

Sistemas computacionais aplicados em Manutenção Baseado na Confiabilidade de, em especial os Mapas Cognitivos Fuzzy Dinâmicos Simplificados

Computacionais systems Applied to Reliability-Based Maintenance of, in particular, simplified Dynamic Fuzzy Cognitive Maps

DOI:10.34117/bjdv7n10-232

Recebimento dos originais: 19/09/2021

Aceitação para publicação: 19/10/2021

Márcio Mendonça

Doutor em Engenharia Elétrica e Inf. Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil, CEP: 86300-000

E-mail: mendonca@utfpr.edu.br

Ivan Rossato Chrun

Engenharia Elétrica e Inf. Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Instituição: Universidade Estadual de Maringá

Endereço: Av. Colombo, 5790 - Zona 7, Maringá - PR, 87020-900

E-mail: ivanchrun@gmail.com

Michelle Eliza Casagrande Rocha

Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Norte do Paraná

Instituição: Universidade Norte do Paraná - Unopar, Campus Tietê/Londrina

Endereço: Rua Tietê, 1208, Jardim Tabapuã, Londrina, Paraná, Brasil, CEP: 86025-230

E-mail: melizacrocha@gmail.com

Fabio Rodrigo Milanez

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Norte do Paraná

Instituição: Universidade Norte do Paraná - Unopar, Campus Tietê/Londrina

Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil, CEP: 86300-000

E-mail: fabio.milanez1@sesisenaipr.org.br

Francisco de Assis S. Junior

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo

Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio

Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil, CEP: 86300-000

E-mail: franciscojunior@utfpr.edu.br

Marta Rúbia P. dos Santos

Especialização em Gestão Empresarial pela Faculdades Integradas de Ourinhos

Instituição: ETEC- Jacinto Ferreira de Sá, Ourinhos - SP

Endereço: Av. Antônio Almeida Leite, 913 Ourinhos - SP, 19907-000
E-mail: marta.santos71@etec.sp.gov.br

Carlos Alberto Paschoalino

Especialização em Gestão Industrial Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil, CEP: 86300-000
E-mail: paschoalino@utfpr.edu.br

Wagner Fontes Godoy

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil, CEP: 86300-000
E-mail: wagnergodoy@utfpr.edu.br

Marco Antonio Ferreira Finocchio

Mestre em Engenharia elétrica pela Universidade Estadual de Londrina
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio
Endereço: Av. Alberto Carazzai, 1640, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil, CEP: 86300-000
E-mail: mafinocchio@utfpr.edu.br

RESUMO

A indústria possui sistemas e máquinas que precisam operar dentro de parâmetros adequados para garantir a qualidade na produção (padronização, contemplação do pedido do cliente, entre outras). Além disso no atendimento dos seus clientes dentro dos tempos estabelecidos, porque o não cumprimento de prazos pode influenciar de forma significativa na perda de usuários ou na qualidade do produto, devido a necessidade de produção com tempo reduzido para fechamento de prazos. Neste contexto, é necessário manter, através da manutenção, as condições necessárias ao bom funcionamento. Assim, por meio da Manutenção Centrada na Confiabilidade com feedback quantitativo por Mapas Cognitivos Fuzzy aplicados a motores elétricos, esta pesquisa pode sugerir melhor confiabilidade. Este artigo discute a Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) em relação a uma Lista de Verificação genérica de manutenção de motores elétricos. Através das ações de manutenção para correção de falhas e, ou defeitos, pode-se modelar um FCM crítico e qualitativo que apresentará um diagnóstico quantitativo aprimorado em uma proposta de ferramenta computacional para auxiliar no gerenciamento da manutenção, agregando melhorias ao sistema da empresa de um modo geral. Isso se reforça com o crescimento da indústria 4.0.

Palavras-chave: Manutenção Centrada na Realidade, Motores Elétricos, Mapas Cognitivos Fuzzy, Análise Quantitativa.

