

Aplicação da manutenção oportuna: uma revisão sistemática da literatura



MARIANA SOUZA MENEZES (Universidade Federal de Pernambuco)
m.s.menezes@random.org.br

EUGENIO AFONSO DE SOUZA FISCHETTI (Universidade Federal de Pernambuco)
e.a.s.fischetti@random.org.br

RAFAEL GOMES NOBREGA PAIVA (Universidade Federal de Pernambuco)
r.g.n.paiva@random.org.br

CRISTIANO ALEXANDRE VIRGÍNIO CAVALCANTE (Universidade Federal de Pernambuco)
c.a.v.cavalcante@random.org.br

A crescente complexidade das instalações e operações industriais, junto com o crescimento da conscientização pública para garantir níveis mais elevados de segurança, coloca uma grande pressão sobre o planejamento da manutenção, de maneira a encontrar soluções inovadoras com o objetivo de garantir a segurança, bem como tornar as operações economicamente viáveis. Nessa conjuntura, a manutenção oportuna tem ganhado, cada vez mais, visibilidade por proporcionar uma melhor confiabilidade aos sistemas de manufatura, fazendo com que diversos estudos se voltem para a modelagem desta por impactar diretamente na minimização dos custos e do tempo de inatividade (downtime). Por meio dessa premissa, este artigo construiu uma revisão da literatura sobre a aplicação da manutenção oportuna, tendo uma amostra de 211 artigos para o levantamento dos indicadores bibliométricos. Dentre estes, trabalhos como Bevilacqua e Braglia (2000) e Colledani et. al (2014) ganham destaque com um grande número de citações em periódicos. Além disso, percebe-se que trabalhos mais recentes exploram a manutenção oportuna em problemas relacionados com energia eólica. Desta forma, este estudo deu ênfase às principais áreas de estudos, apresentando algumas percepções das produções científicas e dos possíveis gaps na temática proporcionando um direcionamento para pesquisas futuras.

Palavras-chave: planejamento da manutenção, manutenção oportuna, manutenção oportunística, revisão da literatura, VOSviewer.

1. Introdução

Atualmente é esperado que o desempenho de serviços e de bens de consumo corresponda às expectativas dos consumidores agregando qualidade. A ocorrência de erros funcionais precoces e imprevistos pode acarretar riscos à segurança, bem como gerar reclamações e perdas de clientes. Além de assegurar aspectos de segurança, a alta concorrência de mercado e a exigência dos consumidores têm incitado as empresas a minimizarem taxas de falhas e estabelecerem maiores prazos de garantias (CHEMWENO *et al.*, 2016).

Diante dessa perspectiva, pode-se afirmar que a qualidade está inter-relacionada com a confiabilidade dos processos e produtos (FOGLIATO & RIBEIRO, 2009). Já que, segundo Smith & Hinchcliffe (2004) a confiabilidade diz respeito à probabilidade de um dispositivo executar satisfatoriamente uma determinada função por um determinado período de tempo e sob condições operacionais pré-definidas.

Nesse sentido, a fim de melhorar a confiabilidade dos sistemas e prevenir a ocorrência de falhas prematuras, as organizações têm voltado esforços ao desenvolvimento e implementação de estratégias ótimas de manutenção capazes de reduzir os custos de manutenção e aumentar a disponibilidade dos sistemas (WANG, 2002), além de diminuir o desperdício de recursos, pois muitas vezes a manutenção é realizada sem que haja necessidade naquele momento.

Mediante essa perspectiva, a estratégia de manutenção oportuna surge como uma solução para esse desperdício, visto que visa a coleta, investigação e planejamento prévio de atividades com o objetivo de gerar um conjunto de tarefas de manutenção para agir no surgimento de uma oportunidade (DAY & GEORGE, 1982). Tendo um impacto direto na redução do *downtime* (tempo de inatividade), na utilização de recursos e diminuição dos custos de manutenção, além de aumentar a segurança das operações.

A partir dessas circunstâncias, é crescente o interesse de pesquisas na área de políticas de manutenção e estas vêm sendo aplicadas a diversas áreas além da industrial, como, construção civil, sistemas de serviços, área de saúde, setor militar, entre outros (WANG, 2012).

Assim sendo, de maneira a proporcionar uma melhor confiabilidade ao sistema, principalmente os de multicomponentes, vários estudos têm se voltado para modelagem direcionada a manutenção oportuna (*opportunistic maintenance - OM*). O motivo é a dependência econômica, já que a ação voltada para manutenção oportuna pode exigir menos custo e tempo (WANG & PHAM, 2006).

