

Análise Bibliométrica do Gerenciamento de Manutenção Industrial: da corretiva à gestão de ativos

Bibliometric Analysis of Maintenance Management: from corrective to asset management

Olnei Martins de Lisboa¹

Jonei Marques da Costa²

Ângela Maria Ferreira Lima³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Jequié, BA, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Jacobina, BA, Brasil

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador, BA, Brasil

Resumo

Ao longo do tempo, as metodologias de gerenciamento da manutenção industrial passaram por Gerações, evoluindo de técnicas básicas de reparo até o nível de gerenciamento do ciclo de vida dos ativos. Este artigo teve como objetivo analisar a evolução dessas metodologias por meio de uma prospecção bibliométrica, analisando artigos disponíveis na base de dados Scopus, produzidos de 1966 a 2022. Os dados foram analisados no Bibliometrix, um pacote para a linguagem de programação R aplicado em Bibliometria. A análise buscou correlacionar esses dados com as etapas de desenvolvimento do gerenciamento da manutenção, de processo de apoio para processo estratégico, destacando os métodos utilizados. Os resultados apontaram para o gerenciamento da manutenção como um processo em expansão, associado ao desenvolvimento de tecnologias de monitoramento e análises estatísticas avançadas, ao tempo em que se consolida como metodologia estratégica da gestão de ativos, criando mais um vetor para a *performance* empresarial.

Palavras-chave: Gerenciamento; Manutenção; Bibliometria.

Abstract

Over time, industrial maintenance management methodologies have gone through generations, evolving from basic repair techniques to the level of asset lifecycle management. This article aimed to analyze the evolution of these methodologies through bibliometric prospecting, analyzing articles available in the Scopus database, produced from 1966 to 2022. The data was analyzed in Bibliometrix, a package for the R programming language applied in Bibliometrics. The analysis sought to correlate this data with the development stages of maintenance management, from a support process to a strategic process, highlighting the methods used. The results pointed to maintenance management as an expanding process, associated with the development of monitoring technologies and advanced statistical analyses, while consolidating itself as a strategic methodology for asset management, creating yet another vector for business performance.

Keywords: Management; Maintenance; Bibliometrics.

Área Tecnológica: Prospecção Bibliométrica. Gestão da Manutenção.



1 Introdução

As primeiras abordagens científicas acerca do gerenciamento da manutenção datam da década de 1950, período no qual a manutenção surgiu como atividade industrial, tendo como prática apenas as intervenções corretivas. Segundo Kardec e Nascif (2009), os equipamentos eram simples e exigiam pouca manutenção, além do fato de que a produtividade não era prioridade na indústria da época.

Superada a primeira fase, o gerenciamento da manutenção iniciou sua evolução, ganhando relevância como diferencial competitivo e passando, assim, por diversos estágios de desenvolvimento. As empresas começaram a investir em equipamentos mais produtivos e mais confiáveis, fazendo com que a manutenção acompanhasse essa tendência evolutiva. Segundo Garg e Deshmukh (2006, p. 205):

Ao longo dos anos, a importância da função de manutenção e, portanto, da gestão da manutenção tem crescido. A mecanização e automação generalizadas tem reduzido o número de pessoal de produção e aumentado o capital empregado nos equipamentos de produção e nas estruturas civis.

A segunda geração da gestão da manutenção teve início por volta de 1960 com o conceito de Manutenção Preventiva. A inspeção e lubrificação das máquinas e equipamentos passou a fazer parte da rotina das fábricas, o que levou ao surgimento das atividades de planejamento de manutenção. Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 2), nesse período, “Começa a evidenciar-se a necessidade de maior disponibilidade, bem como maior confiabilidade, tudo isso na busca da maior produtividade; a indústria estava bastante dependente do bom funcionamento das máquinas”.

A terceira geração da gestão da manutenção é marcada pela aplicação de novas tecnologias nas indústrias, como a informática e a automação de processos. O conceito de Manutenção Produtiva Total (TPM) é implantado, integrando os setores de produção e de manutenção, bem como a Manutenção Autônoma. São estabelecidos padrões de qualidade, meio ambiente e segurança ocupacional, e a redução dos custos, o aumento da disponibilidade e confiabilidade entram no foco desse novo modelo de gestão. Na busca pela confiabilidade, várias áreas de conhecimento são integradas, conforme apontam Rausand e Høyland (2003), a saber: análises de risco, proteção ambiental, qualidade, otimização da operação e manutenção e engenharia de desenvolvimento de produtos.

A quarta geração da gestão da manutenção surge a partir do ano de 2011, em um cenário no qual os resultados operacionais passam a ser gerenciados de forma integrada. Assim, a gestão da manutenção dá lugar a uma metodologia mais abrangente: a Gestão de Ativos. Segundo Mortelari, Siqueira e Pizzati (2011), a gestão de ativos tem foco na gestão de riscos, confiabilidade e precisão na medição e comprovação dos resultados. Esse novo modelo compreende o gerenciamento não apenas da manutenção, mas de todos os ativos, tangíveis e intangíveis, requerendo a integração de todos os setores e departamentos na busca da redução de falhas, otimização dos lucros e redução das perdas.

Ainda na quarta geração, nas duas últimas décadas do século 21, a manutenção vem se transformando em uma área estratégica para a concretização dos resultados empresariais, relacionando-se, de forma direta, com os resultados globais das empresas.

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, de abordagem quantitativa, na coleta e na apresentação de dados, e qualitativa, na análise dos dados, com procedimentos de prospecção bibliométrica de artigos científicos. Foi utilizada a base de dados Scopus para o levantamento das produções científicas e usou-se a ferramenta Bibliometrix para a tabulação e tratamento dos dados (Aria; Cuccurullo, 2017).