ABSTRACT

The industry has systems and machines that need to operate within adequate parameters to guarantee quality production (standardization, contemplation of the customer's order, among others). In addition to serving its customers within the established times, failure to meet deadlines can significantly influence the loss of users or the quality of the product

due to the need for products with reduced time to close deadlines. In this context, it is necessary to maintain, through maintenance, the conditions necessary for proper functioning. Thus, through reliability-centered maintenance with quantitative feedback by Fuzzy Cognitive Maps applied to electric motors, this research can suggest better reliability. This article discusses Reliability Centered Maintenance (RCM) concerning a generic electric motor maintenance checklist. Through maintenance actions to correct faults or defects, it is possible to model a critical and qualitative FCM that will present an improved quantitative diagnosis in a proposed computational tool to assist in maintenance management, adding improvements to the company's generally speaking system. This is reinforced with the growth of industry 4.0.

Keywords: Reliability Centered Maintenance, Electric Motors, Fuzzy Cognitive Maps, Quantitative Analysis.

1 INTRODUÇÃO

O sucesso do setor industrial decorre da gestão de suas ações, especialmente se as mesmas forem essencialmente ativas em áreas como a de apoio à competitividade. Pode-se citar, dentre um conjunto de atividades a gestão da manutenção; para Tsang a evolução das técnicas e métodos de manutenção necessita priorizar estratégias atuais de operação, as expectativas de preservação ambientais e de segurança por parte da sociedade, as mudanças tecnológicas ambientais crescentes e as mudanças organizacionais (TSANG, 2002).

No contexto supracitado, tem-se como objetivo principal apresentar a metodologia MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade tendo como referência uma análise em motores elétricos. Já os objetivos específicos deste trabalho são: apresentar uma breve Fundamentação sobre Manutenção Centrada em Confiabilidade, sugerir Mapas Cognitivos Fuzzy, do inglês FCM (Fuzzy Cognitive Maps), para quantificar a confiabilidade da manutenção e fornecer um feedback ao nível de confiabilidade da manutenção. Entretanto, o FCM sugerido ainda está como no nível de crença, ou seja, está de acordo com a visão dos especialistas ou experts (MENDONÇA et al., 2020a).

Desse modo, para um feedback efetivo o mesmo deverá ser validado, como ocorre em ferramentas computacionais inteligentes (PAPAGEORGIU, 2014). E, poderá ainda necessitar de mudanças na sua estrutura em conformidade com a política de manutenção de cada empresa ou indústria.

Este trabalho objetiva contribuir com o gerenciamento por meio de checklist

modelado através de uma Máquina de Estados. A priori, o checklist é o documento visto com uma lista de verificação para alinhar e padronizar ações de manutenção feitas por equipes, um exemplo pode ser conferido em (MENDES; RIBEIRO, 2014). A instanciação das ferramentas sugeridas será de forma genérica em motores elétricos. Observa-se que a Máquina de Estados também segue a mesma semântica do FCM, poderá sofrer ajustes ou modificações de acordo com políticas diferentes de manutenção de cada indústria. Uma recente concepção e com crescimento objetivado pelas Indústrias é o conceito de Indústria 4.0 que pode utilizar de forma mais intensa futuramente o conceito de manutenção abordado nessa pesquisa. Entretanto o conceito da Indústria 4.0 não é escopo dessa pesquisa.

Dentre as tecnologias atuais na área de manutenção, encontra-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC ou do inglês *Realibility Centered Maintanance* – RMC (MENDES; RIBEIRO, 2014). Constitui-se em procedimentos de identificação de necessidades de manutenção em processos físicos ou industriais. Teve sua origem na indústria aeronáutica americana e está sendo utilizada em vários outros setores da economia, inclusive o de serviços, designado como Manutenção Centrada na Confiabilidade de máquinas e/ou equipamentos.

Existem trabalhos na literatura que utilizam ferramentas computacionais inteligentes e MCC. Ran et al implementou lógica Fuzzy juntamente com MCC para avaliar o risco de falha para sistemas de supressão de incêndios (co2AFS – Automatedfire system). Já o trabalho (JANIER; ZAHARIA, 2011) o monitoramento de condição (CM) é um processo que monitora a condição do equipamento ao longo de sua manutenção vida para optar pela manutenção preditiva, um tipo de manutenção circunscrita a MCC. No trabalho de Liang e Sun (LIANG; SUN, 2011) é usado a ferramenta Avaliação Sintética Fuzzy para determinar a quantificar o nível de condição de um sistema mecânico no mar, e aplicar em técnicas de MCC para avaliar a tipo certo de falhar e adotar estratégias de para prevenir novos riscos a este sistema. Outro exemplo, Dehghanian et al [7], utiliza AHP (*Analytical Hierarchical Process*) agregado com a teoria de conjuntos Fuzzy e MCC, no intuito de determinar os tipos de componentes mais críticos a serem priorizados em sistemas de distribuição de energia para um planejamento da manutenção.