Fundamentado nessas premissas e constatações, este trabalho propõe-se a estudar os desenvolvimentos propostos pela Academia no eixo temático da Manutenção Oportuna em

Sistemas de Manufatura, também conhecidos como multicomponentes, através de uma metodologia do tipo Revisão da Literatura. Deste modo, na seção seguinte, será apresentada uma visão geral acerca de alguns conceitos fundamentais na aplicação da Manutenção, juntamente com uma breve conceituação dos sistemas de manufatura. Já na seção 3, será exposto um breve estudo das principais áreas em desenvolvimento no tema. Por sua vez, na seção 4, resultados e indicadores da revisão da literatura são apresentados e analisados, para melhor embasamento da pesquisa. E, finalmente, a seção 5 será concluída com alguns *insights* resultantes do estudo realizado.

2. Conceitos fundamentais

2.1. Manutenção

Ahmad & Kamaruddin (2012) definem a manutenção como um conjunto de atividades ou tarefas usadas para restaurar um item a um estado no qual ele pode executar suas funções designadas. Adicionalmente, Mohamed *et al.* (2019) afirma que a filosofia da manutenção evoluiu nas últimas décadas da estratégia conservadora de “usar até a falha” para uma alternativa mais econômica.

Deste modo, a manutenção, apesar de já ter sido considerada um mal necessário, representa atualmente uma importante função para o desenvolvimento e competitividade das empresas, sobretudo no segmento industrial (PINTELON; PARODI-HERZ, 2008). Isso se deve pela busca por uma melhor utilização dos recursos na indústria, como matérias-primas, mão-de-obra e tecnologia, logo, a partir da década de 50 do século XX, iniciou-se uma procura da minimização dos custos de manutenção, este processo passa por várias etapas.

Assim sendo, as décadas de 1950 e 1960 datam os primeiros estudos relacionados ao gerenciamento da manutenção. Estes têm por base a manutenção preventiva, isto é, visavam a redução de falhas e do tempo de parada do sistema. Em meados de 1970, a abordagem do monitoramento da condição começou a ganhar destaque no âmbito acadêmico. Esta, foca em técnicas de predição que preveem falhas usando informação do estado atual do equipamento. Já na década de 1980, o computador começa a possuir papel fundamental na manutenção. Dos anos 2000 até os dias atuais, vem se destacando o uso de sensores e de controladores. Tais elementos possibilitam o fornecimento de uma gama considerável de dados (DEKKER, 1996; GRABOT, 2020).

Com isso, a manutenção ganhou um enfoque estratégico antes ignorado e atualmente indispensável para indústrias dos mais variados campos de atuação. Wang (2012) afirma que a

manutenção é uma função que opera em paralelo à produção e pode trazer um grande impacto na capacidade produtiva e na qualidade dos produtos. De acordo com o estudo de Mobley (2002), entre 15% e 45% do custo total de produção é atribuído às atividades de manutenção em uma fábrica. Löfsten (2000) e Park e Han (2001) acrescentam que após os custos de energia, os custos de manutenção possuem a maior parcela no orçamento operacional.

Em sistemas produtivos, a manutenção preventiva de determinados componentes críticos pode ser realizada em paradas de reparo ou substituição de outras peças ou subsistemas. Assim, é possível obter um custo inferior ou um número menor de interrupções do que a manutenção preventiva programada. Isto caracteriza a política de manutenção oportuna ou oportunística. (CAVALCANTE; LOPES; SCARF, 2018)

2.2. Manutenção oportuna

Day & George (1982) definem que a manutenção oportuna é um método sistemático de coleta, investigação e planejamento prévio, de atividades, com objetivo de gerar um conjunto de tarefas de manutenção para agir no surgimento de uma oportunidade. A literatura apresenta que pode haver dois tipos de manutenção oportuna (OM) uma é a política de OM baseada em funções e outra que se baseia em regras (Zhou & Shi 2019).

Posto isto, a oportunidade pode ser relacionada a ações preventivas ou corretivas de manutenção que resultem em um oportunidade para ação em outro componente, ou alguma parada da planta, por outro motivo que não seja relacionado a manutenção (CAVALCANTE; LOPES; SCARF, 2018).

Nessa perspectiva, Ab-Samat & Kamaruddin (2014) afirmam que o foco da implementação da manutenção oportuna é prever as frequências relativas de uma variedade de ações de manutenção como inspeção e substituição de componentes com falha em um sistema.

