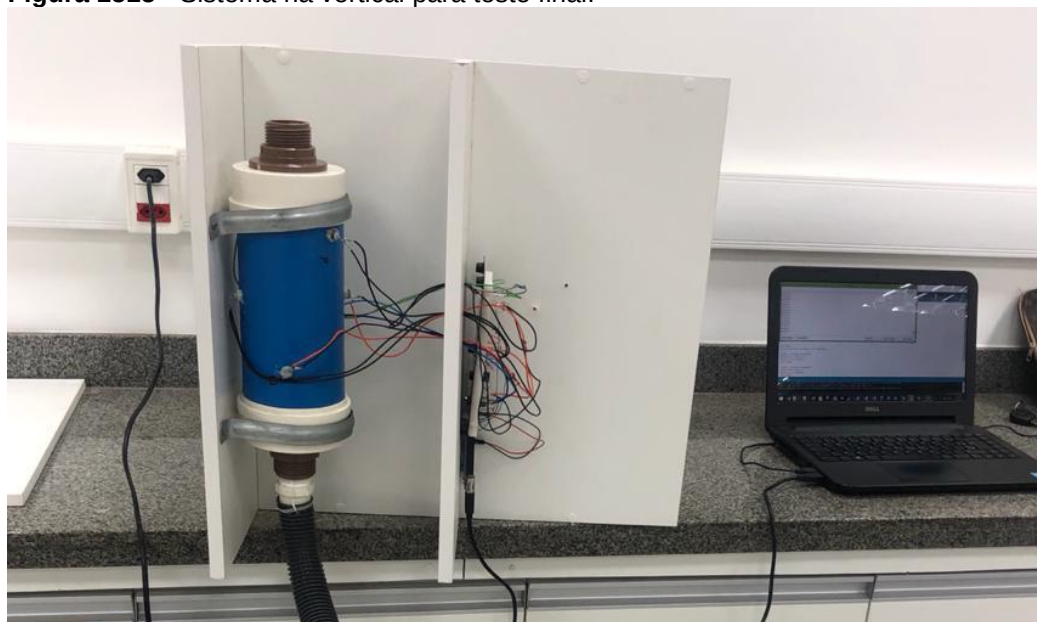
Gráfico 8 - Teste 6.



Fonte: Própria autora.

Passou-se então a realização de teste com os 3 pares de Leds emissores receptores de infravermelho e com o sistema na vertical, como apresentado na Figura 15, para evitar o acúmulo de areia no sistema constatado nos testes anteriores.

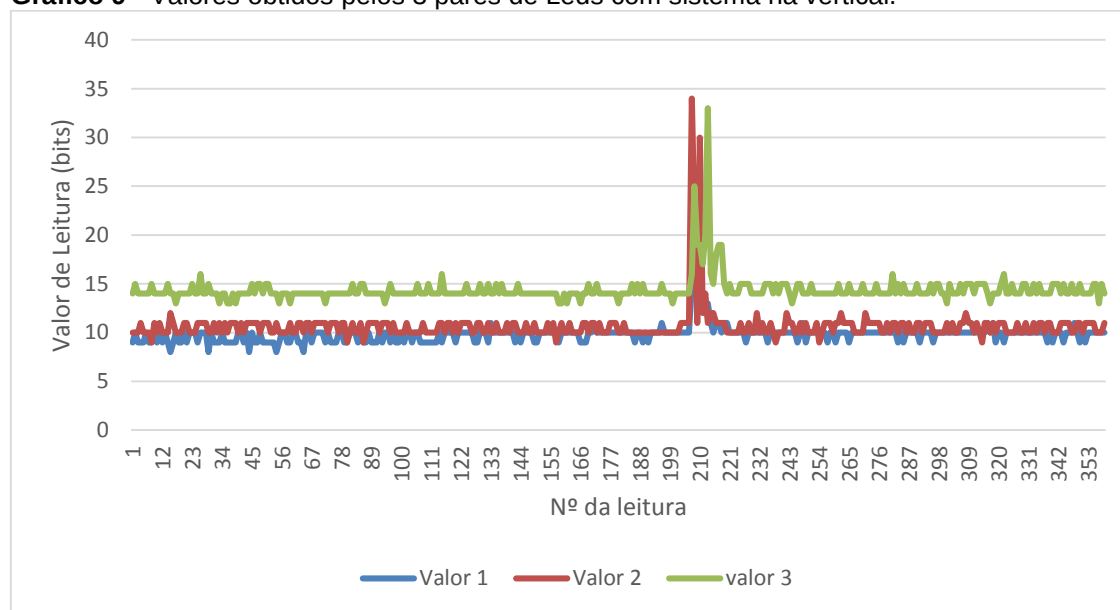
Figura 1515 - Sistema na vertical para teste final.