As informações sobre as publicações científicas referentes ao tema manutenção industrial foram obtidas na base de dados Scopus, sem delimitação temporal inicial e definindo o final do período no ano de 2022. A base de dados Scopus foi escolhida devido à maior quantidade de títulos de revistas associados ao tema (Martín-Martín *et al.*, 2018). Foi realizada uma busca avançada, e os campos utilizados foram título, resumo e palavras-chave, com os termos de busca: “*maintenance*” AND “*management*”.

Adicionalmente foram colocados filtros, a saber: as áreas de abrangências foram engenharia, negócios, ciência da computação, energia, materiais, engenharia química, meio ambiente, ciências da decisão, matemática, química, economia multidisciplinar. A pesquisa foi realizada em maio de 2023.

Para construir o banco de dados, foram extraídos todos os metadados dos artigos recuperados da base de dados Scopus (Informações sobre citações, bibliografia dos autores e coautores, resumos, palavras-chave, detalhes de financiamento e outras informações). O Bibliometrix foi a ferramenta escolhida para a análise bibliométrica dos dados (Aria; Cuccurullo, 2017). Há alguns *softwares* disponíveis para investigação bibliométrica (Moreira; Guimarães; Tsunoda, 2020), contudo, o Bibliometrix, desenvolvido em linguagem R (Cran, 2023) exibe algumas vantagens, como facilidade operacional, versatilidade, vasta gama de relatórios de análise, além de oferecer acesso livre e gratuito.

Além da análise bibliométrica, avaliou-se o tema dos artigos a partir de seus títulos e resumos, a fim de verificar sua aderência a cada período da gestão da manutenção. Foi adotada a divisão de períodos apresentada na Figura 1, que fraciona o desenvolvimento da manutenção em quatro fases; porém, neste trabalho, foram consideradas apenas as fases da segunda à quarta, pois só foram encontrados artigos datados a partir de 1966, o que já se configura segunda geração. Assim, os artigos foram divididos em três grupos, correlacionados com a segunda, terceira e quarta fases da gestão da manutenção, a fim de buscar uma relação entre as características destas com os temas dos artigos.

3 Resultados e Discussão

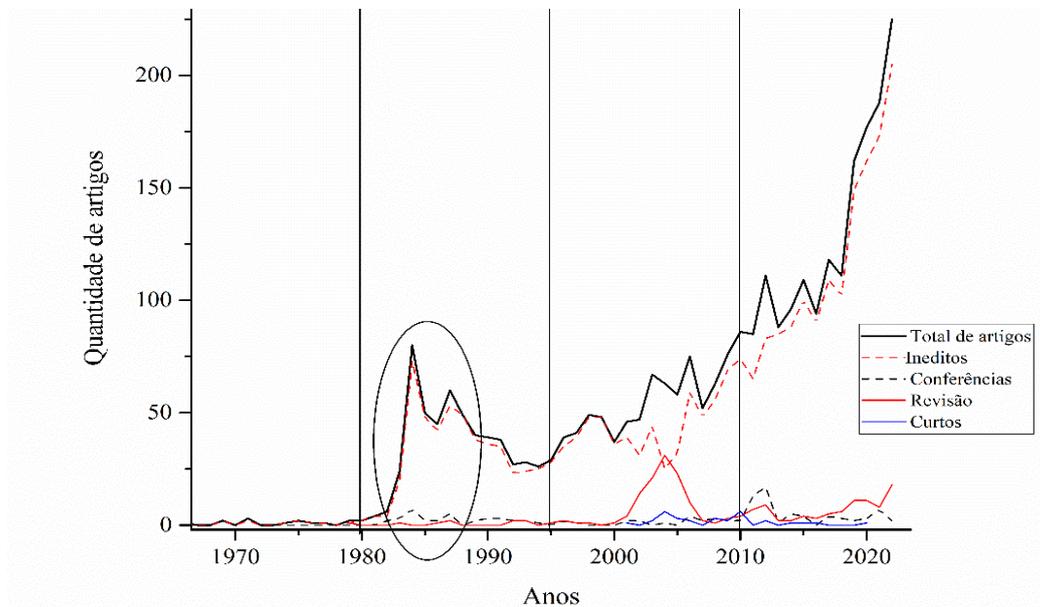
Esta seção está dividida em três partes: na primeira, propõe-se uma relação entre as fases do gerenciamento da manutenção e o quantitativo de artigos produzidos; na segunda, é realizada uma análise do índice H das publicações e, por fim, é apresentada uma análise dos temas mais recorrentes nos artigos e sua relação com cada fase do gerenciamento da manutenção.

3.1 As Fases Evolutivas do Gerenciamento da Manutenção

A pesquisa realizada na base de dados da Scopus, com os termos “*maintenance*” AND “*management*”, localizou 3.071 publicações. Entre elas, foram encontrados 2.708 artigos inéditos.

tos (88,2%), 214 (7,0%) artigos de revisão de literatura, 118 artigos de revisão de conferências (3,8%) e 31 artigos de pesquisas curtas (1,0%). Esses trabalhos foram publicados em 1.188 periódicos científicos e anais de conferências e congressos e produzidos por 5.843 autores e coautores. A Figura 2 exibe a evolução temporal dessas publicações.

Figura 2 – Evolução das publicações sobre manutenção



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo a partir dos dados Scopus (2023)

Os resultados sugerem que, desde meados da década de 1960, há um contínuo interesse sobre a produção de conhecimento a respeito da gestão da manutenção, em consonância com as gerações definidas para a gestão da manutenção. Entre os anos de 1966 a 1980, período que corresponde à segunda geração da gestão da manutenção, a quantidade de publicações totalizou 88 artigos, sugerindo que essa área do conhecimento ainda estava em amadurecimento, visto que nos 15 anos subsequentes a quantidade de publicações aumentou substancialmente.