Geralmente, existem dois objetivos principais para a aplicação da manutenção oportunista: 1. estender a vida útil do equipamento ou pelo menos o tempo médio para a próxima falha cujo reparo pode ser custoso. Espera-se que esta política de manutenção possa reduzir a frequência de interrupção do serviço e as consequências indesejáveis; 2. aproveitar os recursos, esforços e tempo já dedicado à manutenção de outras peças no sistema a fim de reduzir custos (SAMHOURI, 2009).

Complementarmente, diversos estudos aplicam a política oportunística para otimizar ações de manutenção de componentes utilizando parada de outros subsistemas (CAVALCANTE; LOPES; SCARF, 2018; DEKKER; SMEITINK, 1991; WILDEMAN; DEKKER; SMIT, 1997).

A manutenção oportuna é aplicada a sistemas multicomponentes e muitas vezes é descrita como uma combinação de ações de manutenção corretiva e preventiva. Do ponto de vista prático, a política de manutenção oportuna é bastante significativa, pois a maioria dos sistemas são multicomponentes e muitas vezes há algum tipo de dependência entre os componentes (Vergin & Scriabin, 1977)

3. Principais áreas de aplicação da manutenção oportuna

Políticas de manutenção ótimas estão sendo desenvolvidas ao longo das últimas décadas por meio de diferentes técnicas e métodos., visando proporcionar ao sistema uma maior disponibilidade e confiabilidade, bem como, a minimização dos custos de manutenção (WU; CLEMENTS-CROOME, 2005).

Em um dos primeiros estudos voltados para a utilização do conceito de manutenção oportuna, Zheng & Fard (1991) propuseram uma estratégia de substituição que fornece referência para a substituição simultânea de múltiplos componentes estabelecendo o intervalo de manutenção oportuna.

Laggoune *et al.* (2009) propuseram uma política de manutenção oportuna de maneira a otimizar as ações preventivas para um sistema multicomponentes sujeito a falhas aleatórias, onde a taxa de custo é minimizada sob distribuição geral do tempo de vida do sistema. Xiao-jun *et. al* (2010) abordaram o uso da manutenção oportuna preventiva para uma unidade multi-sistemas, onde sempre que um componente atinge um limite de confiabilidade uma ação de manutenção preventiva tem que ser executada, o que gera a oportunidade para ação de manutenção preventiva em outros componentes.

No geral, o objetivo da OM é reduzir o *downtime* para as máquinas e maximizar o tempo de vida ou a confiabilidade dos componentes simultaneamente (AB-SAMAT & KAMARUDDIN, 2014). Zhou & Shi (2019) afirmam que a manutenção oportuna é mais adequada para sistemas que as estações estão em série ou em série-paralelo e realizam diferentes atividades de produção. E, geralmente, essas estações são estruturadas de forma dependente por causa de sua configuração em série.

Considerando a dependência do *downtime* de um sistema multicomponentes Peng & Zhu, (2017) propuseram uma política de manutenção oportunista unificada para sistemas sob uma combinação de diferentes políticas de manutenção individuais. Outra aplicação desta política oportunística é a manutenção de um subsistema de

engarrafamento em uma linha de produção de refrigerantes quando o suprimento de água fria é perdido devido à falha da bomba (WANG; SCARF; SMITH, 2000). Ou seja, a intenção da parada foi corrigir o problema da bomba, no entanto, a equipe responsável utilizou tal evento como oportunidade de manutenção do subsistema de engarrafamento.

Antomarioni *et al.* (2019) desenvolveu uma política de manutenção oportuna a partir de análises de regras de associação entre dados de paradas de uma usina de refinaria de petróleo e quebras de componentes específicos dentro de um determinado intervalo de tempo para auxiliar a decisão de um gestor de manutenção na escolha de ações corretivas e preditiva. Adicionalmente, este tipo de política foi desenvolvido e aplicado em diversos outros sistemas técnicos, como por exemplo, em infraestrutura de ferrovias (GARAMBAKI; SENEVIRATNE; KUMAR, 2016), em sistemas de cogeração (CAVALCANTE; LOPES, 2015), sistemas de transporte portuário (XIA *et al.*, 2017), em turbinas eólicas (YILDIRIM; GEBRAEEL; SUN, 2017) e em usina nuclear (NILSSON *et al.*, 2009). Neste último, os autores propõem um modelo para otimização de manutenção oportuna em um sistema de bombeamento de água em uma usina nuclear que é um sistema crítico para a disponibilidade da planta.