De modo específico, motores elétricos e lógica Fuzzy clássica, pode-se citar Zidani et al [8] que apresenta um método para detecção de falhas em motores de indução trifásicos, reanálise da corrente nos estatores empregando diagnóstico por meio de lógica Fuzzy. Já Jarnier e Zaharia [9], utiliza lógica Fuzzy para auxiliar a decisão de manutenção

preventiva em um motor de indução, através da análise de vibração.

Neste contexto, emprego de lógica Fuzzy em MCC ou motores elétricos, essa pesquisa pretende apresentar Mapas Cognitivos Fuzzy para auxiliar no processo de gestão da manutenção de motores elétricos utilizando princípios de MCC. Desse modo, uma possível justificativa dessa análise está na aplicação de uma ferramenta que por meio de conhecimento qualitativo dos profissionais da área de manutenção poderá fornecer um feedback quanto a ocorrência de falhas e sinistros, de forma específica para motores elétricos. Essas ocorrências têm chamado à atenção de profissionais da engenharia pelos impactos que têm causado para a sociedade tanto nos aspectos econômicos, segurança das instalações, até mesmo humanos e ambientais.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Seção 2 aborda Fundamentos e Definições para um melhor entendimento da proposta dessa pesquisa. Seção 3 conceitua a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), e na Seção 4 têm-se a abordagem sobre Mapas Cognitivos Fuzzy aplicados na quantificação da manutenção de motores elétricos. E, finalmente a Seção 5 conclui e endereça futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTOS E DEFINIÇÕES DA MANUTENÇÃO

Segundo estudos apresentados pelos autores Monchy [10], Bezerra [11] e Branco Filho [12], o conceito da manutenção vem se modificando ao longo do tempo e as ações provocadas por estas mudanças podem ser claramente observadas nos artigos, pesquisas e levantamentos por eles realizados.

Uma definição do trabalho de Bezerra [11] esclarece manutenção como: “ações técnicas e administrativas que visem preservar o estado funcional de um equipamento ou sistema, ou para recolocar o equipamento ou sistema de retorno a um estado funcional no qual ele possa cumprir a função para qual foi adquirido ou projetado”.

De forma abrangente, a manutenção dos equipamentos e máquinas, tem de envolver conhecimentos técnicos e procedimentos administrativos com a função de conservar as características de funcionalidade, segurança, higiene, confiabilidade do padrão de conforto.

Desse modo, confiabilidade pode ser definido como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condição especificada, durante um dado intervalo de tempo.

Portanto, é importante destacar os conceitos de defeito e falha, estritamente relacionados à funcionalidade e confiabilidade:

- Defeito – qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos ou ocorrência em um item, pode ou não afetar o seu funcionamento como um todo, no entanto, em um período isso pode acarretar indisponibilidade de uso do equipamento em questão;

- Falha – término da capacidade de um item em desempenhar a função requerida. Depois da falha, o item terá uma pane. A falha é um evento; diferente de pane, que é um estado. Pane é o estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos.

Nos fundamentos da manutenção para um sistema de manutenção, há um conjunto de procedimentos organizados para gerenciar os serviços a serem feitos. Esta organização deve considerar as características gerais e específicas do local e/ou equipamento em que se dará a manutenção. Dentre as características a serem objeto de observação ressalta-se:

- Tipo de uso do equipamento;
- Dimensões e complexidade funcional;
- Desempenho mínimo que tal equipamento deve cumprir;
- Prazo aceitável para paradas corretivas;
- Recursos financeiros, materiais e estruturais para tal manutenção;
- Entre outros que a Engenharia ou Equipe de Manutenção envolvida julgue o que é necessário ser feito;

De um modo geral, além de conhecer as características é conveniente ter a noção dos tipos existentes de manutenção, pois isso indicará qual a melhor maneira de intervir no equipamento ou local. Os tipos de manutenção apontam para qual a intervenção mais adequada a ser realizada.