Entre os anos de 1981 a 1995, foram produzidos 572 artigos. Observa-se um aumento repentino na quantidade de publicações, contabilizando 50% das publicações de todo o período, o que sugere um aumento no interesse pelos temas relacionadas aos Sistemas de Gestão (SG) da manutenção. Esse período corresponde à transição entre a segunda e a terceira geração da manutenção, que atribui uma função mais central e complexa para o setor da manutenção. Nesse período, surgem as preocupações com as questões ambientais e sociais, associadas à manutenção dos equipamentos e sistemas produtivos, não atribuindo à gestão da manutenção apenas o puro e simples funcionamento de um equipamento ou conjunto destes, mas toda uma visão sistêmica. Outra mudança de paradigma observada nesse período é a popularização de sistemas de controle automatizado e implementação de soluções computacionais ao sistema de gestão da manutenção.

Nos anos vindouros, entre 1996 a 2010, observa-se uma tendência de crescimento contínuo no número de publicações de artigos, que atinge a quantidade de 847 trabalhos acumulados no período. Esse resultado sugere que há uma consolidação do conhecimento produzido pela terceira geração da manutenção, contudo é observado um aumento mais acentuado na quantidade de publicações a partir do ano de 2010, sugerindo que uma nova abordagem teórica sobre o tema está sendo construída.

Já nos anos de 2011 a 2022, o último período analisado, foram encontrados 1.564 artigos nesses 11 anos com tendência de continuidade do aumento do número de publicações. Esse período corresponde à quarta geração da manutenção, na qual o ser humano passou a ser visto como parte do processo de fabricação na construção de sistemas de confiabilidade. Essa abordagem teórica ainda se encontra em consolidação, visto a grande quantidade de trabalhos ainda sendo publicados.

3.2 As Publicações sobre Gerenciamento da Manutenção

Algumas métricas vêm sendo propostas para atribuir, de maneira objetiva e numérica, a qualidade das publicações científicas, entre as quais, se destacam o Índice-H, Índice-G e o Índice-M (Novak; Batko, 2009). O índice-H, ou também chamado de Índice de Hirsch, é baseado nos artigos mais citados do pesquisador e no número de citações que eles receberam em publicações de outras pessoas. O índice-G relaciona a quantidade de citações total aos artigos principais, ou de maior citação. O índice-M relaciona a quantidade de citações em função do tempo decorrido entre a data da primeira publicação até o presente. Cada uma dessas metodologias de avaliação das publicações acadêmicas possui alguma limitação (Novak; Batko, 2009). O Quadro 1 exibe dados dos 10 principais artigos com maior taxa de citação total e citações por ano.

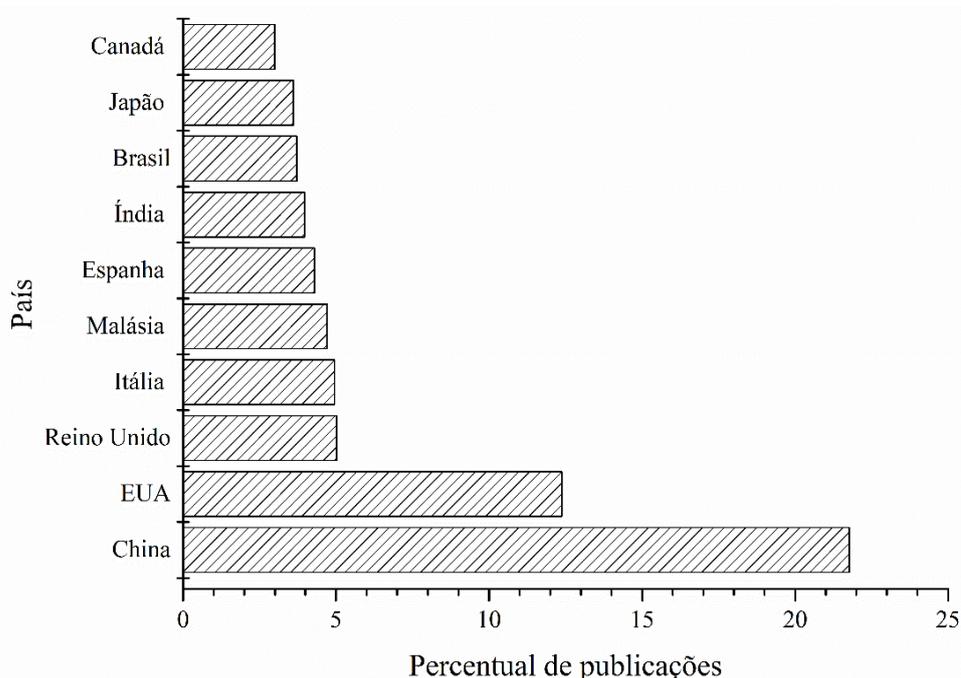
Quadro 1 – Taxa de citação dos 10 artigos mais citados

TÍTULO DO ARTIGO	PAÍS DE AFILIAÇÃO	TOTAL DE CITAÇÕES	CITAÇÕES POR ANO	REFERÊNCIAS
Applications of maintenance optimization models: a review and analysis	Holanda	780	27,86	(Dekker, 1996)
Condition monitoring of wind turbivnes: Techniques and methods	Espanha	729	60,75	(García Márquez <i>et al.</i> , 2012)
Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifier Approach	Itália	454	50,44	(Susto, G. A. <i>et al.</i> , 2015)
Linking maintenance strategies to performance	EUA	437	19,00	(Swanson, 2001)
Maintenance management: literature review and directions	Índia	395	21,94	(Garg; Deshmukh, 2006)
A manufacturer becoming service provider – challenges and a paradox	Finlândia	360	18,95	(Brax, 2005)
A Comparative Study on Machine Learning Algorithms for Smart Manufacturing: Tool Wear Prediction Using Random Forests	EUA	347	49,57	(Wu <i>et al.</i> , 2017)
Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance	Hong Kong	327	14,22	(Yam <i>et al.</i> , 2001)
Review of digital twin applications in manufacturing	Itália	322	64,40	(Cimino; Negri; Fumagalli, 2019)
Strategic dimensions of maintenance management	Hong Kong	310	14,09	(Tsang, A. H. C., 2002)