4. Análise Bibliométrica da literatura

Para a realização da Análise Bibliométrica, escolheu-se a base de dados ISI *Web of Knowledge* (WoS). Com isso, para se obter uma visão ampla dos trabalhos que englobam os conceitos de manutenção de oportuna, fez-se a busca através da lógica do algoritmo booleano. Desta forma os termos de busca utilizados foram: (“*opportunistic maintenance*” OR “*opportunity maintenance*”); depois disso fez-se a filtragem para obter apenas artigos científicos. Com isso, obteve-se uma amostra com 211 artigos. A pesquisa foi realizada na base de dados no dia 19 de Maio de 2021.

Definiu-se que as principais ferramentas metodológicas a serem aplicadas no refinamento da pesquisa são o *Microsoft Excel* e o *VOSviewer*. A primeira ferramenta foi utilizada a fim de tratar, sintetizar e caracterizar os resultados obtidos, além de elaborar gráficos de análise do conteúdo. Enquanto que o *VOSviewer* foi utilizado para realizar a análise de rede dos dados.

4.1 Caracterização da amostra

O primeiro artigo encontrado na base de dados foi publicado no ano de 1992 e até o ano de 2015 não haviam tantos estudos por ano que explorassem a manutenção oportuna. Porém, como pode ser visto na Figura 1, entre os anos de 2016 e 2017 a temática gerou muito mais interesse nos pesquisadores e nas revistas científicas. Além disso, vale ressaltar que o gráfico evidencia um decréscimo no ano de 2021, porém como a amostra foi realizada em maio/21 espera-se que ao final do ano de 2021 o número de publicações seja equivalente, ou maior, aos dois anos anteriores.

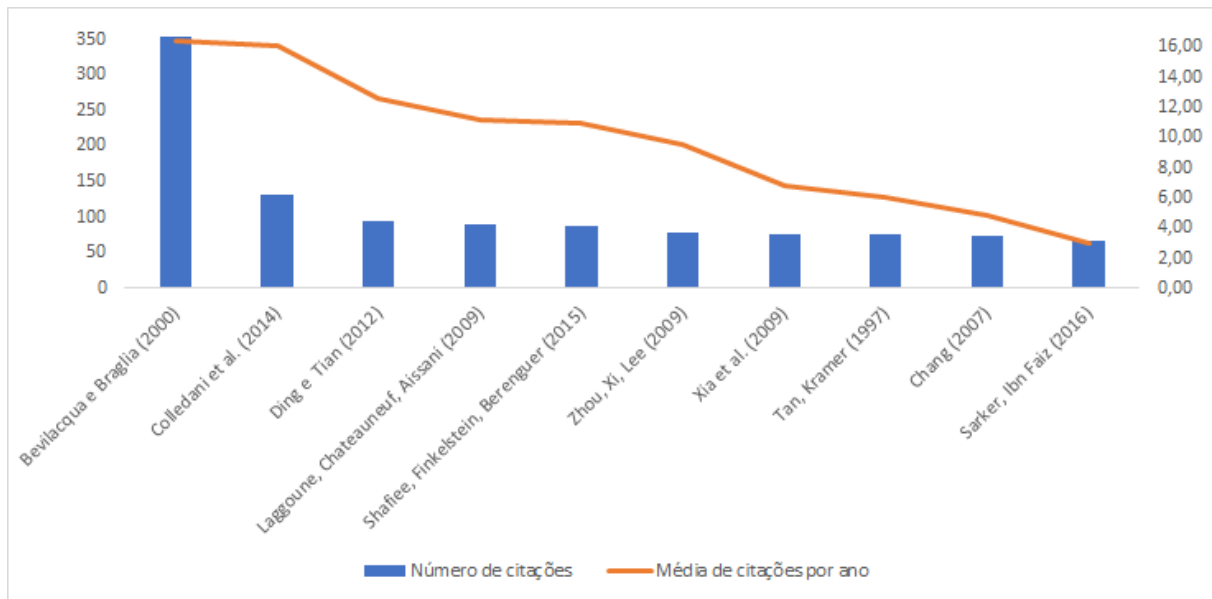
Figura 1 - Número de publicações por ano



Fonte: Autores (2021)

Quanto aos trabalhos mais citados, a Figura 2 traz visualmente o número total de citações que cada trabalho recebeu, bem como o número médio de citações por ano obtido. Percebe-se então que o trabalho de Bevilacqua e Braglia (2000) possui grande relevância na temática visto que desde a sua publicação já obteve 352 citações. Além disso, Colledani *et al.* (2014) também merece destaque pois possui um número médio de citações de 16,38 por ano. Esse tipo de análise é importante dado que é capaz de orientar o pesquisador e torná-lo capaz de verificar os trabalhos mais relevantes acerca da temática explorada.