Fonte: Própria autora.

Com o sistema na vertical não houve mais acúmulo de areia no sistema, e os valores obtidos nas leituras realizadas pelos 3 pares de Leds mantiveram-se similares, sendo possível observar um pico quando da detecção das partículas, como demonstrado no Gráfico 9, que apresenta os valores obtidos nas leituras.

Gráfico 9 - Valores obtidos pelos 3 pares de Leds com sistema na vertical.



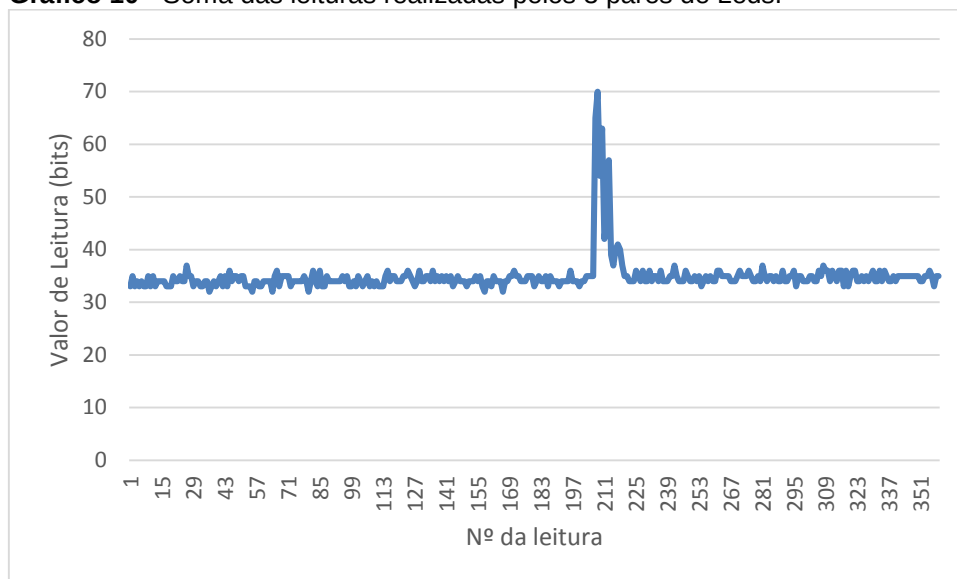
Fonte. Própria autora.

Destaca-se que, a leitura inicial está na faixa apresentada nos testes anteriores, em torno de 10 a 15, e quando a areia inserida no sistema foi detectada, os valores se aproximaram de 35, ou seja, uma variação de mais de 100%.

É importante destacar ainda que os Leds foram dispostos de maneira que a faixa de detecção abrangesse a maior área possível do segmento do duto, desta forma, a soma das leituras dos 3 pares de Leds apresentada no Gráfico 10 representa o valor total de leitura, sem levar em conta parâmetros de sobreposição das faixas de leitura.

Como pode-se observar no Gráfico 10, com a soma das leituras dos 3 pares de Leds, o valor no início da realização do teste estava em torno de 35, e com a inserção de areia no sistema, o valor atingiu a casa dos 70, retornando para a faixa dos 35 ao final do teste, o que evidencia que não ocorreu mais o acúmulo de areia no sistema.

Gráfico 10 - Soma das leituras realizadas pelos 3 pares de Leds.



Fonte: Própria autora.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização dos testes notou-se que o sistema composto por Leds emissores e receptores atua bem na detecção de material particulado, demonstrando variações significativas de leitura quando introduzida areia no sistema, apontando um funcionamento adequado.

Porém, é importante ressaltar que foi necessária a inserção de quantidade significativa de areia no sistema até o ponto de o sistema apontar a variação nos valores de leitura, o que certamente demonstra que o sistema não é eficaz para a finalidade proposta, sendo necessários aprimoramentos que podem ser desenvolvidos em projetos futuros.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, F. E.; WEIMING, D.; DAHAB, M. H.; IDRIS, A. E.; ALADI, M. Estimation of repair and maintenance cost of a tractor base on HP and working hours: Case study of Sudan. **Journal of Environmental and Agricultural Sciences**. (1), 2313-8629. 2014. ISSN: 2313-8629

API- **American Petroleum Institute**. Motor oil guide. 1988. 30 p.