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo a partir dos dados Scopus (2023)

Quanto à relação entre países e publicações científicas, os dados bibliográficos das publicações permitem relacioná-las à instituição de ensino e pesquisa de afiliação dos autores e à região ou país onde a instituição está localizada. A Figura 3 exibe o percentual dos trabalhos encontrados sobre o tema gerenciamento da manutenção, produzidos em cada país. China e Estados Unidos ocupam a liderança no quantitativo de publicações. Esses são os dois maiores exportadores e importadores de manufaturados do mundo, segundo dados do anuário de 2019 do Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI, 2019). Como informado, em 2018, os dois países respondiam por 21,3% de todas as exportações e importações realizadas no mundo. Esses números representam a indústria forte desses países que necessita cada vez mais de tecnologia para expandir e manter sua posição frente aos concorrentes.

Figura 3 – Produção de artigos sobre a temática de acordo com país de origem



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo a partir dos dados Scopus (2023)

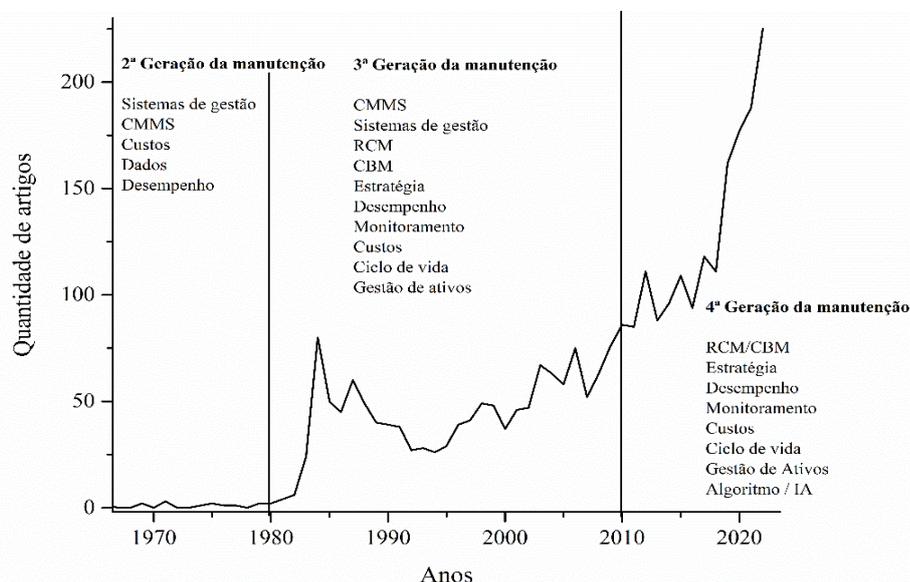
China e Estados Unidos respondem juntos por cerca de 35% dos artigos produzidos no período avaliado. O fato de que os dois países competem pela 1ª posição como potência econômica mundial faz acirrar a competição também no campo das pesquisas acadêmicas, e o gerenciamento da manutenção entra nesse ciclo como setor estratégico para ambos os países. O fato é que nos últimos 40 anos a China passou a investir no desenvolvimento científico e na formação acadêmica de sua população, aperfeiçoando suas universidades e enviando estudantes para universidades em outros países. O resultado disso foi o aumento acentuado do número de produções científicas pelos chineses, que disputam a primeira colocação no *ranking* de publicações com os norte-americanos. Os Estados Unidos, por sua vez, possuem um número maior de universidades e de empresas, além de ter um alto desenvolvimento científico em todas as áreas do conhecimento.

O painel da Nature Index¹ mostra que os Estados Unidos ainda lideram o *ranking* de publicações (dados de 2020-2021), seguido por China, Alemanha, Reino Unido e Japão. Todavia, a diferença entre o líder e o segundo colocado vem diminuindo. Em relação ao Índice H, os dados do SCImago Journal² mostram que os Estados Unidos ocupam a primeira colocação (índice igual a 2.880), seguido do Reino Unido (1.815), Alemanha (1.584), Japão (1.236) e China (1.210). Os números apontam para um cenário de grande competitividade no desenvolvimento de novas tecnologias e que os artigos científicos são essenciais para que ideias se transformem em produtos e soluções.

3.3 Análise dos Temas Abordados nos Artigos

Os metadados também foram avaliados considerando a temática das publicações, a partir da leitura dos títulos e resumos. Como já foi dito, embora não se possa definir com rigor absoluto o início e fim de cada geração da gestão da manutenção, pois as mudanças de geração ocorrem em uma fase de transição, neste texto, tomou-se como referência os seguintes períodos: Primeira geração de 1940 a 1959; Segunda geração de 1960 a 1980; Terceira geração de 1981 a 2010; Quarta geração a partir de 2011, conforme ilustrado na Figura 4. Como só foram encontrados artigos datados a partir de 1966, a análise começou na Segunda Geração da gestão da manutenção.

Figura 4 – Temas mais recorrentes nas três gerações da gestão da manutenção



Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo a partir dos dados Scopus (2023)

Assim, analisando os títulos e resumos dos 88 artigos encontrados referentes a essa Segunda Geração (1960 a 1980), os assuntos mais relevantes tratados nas produções foram: Manutenção Preventiva, Sistemas de gestão, Sistema de gerenciamento da manutenção por computador, Custos de manutenção, Falhas, Análise de dados, manutenção Preditiva. Esses assuntos ordenados, conforme o número de artigos que tratam sobre eles, são: Sistema de

¹ Dados disponíveis em: <https://www.nature.com/nature-index/annual-tables/2022/country/all/all>.