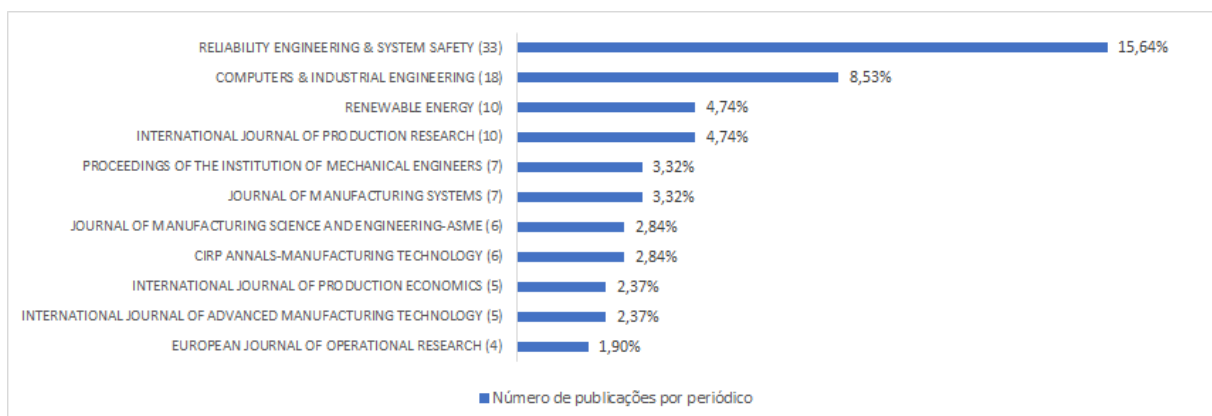
Figura 2 - Trabalhos mais citados da amostra



Fonte: Autores (2021)

No que concerne ao número de publicações por periódico, a Figura 3 traduz visualmente o número absoluto e percentual dos periódicos que mais publicam trabalhos que envolvem manutenção oportuna. Assim, vê-se que a revista *RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY* possui destaque, uma vez que possui seus 33 trabalhos publicados representando 15,64% da amostra. Além disso, o periódico *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING* possui grande relevância pois possui 18 trabalhos publicados, representando 8,53% da amostra. Este tipo de análise é importante pois é capaz de mostrar o mútuo interesse que pesquisadores e periódicos possuem pela temática de manutenção oportuna.

Figura 3 - Principais periódicos com publicações da amostra



Fonte: Autores (2021)

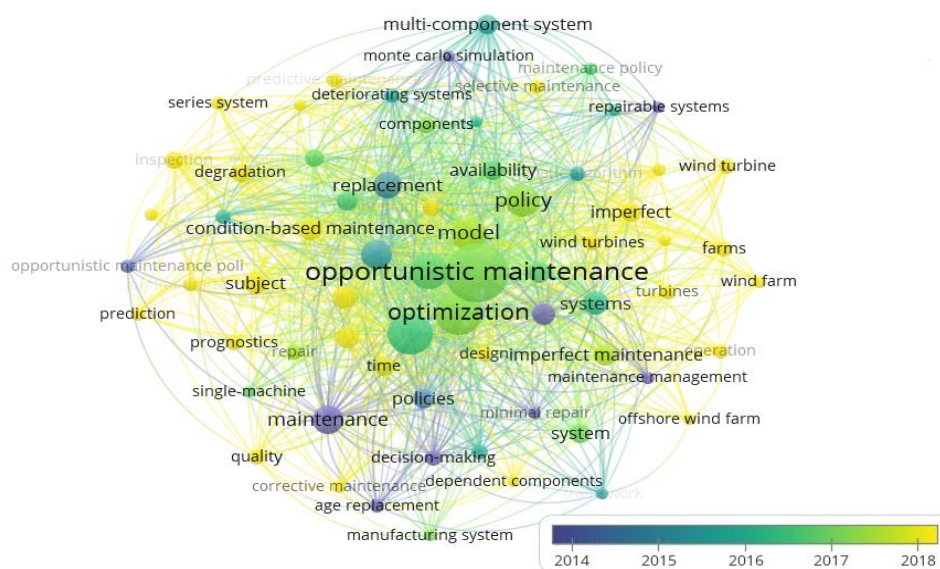
4.2 Análise de redes de dados

Através do software *VOSviewer* foi realizada a análise de rede dos dados da amostra para as principais palavras chaves a fim de observar quais os principais termos usados na busca destes trabalhos e as ligações entre eles.