Não é escopo desse trabalho fundamentar os tipos de manutenções, e sim, uma breve definição seguida de possíveis exemplos em motores elétricos.

Já o trabalho (ALSYOUF, 2009) sugere que os métodos de manutenção podem assumir algumas formas, mostradas a seguir:

- A manutenção corretiva acontece quando há necessidade de se corrigir falha ou condição anormal por equipes de manutenção em acontecimentos já ocorridos. Como por exemplo, na indústria, uma falha de um rolamento ou curto-circuito nas bobinas dos motores. Já na manutenção preventiva as ações são efetuadas em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. Como por

exemplo, inspeções visuais nos componentes dos motores, medição de grandezas elétricas, a corrente nominal de acordo com dados de placa.

- A manutenção preditiva deverá ser feita de forma temporal, e, de acordo com especificações dos fabricantes ou análise de dados comportamentais do sistema, como por exemplo, o mesmo rolamento citado na manutenção corretiva, pode ser preventivamente substituído de acordo com especificações dos fabricantes sintonizadas com as condições de operação e trabalho dos mesmos, pode-se nesse caso até mesmo analisar o tipo de lubrificante adequado à temperatura e umidade do ambiente de trabalho dos motores, nesse caso específico dos rolamentos. De um modo geral, a previsão de falhas ou defeitos é feito através de um monitoramento preciso que antecede as paradas funcionais não previstas (PAOLETTI; HERMAN, 2015).

Existem inúmeras soluções com maior sofisticação tecnológica mencionada na literatura, como por exemplo: Um sistema de predição de alarmes com a finalidade de auxiliar a implantação de uma política de manutenção industrial e de constituir-se em uma ferramenta gerencial de apoio à tomada de decisão. Outro exemplo, de forma fundamentada, através de metodologias apropriadas, pode ser definido as políticas de manutenção adequadas a cada equipamento e aos componentes neles inseridos.

Como exemplos específicos para a área de manutenção, pode-se citar o trabalho (MOSALLAM et al., 2011), o qual apresenta uma técnica de Mineração de dados para relações não-lineares, através da identificação de desvios ou mudança de caráter nas relações identificadas, baseado em incerteza simétrica (*SU – Symmetrical Uncertainty e L-method*), objetivando a previsão de desgaste e a necessidade de manutenção.

O trabalho (YANG, 2003) propõe um método para previsão de falhas baseado em condições e plano de processamento, para manutenção preditiva. Esse método é baseado em Redes de Petri e filtros de Kalman, no qual valores dos sensores são usados como entrada para o filtro de Kalman, estimando o estado do equipamento. Uma vez que esse valor estimado ultrapassa um valor limiar, a falha é prevista, e então medidas para a execução de uma medição preventiva devem ser tomadas.

Neste contexto a proposta deste trabalho objetiva a operação sistemática gerenciada por meio de checklist centrada na confiabilidade (DEHGHANIAN et al., 2012). Desse modo, as ferramentas propostas devem ser utilizadas de forma a instruir e/ou auxiliar os profissionais de manutenção.

3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou do inglês, *Reliability Centered Maintenance* – RMC é a prática de um método estruturado que determina a melhor atuação de manutenção para um equipamento ou edificação. Estabelece uma metodologia de identificação de necessidades de manutenção em processos físicos ou industriais. Esta metodologia por ser conferida através de um *checklist* aplicado a motores elétricos cujas ações de manutenção, sugeridas nessa pesquisa, serão apresentadas na tabela 1. Maiores detalhes serão abordados no final dessa seção.

Um breve histórico, na década de 1960, a MCC ganhou “força” com publicações de levantamentos na época de 1960, que originou um documento lançado em 1978 com o título “*Reliability Centered Maintenance* – RCM”, e desde então é considerado um dos mais importantes documentos de gestão de manutenção em todos os setores da indústria, e outras áreas como, por exemplo, edificações.

Tabela 1 – *Checklist* manutenção em motores elétricos.