² Dados disponíveis em: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php>.

gestão/gerenciamento da manutenção (53 vezes), computador/computadorizado (12 vezes), dados (5 vezes), custo (5 vezes), o que sugere uma busca pela implementação de sistemas para gerenciamento da manutenção, o uso do computador (*softwares*) para análise de dados e a busca da redução dos custos.

Ainda a análise desses artigos da Segunda Geração, publicados entre 1966 e 1980, aponta para a necessidade de métodos de coleta, tratamento e aplicação de dados para o gerenciamento da manutenção, nos quais os *softwares* seriam essenciais para o aumento da confiabilidade dos equipamentos. Os setores industriais mais citados nos artigos foram aéreo, naval, energia, construção, química e petróleo e rodovias.

A título de ilustração das publicações desse período, cita-se o artigo de Pescherine (1966), intitulado “*Um Estudo de Caso na Aplicação da Gestão Integrada de Manutenção a um Programa de Desenvolvimento Limitado*”, que apresenta o “WR-30”, um sistema de gerenciamento integrado de manutenção para armas aeronáuticas, sistemas de armas e equipamentos relacionados. Cita-se também o artigo de Ellis e Johnson (1975), com o título “*Programa de gerenciamento de manutenção do motor requer informações*”, que trata da revisão dos sistemas desenvolvidos pela United Airlines para coleta e distribuição de informações de suporte ao programa de gerenciamento de manutenção de aeronaves e motores.

Analisando os 1.419 artigos da Terceira Geração da gestão da manutenção, de 1981 a 2010, observou-se uma maior incidência dos seguintes temas: Computador/gestão computadorizada/*software* (208 vezes), Sistema de gestão/gerenciamento da manutenção (103 vezes), confiabilidade/manutenção centrada na confiabilidade – RCM (70 vezes), manutenção baseada na condição – CBM/monitoramento de condições (60 vezes), dados (56 vezes), estratégia (52 vezes), desempenho (42 vezes), monitoramento (41 vezes), tomada de decisão (37), custo (32 vezes), ciclo de vida (23 vezes), sistema/tecnologia da informação (22 vezes), gestão de ativos (20 vezes), algoritmo (9 vezes), inteligência artificial (11 vezes). Esses dados indicam o surgimento de uma variedade de abordagens, que vão da ampliação dos métodos de monitoramento dos equipamentos até a avaliação do seu ciclo de vida. Os setores industriais mais citados nos artigos foram pavimentos, aéreo, energia nuclear, construção, química e petróleo e rodovias. Nessa Terceira Geração da gestão da manutenção, o uso do computador e dos sistemas de gestão já estava consolidado e difundido em todo o mundo, e os métodos de análise de tomada de decisão se desenvolviam com o aprimoramento das técnicas estatísticas.

Um artigo que ilustra as publicações da Terceira Geração da gestão da manutenção tem como autores Fernandez *et al.* (2003), com o título “*Um sistema de gestão de manutenção de apoio à decisão: Desenvolvimento e implementação*”, e aborda o uso dos *softwares* de manutenção na obtenção de dados para tomada de decisão. É nessa geração da gestão da manutenção que se desenvolvem e se aprimoram algumas modalidades de manutenção, como a Preditiva, a Manutenção baseada na condição (CBM – *Condition Based Maintenance*), a Manutenção centrada na confiabilidade (RCM – *Reliability Centered Maintenance*) e as atividades de manutenção passaram a fazer parte da estratégia das empresas.

Por fim, os artigos produzidos no período da Quarta Geração da gestão da manutenção, de 2011 aos dias atuais, apresentaram como principais preocupações os seguintes temas: Computador/gestão computadorizada/*software* (incidência de 40 vezes), Sistema de gestão/gerenciamento da manutenção (65 vezes), confiabilidade/manutenção centrada na confiabilidade – RCM (60 vezes), manutenção baseada na condição – CBM/monitoramento de condições

(68 vezes), dados (75 vezes), estratégia (69 vezes), desempenho (81 vezes), monitoramento (59 vezes), tomada de decisão (34), custo (44 vezes), ciclo de vida (43 vezes), sistema/tecnologia da informação (4 vezes), gestão de ativos (52 vezes), algoritmo (34 vezes), inteligência artificial (11 vezes). Esses números sugerem que, na Quarta Geração da gestão da manutenção, o interesse voltado para a produção de artigos sobre uso do computador, sistema/tecnologia da informação e implementação de um sistema de gerenciamento da manutenção dão lugar a outras abordagens, apontando uma busca focada não mais nas estruturas – já consolidadas –, mas sim nas metodologias viabilizadas por elas. Kardec e Nascif (2009) definem essa fase como uma continuidade da anterior e destacam três linhas de convergência para as abordagens da manutenção.

Algumas expectativas em relação à manutenção existentes na Terceira Geração continuam a existir na Quarta Geração. A disponibilidade é uma das medidas de performance mais importantes da manutenção, senão a mais importante. A confiabilidade dos equipamentos é um fator de constante busca pela manutenção. A consolidação das atividades de Engenharia da Manutenção, dentro da estrutura organizacional da Manutenção, tem na garantia da Disponibilidade, da Confiabilidade e da Manutenibilidade as três maiores justificativas de sua existência (Kardec; Nascif, 2009, p. 4).

Em relação aos objetos de estudo, os setores industriais mais citados nos artigos da Quarta Geração da gestão da manutenção, de 2011 aos dias atuais, foram: pavimentos (73 vezes), construção (50 vezes), energia (48 vezes), rodovias (27), aéreo (16 vezes) e química e petróleo (14 vezes).