Para isso, foi criado um mapa baseado nos dados bibliográficos, selecionando os dados da amostra final de 211 trabalhos. O tipo de análise selecionado foi de “*co-ocorrência*”, o método de contagem foi “*full counting*” e a unidade de análise foi “*author keywords*”. Optou-se por um mínimo de ocorrências de palavras-chave igual a 3, para que o mapa mostrasse todos os termos que aparecem em pelo menos 3 trabalhos. Ao final foram identificadas 68 palavras-chave e o mapa de dados foi criado no modo “*overlay visualization*”, onde é possível analisar a evolução dos termos utilizados ao longo dos anos (ver Figura 4).

Com isso, o termo “*opportunistic maintenance*” possui maior incidência como já esperado visto que é um dos termos utilizados na busca e geração da amostra. Além disso, percebe-se uma forte aparição das palavras “*optimization*”, “*model*”, “*system*”, “*imperfect*” e “*availability*”. Além disso, percebe-se uma forte tendência de trabalhos que exploram a manutenção oportuna no contexto da energia eólica, pois nota-se a aparição de termos recentes como “*wind farm*”, “*wind turbine*” e “*offshore wind farm*”.

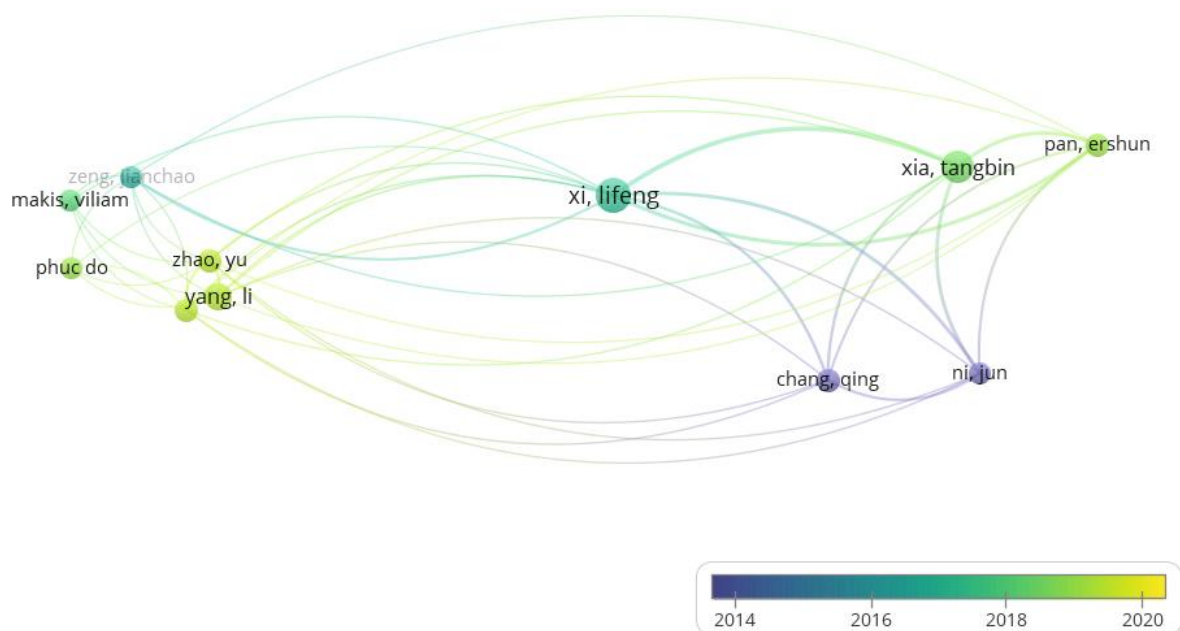
Figura 4 - Mapa de dados bibliográficos das principais palavras-chave da amostra



Fonte: Autores (2021)

Além disso, a fim de identificar os autores mais citados da amostra, a análise selecionada foi de “*co-ocorrência*”, e a unidade da análise “*Authors*”. Então com uma incidência de mínima de 5 aparições, os autores mais citados foram: Xi, Lifeng; Xia, Tangbin; Pan, Ershun; Ni, Jun; Chang, Qing; Ma, Xiaobing; Yang, Li; Zhao, Jianchao; Makis, Viliam e Phuc Do. Este último, conforme Figura 5, tem recebido maior número de citações nos últimos anos.

Figura 5 - Mapa dos autores mais citados da amostra



Fonte: Autores (2021)

5. Conclusões

O presente estudo demonstrou que Manutenção oportuna é um tema que está ganhando relevância na academia nas últimas décadas, com a evolução dos estudos em manutenção pode-se observar a aplicação de planejamento e políticas voltadas a sistemas multi-componentes e estes proporcionam que dado que um subsistema necessita de uma ação de intervenção outro subsistema pode ser reparado ou substituído com custo reduzido e com melhor aproveitamento da mão de obra.