ARDUINO. 2020. Arduino Mega 2560. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. Acesso em 20 Nov. 2020.

CORRÊA JÚNIOR, D. **Desenvolvimento e validação de um sistema embarcado para monitoramento de operações agrícolas com tratores**. Tese (Doutorado). 2017. 87 p. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

COSTA, F. T.; SCHIEBELBEIN, L. M.; SANTOS, M. M. D.; STEVAN JÚNIOR, S. L. Uma Visão Geral da Aplicação de Sensores em Máquinas Agrícolas, **X Congresso Brasileiro de Agroinformática**. 2015.

COX, S. Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 36, n. 2/3, p. 93-111, 2002.

FILIPEFLOP. Led emissor infravermelho IR 5mm. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/led-emissor-infravermelho-ir-5mm/>. Acesso em: 1 Nov. 2020.

GODFREY, D. Clean, dry, oil prolongs life of lubricated machines. **Lubrication Engineering**, v. 45, p. 4-8, 1989.

GOODMAN, D.; SORJ, B.; WILKINSON, J. **Da lavoura às biotecnologias: agricultura e indústria no sistema internacional**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein, 2008. 204 p. ISBN: 978-85-9966-229-8.

Iowa Department of Cultural Affairs. Froelich Tractor in Iowa and South Dakota, 1892. 2020. Disponível em: <https://iowaculture.gov/history/education/educator-resources/primary-source-sets/iowa-s-connection-to-world/froelich-tractor>. Acesso em: 20 Nov. 2020.

JACTO. **Entenda a mecanização da agricultura e conheça 4 vantagens. Site eletrônico**. 2019. Disponível em: <<https://blog.jacto.com.br/entenda-a-mecanizacao-da-agricultura-e-conheca-4-vantagens/>>. Acesso em 14 ago. 2020.

JASIULEWICKZ-KACZMAREK, M.; GOLLA, A. Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - an Overview, **IFAC**, v. 52, 2019, p. 91-96. doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.005.

LAMAS, F. M. **A tecnologia na agricultura**. Sítio eletrônico Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30015917/artigo-a-tecnologia-na-agricultura>>. Acesso em: 22 set. 2019.

MACHADO, B. L. F. **Sistema de monitoramento da qualidade do ar por meio de micro sensores aplicados ao conceito de cidade inteligente**. Trabalho de conclusão de curso. 2017. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica do Paraná, Londrina, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9170/1/LD_COEAM_2017_2_06.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

MAGRO, T. V.; CAVICHIOLI, F. A. Uso de implementos agrícolas: vantagens e desvantagens. **Simpósio de Tecnologia da Fatec de Taquaritinga**. 2017. 13 p.

MANTOVANI, E. C.; QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 27, 1998, Poços de Caldas, MG. p. 109-157.

OLVER, A.V. Gear lubrication – a review. **Journal of Engineering Tribology**, v. 216. 2002. p. 255-267. doi.org/10.1243/135065002760364804

PACHECO, E.P. Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**. Brasília, v.56, n. 2, 2018. doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201

SAMYOUNG S&C CO, LTD. Dados técnicos sensor DSM501A. Disponível em: < <http://www.samyongsnc.com/eng/m3/sub1.php>> Acesso em: 10 mai. 2019.

SANTOS, A. B. **Sistema embarcado para determinação remota de índices de conforto térmico**. 2013. 79 p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SANTOS, E. A.; SOARES, H. S.; SILVA, M. R.; ROCHA, T. A. F.; FERNANDES, T. J. L. Uso correto dos óleos lubrificantes para máquinas agrícolas. **Revista Cultivar Máquinas**. Agosto 2014. Ed. 143. p. 29-31. ISSN 1676-0158.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Tratores Agrícolas: manutenção de tratores agrícolas**. Coleção SENAR 130. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília: SENAR, 2009. 188 p.

SILVEIRA, G. M. **Os cuidados com o trator**. Série Mecanização. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 312 p.

STALLINGS, W. **Operating systems: internals and design principles**. Boston: Prentice Hall, 2008. 800 p.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 159-163, 2002.