Os números sugerem uma alternância de temas, abordando diferentes visões sobre a gestão da manutenção e seus métodos em cada Geração. Pode-se perceber, por exemplo, que o uso do computador como ferramenta de gestão, a implementação de sistemas de informações e a implementação de sistemas de gerenciamento da manutenção começaram a se fazer presentes na segunda geração, ganharam relevância na terceira, perdendo um pouco dessa sua relevância na quarta geração. Isso pode ser explicado pelos fatos históricos que acompanharam a evolução da manutenção, como o uso do computador na indústria no final da década de 1960 e o desenvolvimento dos sistemas de gestão da qualidade, cuja metodologia implicava gestão por processos.

O uso do computador na indústria se iniciou com a utilização dos Controladores Lógicos Programáveis³ (CLPs), passando pelas Interfaces Homem-Máquina (IHM) e dos Sistemas Supervisórios. A partir daí o computador passou a ser utilizado no apoio ao gerenciamento dos vários processos. No artigo intitulado “*Da máquina à vapor aos softwares de automação*”, Goeking (2010) cita a estratégia adotada pela General Motors (GM) para diversificar sua linha de produção de automóveis. Na ocasião, o ano de 1969, a GM substituiu os painéis de relé pelos CLPs, uma vez que aqueles não seriam capazes de atender ao propósito de automação; isso foi um marco no uso do computador na indústria.

Essas tecnologias, o computador e o sistema de gestão, se concretizaram a partir da década de 1980 e passaram a ser utilizados no mundo todo, razão pela qual continuaram a despertar o interesse dos pesquisadores durante a Terceira geração da manutenção. No artigo de Fraser,

³ Segundo a Norma IEC 61131-1:2003, CLP é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com as aplicações industriais, Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC). As normas da IEC são comercializadas no Brasil por meio da ABNT.

Hvolby e Tseng (2015), intitulado “*Modelos de gerenciamento de manutenção: um estudo da literatura publicada para identificar evidências empíricas*”, os autores identificaram 37 modelos de gestão da manutenção, pesquisados em milhares de artigos, e constataram que as técnicas ou os modelos mais utilizados foram a Manutenção Produtiva Total (TPM), a Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) e a Manutenção Baseada na Condição (CBM).

No artigo intitulado “*O Sistema Informatizado de Gestão da Manutenção: uma ferramenta essencial para a manutenção de classe mundial*”, Wienker, Henderson e Volkerts (2016) apresentam um panorama da evolução das estratégias de manutenção, além de enumerar as causas do fracasso na implementação de um sistema de gerenciamento computadorizado da manutenção (CMMS), afirmando que muitas organizações não estão preparadas para receber um sistema computacional complexo.

Nos artigos classificados como da Terceira ou da Quarta Geração da gestão da manutenção, há uma diversificação de temas voltados para as técnicas de manutenção, como a CBM, a RCM e a Manutenção Preditiva, bem como voltados para a Estatística como suporte para o aprimoramento da gestão, o que faz emergirem novas práticas como o monitoramento, a coleta de dados, a avaliação de desempenho, os custos, a gestão de ativos e o ciclo de vida. Em outras palavras, a manutenção passa a ser estratégica para as grandes empresas. Rêgo, Souza e Juiz (2018) apresentam a evolução do número de patentes relacionadas a *softwares* de gestão estratégica depositadas no período de 1998 a 2018. A pesquisa revelou a existência de 2.127 patentes voltadas para os diversos setores e baseadas em análise computacional sistemática de dados – *Analytics*, o que denota a relevância desse modelo de gestão.

Os temas apresentados apontam que a manutenção seguiu um caminho contínuo, utilizando as mesmas técnicas, porém com o incremento de novas tecnologias, relacionadas tanto a equipamentos de monitoramento quanto ao uso de técnicas estatísticas aplicadas ao desempenho e ao diagnóstico precoce de falhas. O uso de algoritmos e dos grandes bancos de dados (*Big Data*), dos sistemas de monitoramento *on-line* inteligente, do aprendizado de máquina (*Machine Learning*), entre outros recursos, tudo isso aponta na direção do uso cada vez mais sistêmico da coleta e da análise de dados em intervalos de tempo cada vez mais curtos, a fim de agilizar a tomada de decisão.

4 Considerações Finais

A manutenção é um setor complexo e ao mesmo tempo dinâmico, sua evolução histórico-tecnológica mostra isso. Entender seu percurso, suas tendências e como retirar o máximo do potencial proporcionado pelas tecnologias para aperfeiçoar o setor se constitui a estratégia adotada por algumas empresas. Ao longo do tempo, e graças ao incremento tecnológico e à competitividade, a atividade manutenção ganhou relevância, promoveu melhorias em processos e produtos, tornando-se essencial para que vários segmentos empresariais alcançassem a excelência e se mantivessem competitivos.

Este artigo procurou demonstrar, por meio das produções científicas, que no período em estudo houve uma busca constante da evolução da atividade manutenção. O interesse pelo tema foi contínuo, crescente e diversificado em vários subtemas, que denotam a expansão do setor e sua importância estratégica. Esta busca abrangeu vários setores tecnológicos, e a taxa de ineditismo das produções atingiu 88% do total, apontando para uma necessidade global

de revisão dos procedimentos de manutenção, por fatores como segurança, durabilidade ou *performance* operacional.

As análises bibliométricas mostraram que a China foi o país mais produtivo, em termos quantitativos. No entanto, no que se refere ao Índice H, os EUA e a Europa foram mais eficazes em suas produções. Nesses trabalhos prevaleceram o enfoque estratégico da manutenção e as tecnologias de monitoramento (CBM, *Machine Learning* e outros sistemas inteligentes), sinalizando que o setor poderá incorporar, nos próximos anos, sistemas baseados em Inteligência Artificial.

A abordagem temática dos artigos mostrou a prevalência, ao longo do tempo, de algumas técnicas e programas de manutenção, notadamente a TPM, a CBM, a RCM e a CMMS. Com o incremento de tecnologias voltadas para o monitoramento contínuo e em tempo real e para a capacidade de processamento de grande quantidade de dados, essas modalidades ganharam em *performance*, adquirindo velocidade no diagnóstico e na tomada de decisão.