Através da análise bibliométrica pode-se afirmar que o tema ganhou maior relevância nos últimos cinco anos dado o número crescente de publicações realizadas. Destacam-se os artigos de Bevilacqua e Braglia (2000) e Colledani *et al.* (2014) pelo elevado número de citações por

ano. Os periódicos com maior número de estudos realizados nesta temática são *RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY* e *COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING*. Nos termos mais citados destaca-se *Optimization* e nos trabalhos mais recentes nota-se a exploração da manutenção oportuna em problemas relacionados com energia eólica dada a ocorrência dos termos: *wind turbine, wind farm e offshore wind farm*.

Para futuros trabalhos, é recomendável uma análise qualitativa dos artigos relacionados a este tema, investigando as formas de otimização, tipos de indústrias que possuíram mais estudos de casos, quais ações de manutenção além da oportunidade foram incluídas no planejamento ou política de manutenção, entre outros aspectos.

Por fim, a manutenção oportuna é um tema de crescente interesse da academia, pois os sistemas fabris estão cada vez mais complexos e utilizar essa ação de manutenção dentro do planejamento proporciona uma redução de custos, uma melhor utilização da força de trabalho e um menor tempo de inatividade do sistema (*downtime*).

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Agência Nacional de Petróleo (ANP).

REFERÊNCIAS

AB-SAMAT, Hasnida; KAMARUDDIN, Shahrul. Opportunistic maintenance (OM) as a new advancement in maintenance approaches: A review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 2014.

BEVILACQUA, Maurizio; BRAGLIA, Marcello. The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 70, n. 1, p. 71-83, 2000.

CAVALCANTE, Cristiano AV; LOPES, Rodrigo S. Multi-criteria model to support the definition of opportunistic maintenance policy: A study in a cogeneration system. **Energy**, v. 80, p. 32-40, 2015.

CAVALCANTE, Cristiano AV; LOPES, Rodrigo Sampaio; SCARF, Philip A. A general inspection and opportunistic replacement policy for one-component systems of variable quality. **European Journal of Operational Research**, v. 266, n. 3, p. 911-919, 2018.

CHANG, Qing *et al.* Maintenance opportunity planning system. **Journal of Manufacturing Science and Engineering-Transactions of The Asme**, v. 129, p. 661-668, 2007.

CHEMWENO, Peter et al. i-RCAM: Intelligent expert system for root cause analysis in maintenance decision making. In: **2016 IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM)**. IEEE, 2016. p. 1-7.

COLLEDANI, Marcello et al. Design and management of manufacturing systems for production quality. **Cirp Annals**, v. 63, n. 2, p. 773-796, 2014.

GEORGE, L. L.; DAY, J. A. Opportunistic replacement of fusion power system parts. In: **Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, CA**. 1982.

DEKKER, Rommert. Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. **Reliability engineering & system safety**, v. 51, n. 3, p. 229-240, 1996.

DEKKER, Rommert; SMEITINK, Eric. Opportunity-based block replacement. **European Journal of Operational Research**, v. 53, n. 1, p. 46-63, 1991.

DING, Fangfang; TIAN, Zhigang. Opportunistic maintenance for wind farms considering multi-level imperfect maintenance thresholds. **Renewable Energy**, v. 45, p. 175-182, 2012.

ELSAYED, ELSAYED A. System reliability engineering. **Reading, Massachusetts: Addison Wesley Longman**, 1996.

FOGLIATO, Flávio; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Elsevier Brasil, 2009.

GARAMBAKI, A. H. S. et al. Opportunistic inspection planning for railway emaintenance. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 28, p. 197-202, 2016.

GRABOT, Bernard. Rule mining in maintenance: Analysing large knowledge bases. **Computers & Industrial Engineering**, v. 139, p. 105501, 2020.

LAGGOUNE, Radouane; CHATEAUNEUF, Alaa; AISSANI, Djamil. Opportunistic policy for optimal preventive maintenance of a multi-component system in continuous operating units. **Computers & Chemical Engineering**, v. 33, n. 9, p. 1499-1510, 2009.

LÖFSTEN, Hans. Measuring maintenance performance—in search for a maintenance productivity index. **International Journal of Production Economics**, v. 63, n. 1, p. 47-58, 2000.

MOBLEY, R. Keith. **An introduction to predictive maintenance**. Elsevier, 2002.

