

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, exhibe 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.

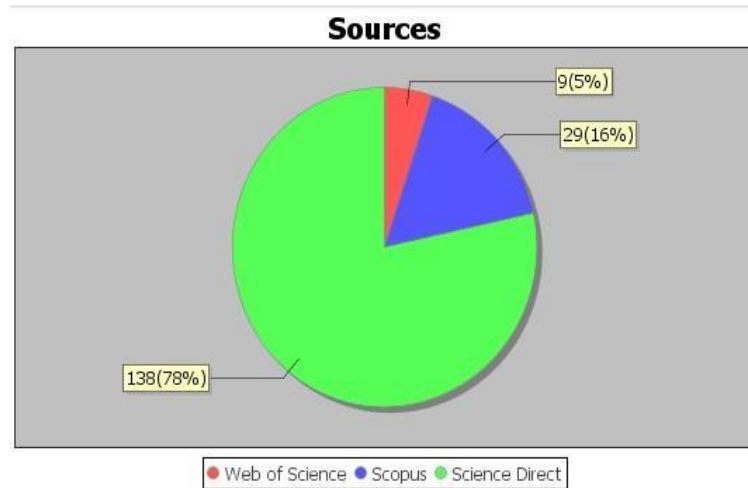
Como pode-se observar no Quadro 2, os critérios iniciais para inclusão de documentos foram: delimitação do lapso temporal (1999 a 2019 - vinte anos) com o intuito de observar a evolução da temática abordada, e idiomas de interesse (português, inglês e espanhol – por conveniência), totalizando 176 documentos, 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)	<i>9 - Tribology</i>	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.

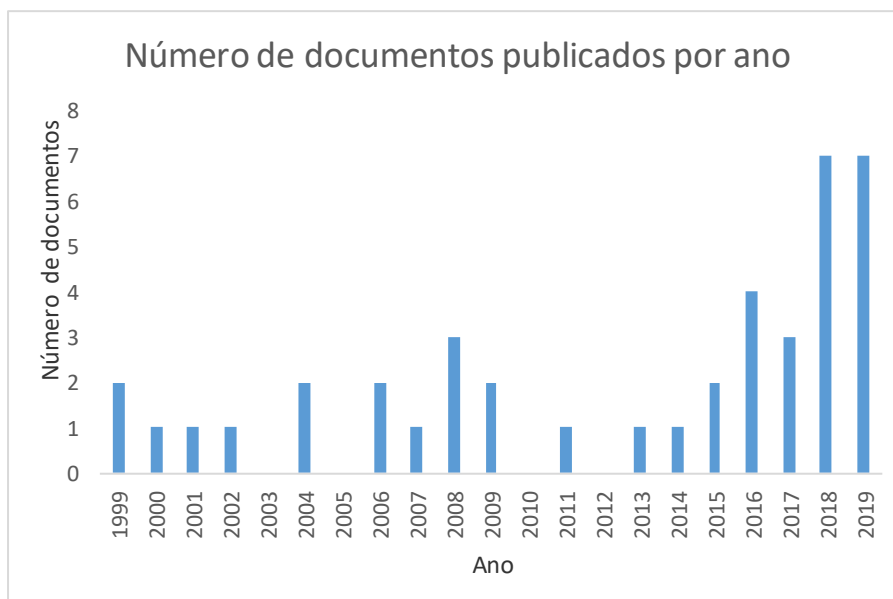


Fonte: Autores.