As abordagens, as técnicas e os métodos que permearam e sedimentaram o gerenciamento da manutenção, apresentados neste trabalho, mostram que a busca pela confiabilidade, a disponibilidade e a manutenibilidade das máquinas foi o alicerce que o sustentou. Uma vez que as empresas passaram a demandar equipamentos cada vez mais eficientes, a manutenção também passou a demandar novos instrumentos de monitoramento e de coleta de dados, bem como *softwares* capazes de processá-los em grande quantidade e velocidade, a fim de garantir a *performance* das máquinas. O diagnóstico dos equipamentos e a previsão de falhas ficou mais assertiva, reduzindo as quebras.

A abrangência deste estudo limitou-se à análise dos artigos da base Scopus. Assim, as constatações e as considerações aqui apresentadas podem diferir, em alguma medida, de estudos baseados em outras bases de dados, ou com maior quantidade de artigos analisados. A complexidade do tema deixa em aberto a possibilidade de aprofundamento desse estudo, por se tratar de questões relevantes e atuais, que envolvem governos, empresas e sociedade.

5 Perspectivas Futuras

Superada parte dos desafios do setor de manutenção, as atenções se voltam para a empresa como um todo. A confiabilidade, a disponibilidade e a manutenibilidade agora se aplicam a todos os seus ativos, inclusive os intangíveis, e passam a envolver todos os setores das empresas. Nessa nova visão, a ideia de manutenção como ato de “manter em funcionamento” se aplica a tudo o que contribui para a obtenção dos resultados, dos equipamentos à propriedade intelectual, da carta de clientes ao rol de fornecedores.

O cenário atual e o que se desenha para as próximas décadas apontam para um desenvolvimento contínuo da função manutenção, que irá requerer novas especialidades, multidisciplinares, integradas e com uma visão ampliada sobre os ativos e seus resultados, e que envolve toda a empresa, e não mais um setor apenas. Novas tecnologias e novos métodos de análise de falhas e de monitoramento de equipamentos, bem como modelos estatísticos para a manutenção preditiva e avaliação do ciclo de vida, por exemplo, continuarão a se aperfeiçoar, permitindo melhores controles e, conseqüentemente, melhores resultados para os negócios.

Recursos como o *Machine Learning*, a Inteligência Artificial e os grandes bancos de dados deverão se difundir e se sedimentar como ferramentas da gestão de ativos, trazendo ganhos para as empresas e se consolidando como mais um dos fatores de competitividade.

Referências

- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis: **Journal of Informetrics**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157717300500>. Acesso em: 17 ago. 2023.
- BRAX, S. A manufacturer becoming service provider – challenges and a paradox. **Managing Service Quality: An International Journal**, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 142-155, 1º abr. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242336218_A_manufacturer_becoming_service_provider_-_Challenges_and_a_paradox. Acesso em: 10 ago. 2023.
- CIMINO, C.; NEGRI, E.; FUMAGALLI, L. Review of digital twin applications in manufacturing. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 113, p. 103130, dez. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361519304385>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- CRAN. **The Comprehensive R Archive Network**. 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org>. Acesso em: 17 ago. 2023.
- DEKKER, R. Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, [s.l.], v. 51, n. 3, p. 229-240, mar. 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0951832095000763>. Acesso em: 31 jul. 2023.
- ELLIS, L.; JOHNSON, R. Engine Maintenance Management Program Requires Information. **SAE Technical Paper**, [s.l.], 750613, 1975. Disponível em: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/750613/>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- FERNANDEZ, O. *et al.* A decision support maintenance management system: Development and implementation. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [s.l.], v. 20, n. 8, p. 965-979, 2003. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02656710310493652/full/html>. Acesso em: 30 jul. 2023.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: **IDOC.PUB**, [s.l.], 2009. Disponível em: <https://idoc.pub/queue/confiabilidade-e-manutencao-industrialpdf-vnd5wj7z9lx>. Acesso em: 30 jul. 2023.
- FRASER, K.; HVOLBY, H. H.; TSENG, T. L. (B) Maintenance management models: a study of the published literature to identify empirical evidence: A greater practical focus is needed. **International Journal of Quality & Reliability Management**, [s.l.], v. 32, n. 6, p. 635-664, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2013-0185>. Acesso em: 30 jul. 2023.
- GARCÍA MÁRQUEZ, F. P. *et al.* Condition monitoring of wind turbines: Techniques and methods. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 46, p. 169-178, out. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148112001899?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2023
- GARG, A.; DESHMUKH, S. G. Maintenance management: literature review and directions. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 205-238, 1 jul. 2006.

GOEKING, W. Da máquina à vapor aos softwares de automação. **O Setor Elétrico**, p. 70-77, maio de 2010. Disponível em: https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/memoria_maio_10.pdf. Acesso em: 30 jul. 2023.

IEDI – INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial**. Edição 968, 2019. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_968.html. Acesso em: 30 jul. 2023.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. rev. e ampliada. Rio de Janeiro: Qualymark, 2009.

LIMA; J. R. T. de; SANTOS, A. A. B.; SAMPAIO, R. R. Sistemas de Gestão da Manutenção – Uma Revisão Bibliográfica Visando Estabelecer Critérios para Avaliação de Maturidade. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, São Carlos, SP, Brasil. 12 a 15 out. 2010. **Anais [...]**. São Carlos, SP, 2010. Disponível em: <http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/bitstream/fieb/429/1/Sistemas%20de%20gest%C3%A3o%20....pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.

MARTÍN-MARTÍN, A. *et al.* Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. **Journal of Informetrics**, [s.l.], v. 12, n. 4, p. 1.160-1.177, nov. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157718303249>. Acesso em: 20 jul. 2023.