MOHAMED, Ramuna; CHE HASSAN, Che Rosmani; HAMID, Mahar Diana. Critical success factors of risk-based inspection. **Process Safety Progress**, v. 38, n. 1, p. 4-20, 2019.

NILSSON, Julia et al. An opportunistic maintenance optimization model for shaft seals in feed-water pump systems in nuclear power plants. In: **2009 IEEE Bucharest PowerTech**. IEEE, 2009. p. 1-8.

PARK, Kyung Soo; HAN, S. W. TPM—total productive maintenance: impact on competitiveness and a framework for successful implementation. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 11, n. 4, p. 321-338, 2001.

PINTELON, Liliane; PARODI-HERZ, Alejandro. Maintenance: an evolutionary perspective. In: **Complex system maintenance handbook**. Springer, London, 2008. p. 21-48.

SAMHOURI, Murad S. An intelligent opportunistic maintenance (OM) system: a genetic algorithm approach. In: **2009 IEEE Toronto international conference science and technology for humanity (TIC-STH)**. IEEE, 2009. p. 60-65.

SARKER, Bhaba R.; FAIZ, Tasnim Ibn. Minimizing maintenance cost for offshore wind turbines following multi-level opportunistic preventive strategy. **Renewable Energy**, v. 85, p. 104-113, 2016.

SHAFIEE, Mahmood; FINKELSTEIN, Maxim; BÉRENGUER, Christophe. An opportunistic condition-based maintenance policy for offshore wind turbine blades subjected to degradation and environmental shocks. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 142, p. 463-471, 2015.

SHEARD, Sarah A.; MOSTASHARI, Ali. A complexity typology for systems engineering. **20th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering, INCOSE 2010**, v.2, pp.933-945, 2010.

SMITH, A. M.; HINCHICLIFFE, G.R. **RCM gateway to world class maintenance**. Oxford: Linacre House, Jordan Hill, 336p., 2004.

TAN, Jonathan S.; KRAMER, Mark A. A general framework for preventive maintenance optimization in chemical process operations. **Computers & Chemical Engineering**, v. 21, n. 12, p. 1451-1469, 1997.

VERGIN, Roger. C.; SRIABIN, Michael. Maintenance scheduling for multicomponent equipment. **AIIE Transactions**, v.9, pp.297-305, 1977.

WANG, Hongzhou. A survey of maintenance policies of deteriorating systems. **European journal of operational research**, v. 139, n. 3, p. 469-489, 2002.

WANG, Hongzhou; PHAM, Hoang. Availability and maintenance of series systems subject to imperfect repair and correlated failure and repair. **European Journal of Operational Research**, v. 174, n. 3, p. 1706-1722, 2006.

WANG, Wenbin. An overview of the recent advances in delay-time-based maintenance modelling. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 106, p. 165-178, 2012.

XIA, Tangbin et al. Reconfiguration-oriented opportunistic maintenance policy for reconfigurable manufacturing systems. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 166, p. 87-98, 2017.

XIA, Tangbin et al. Production-driven opportunistic maintenance for batch production based on MAM-APB scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 240, n. 3, p. 781-790, 2015.

YILDIRIM, Murat; GEBRAEEL, Nagi Z.; SUN, Xu Andy. Integrated predictive analytics and optimization for opportunistic maintenance and operations in wind farms. **IEEE Transactions on power systems**, v. 32, n. 6, p. 4319-4328, 2017.

ZHENG, Xitong; FARD, Nasser. A maintenance policy for repairable systems based on opportunistic failure-rate tolerance. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 40, n. 2, p. 237-244, 1991.

ZHOU, Yi. **Deterioration and optimal rehabilitation modelling for urban water distribution systems**. CRC Press, 2018.

ZHOU, Yifan et al. Asset life prediction using multiple degradation indicators and lifetime data: a gamma-based state space model approach. In: **2009 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety**. IEEE, 2009. p. 445-449.

ZHOU, Xiao-jun *et al.*. Opportunistic preventive maintenance optimization for multi-unit series systems with combing multi-preventive maintenance techniques. **Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)**, v. 15, n. 5, p. 513-518, 2010.

ZHOU, Xiaojun; SHI, Kailong. Capacity failure rate based opportunistic maintenance modeling for series-parallel multi-station manufacturing systems. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 181, p. 46-53, 2019.

ZHOU, Xiaojun; XI, Lifeng; LEE, Jay. Opportunistic preventive maintenance scheduling for a multi-unit series system based on dynamic programming. **International Journal of Production Economics**, v. 118, n. 2, p. 361-366, 2009.