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

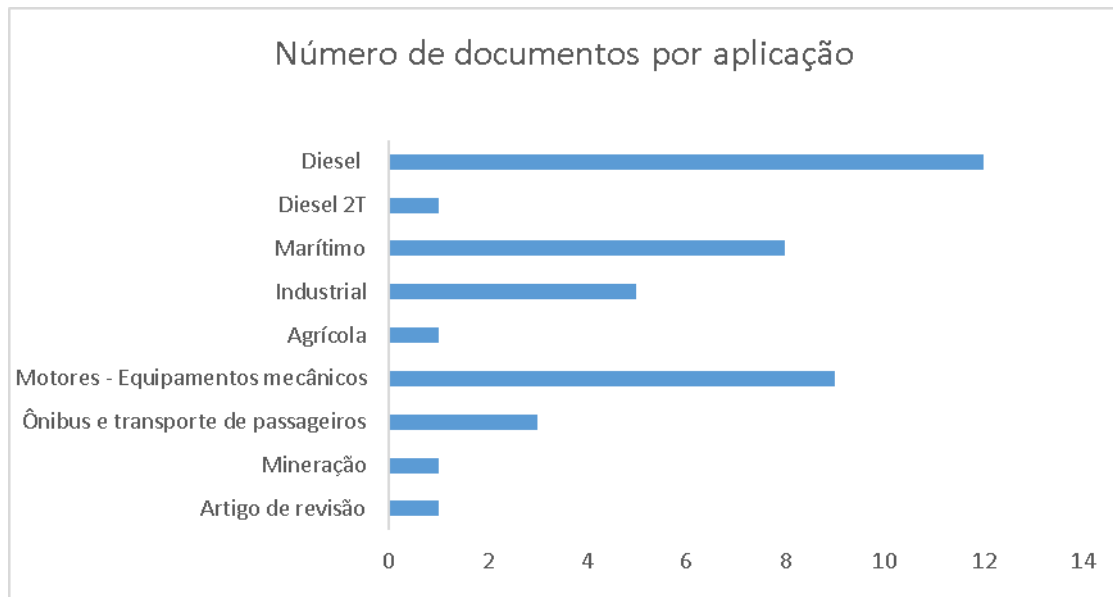
O Gráfico 1, apresenta o número de publicações por ano obtidas na pesquisa.

Gráfico 1 - Publicações por ano.



Fonte: Autores.

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 exibe 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.

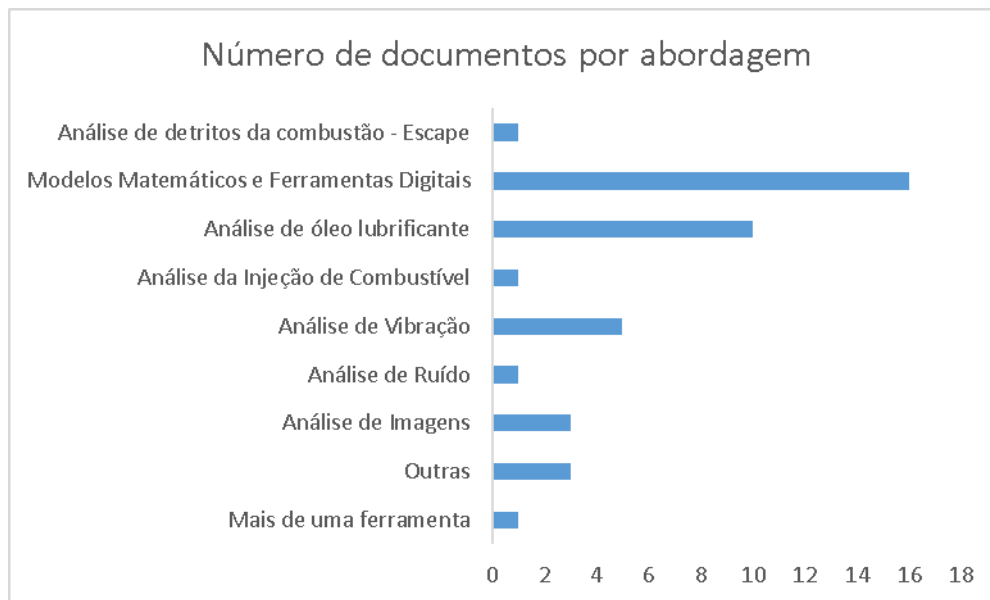
Fonte: Autores.

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.ymsp.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.org/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*. Sítio 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.trpro.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%