MARINELLI, I. Da preventiva à preditiva, a evolução da gestão da manutenção. **Revista Manutenção**, [s.l.], 1º jul. 2021. Disponível em: <https://www.revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/manutencao/entenda-a-evolucao-da-manutencao-preditiva.html>. Acesso em: 30 jul. 2023.

MONCHY, F. **A Função Manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial**. São Paulo: Ebras Editora Brasileira Ltda., 1989.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**, 3. ed. New York, NY: John Wiley & Sons Inc., 2002.

MOREIRA, P. S. C.; GUIMARÃES, A. J. R.; TSUNODA, D. F. Qual ferramenta bibliométrica escolher? Um estudo de comparativo entre softwares. **P2P & Inovação**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 140-158, 2020. Disponível em: <https://revista.ibict.br/p2p/article/view/5098>. Acesso em: 20 jul. 2023.

MORTELARI, D.; SIQUEIRA, K.; PIZZATI, N. **O RCM na quarta geração da manutenção de ativos**. São Paulo: RG Editores, 2011.

NOVAK, D.; BATKO, M. Metric Index: An Efficient and Scalable Solution for Similarity Search. In: SECOND INTERNATIONAL WORKSHOP ON SIMILARITY SEARCH AND APPLICATIONS (SISAP). Prague, Czech Republic, ago. 2009. **Anais [...]**. Prague, Czech Republic, 2009. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5272384/>. Acesso em: 30 out. 2022.

PAIS, E.; FARINHA, J. T.; RAPOSO, H. ISO 55001 – Gestão de Activos. In: 15º CONGRESSO NACIONAL DE MANUTENÇÃO, 21 e 22 de novembro de 2019, **Altice Forum Braga**. Braga, Portugal, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339363909_ISO_55001_-_Gestao_de_Activos. Acesso em: 9 jul. 2023.

PESCHERINE, T. F. A Case Study in the Application of Integrated Maintenance Management to a Limited Development Program. In: IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, v. AES-2, n. 4, p. 271-280, July, 1966. **Anais [...]**. [S.l.], 1966. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4501850>. Acesso em: 20 jun. 2023.

- RAJORA, G. L.; SANZ-BOBI, M. A.; DOMINGO, C. M. Application of Machine Learning Methods for Asset Management on Power Distribution Networks. **Emerging Science Journal**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 905-920, 31 maio, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/361112378_Application_of_Machine_Learning_Methods_for_Asset_Management_on_Power_Distribution_Networks. Acesso em: 10 jul. 2023.
- RAUSAND, M.; HØYLAND, A. **System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications**. 2. ed. Nova York: John Wiley, 2003. 664p.
- RÊGO, S. A. T. G.; SOUZA, L. M. D.; JUIZ, P. J. L. Análise Exploratória de Patentes Relacionadas a Softwares de Gestão Estratégica. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 11, n. 5, p. 1.765-1.774, dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/27622>. Acesso em: 20 abr. 2024
- SUSTO, G. A. *et al.* Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifier Approach. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 812-820, jun. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277723565_Machine_Learning_for_Predictive_Maintenance_A_Multiple_Classifier_Approach. Acesso em: 10 jul. 2023.
- SWANSON, L. Linking maintenance strategies to performance. **International Journal of Production Economics**, [s.l.], v. 70, n. 3, p. 237-244, abr. 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527300000670?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- THOMAZ, P. G.; ASSAD, R. S.; MOREIRA, F. F. P. Uso do Fator de Impacto e do Índice H para Avaliar Pesquisadores e Publicações. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, [s.l.], v. 96, n. 2, p. 90-93, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abc/v96n2/v96n2a01.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- TSANG, A. H. C. Strategic dimensions of maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 7-39, 1º mar. 2002. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/13552510210420577/full/html>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- VIANA, H. R. G. **PCM: Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- WU, D. *et al.* A Comparative Study on Machine Learning Algorithms for Smart Manufacturing: Tool Wear Prediction Using Random Forests. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, [s.l.], v. 139, n. 7, p. 071018, 1º jul. 2017. Disponível em: <https://asmedigitalcollection.asme.org/manufacturingscience/article/139/7/071018/454654/A-Comparative-Study-on-Machine-Learning-Algorithms>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- WIENKER, M.; HENDERSON, K.; VOLKERTS, J. The Computerized Maintenance Management System an Essential Tool for World Class Maintenance. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 138, p. 413-420, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816004641?via%3Dihub>. Acesso em: 25 jun. 2023.
- YAM, R. C. M. *et al.* Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [s.l.], v. 17, n. 5, p. 383-391, 1º fev. 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s001700170173>. Acesso em: 27 jul. 2023.

ZAMPOLLI, M. **Gestão de Ativos**: Guia para aplicação da norma ABNT NBR 55001 considerando as diretrizes da ISO 55002:2018. 2. ed. [S.l.]: International Copper Association Brazil, 2019. Disponível em: <http://abcobre.org.br/wp-content/uploads/2021/06/gestao-de-ativos-guia-para-a-aplicacao-da-iso-55001.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2023.

Sobre os Autores

Olnei Martins de Lisboa

E-mail: olneimlis@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2929-1591>

Bacharel em Engenharia de Produção pela Universidade Centro de Ensino Superior de Maringá em 2023.

Endereço profissional: Av. Getúlio Vargas, n. 54, Centro, Caetité, BA. CEP: 46400-000.

Jonei Marques da Costa

E-mail: jonei.costa@ifba.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1007-6047>

Doutor em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia em 2021.

Endereço profissional: Av. Centenário, n. 500, Nazaré, Jacobina, BA. CEP: 44700-000.

Ângela Maria Ferreira Lima

E-mail: angela.lima@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3925-7463>

Doutora em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia em 2017.

Endereço profissional: Rua Emídio dos Santos, s/n, Barbalho, Salvador, BA. CEP: 400301-015.