VIAN, C. E. F.; ANDRADE JR, A. M.; BARICELO, G.; SILVA, R. P. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Rev. Econ. Sociol. Rural**. vol.51, n.4. p. 719-744. Brasília. 2013. doi.org/10.1590/S0103-20032013000400006

YAMASHITA, L. M. R. **Mecanização agrícola**. Instituto Federal do Amazonas: Manaus, 2010. 115 p.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ferramentas de manutenção preditiva para motores diesel são um tema amplamente estudado e desenvolvido, sendo possível identificar diversas ferramentas já existentes. O setor agrícola caminha a passos lentos neste sentido enquanto o industrial e o marítimo se destacam.

A inspeção visual detalhada quando inserida na rotina de manutenção de máquinas agrícolas pode proporcionar maior assertividade em relação à identificação de pontos de contaminação do óleo de motor diesel por sílica, evitando que tal contaminação continue ocorrendo até a chegada dos resultados da análise de óleo, sendo, portanto, uma relevante ferramenta suplementar.

O sistema proposto neste projeto, apesar de apresentar resultados positivos quanto à identificação das partículas no sistema, ainda precisa ser aprimorado e refinado para que se torne uma ferramenta efetiva de manutenção preditiva, porém é uma tentativa válida de dar um novo passo rumo ao desenvolvimento de novos métodos, sendo o embrião de uma tecnologia viável para um desenvolvimento mais profissional e geração de patentes no futuro.

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

BRAGA, D. P. G.; BRAGA, A. X. V.; SOUZA, M. A. Gestão de custos, preços e resultados: um estudo em indústrias conserveiras do Rio Grande do Sul. **Revista Contabilidade, Gestão e Governança – UNB**, Brasília, v.13, n.2, p. 20-35, 2010.

ERICKSON, R. W.; TAYLOR JR, W. V. Rapid oil analysis. **Lubrication**, v.70, n.2, 1324 p. 1984.

GODFREY, D. Clean, dry, oil prolongs life of lubricated machines. **Lubrication Engineering**, v. 45, p. 4-8, 1989.

JUNQUEIRA, Reinaldo Alves. OLIVEIRA, Hipólito. **Manutenção de Colhedora de Cana-de-açúcar**. SENAR/SP: São Paulo. 2013.206 p.

KIMURA, Rogério Katsuharu. **Uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel estacionários, utilizando-se misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação do lubrificante**. Ilha Solteira: UNESP, 2010. 129 p. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira, 2010.

LAMAS, F. M. **A tecnologia na agricultura**. Sitio eletrônico Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30015917/artigo-a-tecnologia-na-agricultura>>. Acesso em: 22 set. 2019.

MARION, C. Mecanização agrícola transforma perfil do gestor. **Revista Máquinas Agrícolas & Inovações**. 2014.

NEPOMUCENO, L.X. **Manutenção preditiva em instalações industriais**. Edgard Blüncher: São Paulo, 1985.521 p.

OLIVEIRA, C. M.; SANTANA, A. C.; HOMMA, A. K. O. Os custos de produção e a rentabilidade da soja nos municípios de Santarém e Belterra, estado do Pará. **Acta Amazônica**, 43(1), 23-32, 2012.

PACHECO, E.P. Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21p. (Embrapa Acre. Documentos, 58).

PADOVAN, L. A; ANJOS, H. S. **Manutenção de Tratores Agrícolas**. SENAR/SP: São Paulo. 2012. 74p.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**. Brasília, v.56, n. 2. 2018. doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201

SANTOS, E. A.; SOARES, H. S.; SILVA, M. R.; ROCHA, T. A. F.; FERNANDES, T. J. L. Uso correto dos óleos lubrificantes para máquinas agrícolas. **Revista Cultivar Máquinas**. 2014. Ed. 143. p. 29-31. ISSN 1676-0158.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Tratores Agrícolas:** manutenção de tratores agrícolas. Coleção SENAR 130. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília: SENAR, 2009. 188 p.

SILVEIRA, G. M. **Os cuidados com o trator. Série Mecanização.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 312 p.

SNOOK, W. A. **Análise de óleos usados de motores.** Lubrificação, v.54, n.9, p.97-116, 1968.

SNOWDEN JR, J.E.; WESTERHEID, J.P. Oil analysis as a significant factor in oil and equipment maintenance. **Lubrication Engineering**, v.32, p.425-432, 1976.

TANAKA, E. M.; PADOVAN, L. A.; VIANA, N. M. **Manutenção de Colhedora Automotriz de café.** SENAR/ SP: São Paulo. 2014. 90p.

VALTRA do Brasil LTDA. **Manual de treinamento:** Operação, Manutenção e Segurança. Mogi das Cruzes: Nova Página. 2007.