Item	Descrição das ações de manutenção
01	Dados da Placa do motor no ambiente
02	Verificar vibrações e ruídos fora de Norma
03	Lubrificar mancais e rolamentos
04	Medir e registrar tensão e corrente entre fases
05	Verificar situação dos tipos de lubrificantes
06	Medir e registrar a resistência de isolamento
07	Medir e registrar temperatura dos rolamentos e do bobinado dos elementos
08	Verificar e corrigir o estado dos retentores ou anel
09	Monitoramento da vibração
10	Inspeção Visual condições gerais do motor
11	Análise do circuito do motor
12	Nível de aterramento da carcaça
13	Nível de Confiabilidade da Máquina
14	Verificação dos dados de placa, como por exemplo Fator de segurança
15	Inspeção Visual quanto ao nível de sujeira, em especial graxa que pode inflamar em temperaturas acima de 60 graus

O trabalho de K. K. M. Rosita e M. V. Rada (2021), ampliou o trabalho de (Prasetyo e Rosita, 2020) neste estudo, a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) para otimizar a confiabilidade do equipamento é apresentada por meio de um *framework* desenvolvido para empresa ABC. A empresa ABC é uma empresa de manufatura bem estabelecida no Oriente Médio que já tem sua estratégia de manutenção atual para maximizar a confiabilidade de seu equipamento, mas com base nos dados coletados do SAP (Sistema de Gestão Empresarial) onde eles armazenaram

seus dados históricos de manutenção e operação, seu MTBF (*Mean Time Between Failures*) é baixo, já seu MTTR (*Mean Time To Repair*) é bem alto.

O trabalho (MENDONÇA; CHUN; ROCHA, 2017) declara que a MCC está organizada com o princípio primordial de que todas as ações de manutenção necessitam ser comprovadas, antes de sua execução. O parâmetro de comprovação deve condizer com disponibilidade, segurança, economia e condições ambientais favoráveis ao equipamento e ao local no qual este está inserido. O trabalho supracitado também a MCC priorizou o desenvolvimento de uma manutenção arquitetada para dar uma visão macro do sistema, disponibilidade e a segurança necessária.

Em casos específicos, como motores elétricos, a manutenção destes deve ser tratada com atenção especial. Motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica e sua utilização combina a facilidade e praticidade de transporte, economia, baixo custo, limpeza e simplicidade no comando. Sua utilização é de grande valia e sua vida útil está condicionada a vários aspectos atentando-se as condições ambientais às quais estão submetidos bem como as suas condições de operação.

Para um sistema de manutenção é necessário se ter uma estrutura de documentos e registros de informações que devem sempre ser utilizado e atualizado. Nesse trabalho utiliza-se o *Checklist*. Constitui-se em uma lista de procedimentos ou referências padronizadas na quais são inseridas anotações das constatações técnicas e dos dados encontrados na inspeção do sistema elétrico ou equipamento ou dispositivo. Deste modo, tem como objetivo primordial favorecer o levantamento dos resultados “*in loco*”, de forma a tornar a vistoria dinâmica e proporcionar condição técnica de qualidade em suas condições construtivas, da própria manutenção e de uso dos diversos sistemas construtivos interligados.

A utilização do *checklist* (itens relacionados na tabela 1) viabiliza o planejamento da vistoria, norteia a sequência de procedimentos a serem executados e possibilita um histórico das informações coletadas, fornecendo parâmetros para a qualidade da inspeção feita.

As falhas ou defeitos encontrados durante a manutenção devem ser relatados no *checklist*, contemplando também as ações que contrariem as recomendações constantes no manual do fabricante e uso (ALGHATHBAR; WIJESEKERA, 2004).

O estabelecimento da periodicidade da execução dos procedimentos do *checklist* é de suma importância, pois alguns itens inspecionados exigem acompanhamento anual, mensal, semanal ou até mesmo diário. A prioridade quanto à atividade a ser desenvolvida

na manutenção também deve ser determinada. A prioridade é o espaço de tempo para a averiguação da necessidade de manutenção e o início da mesma. As prioridades são estipuladas de acordo com a importância e a natureza da máquina (PAOLETTI; HERMAN, 2015):

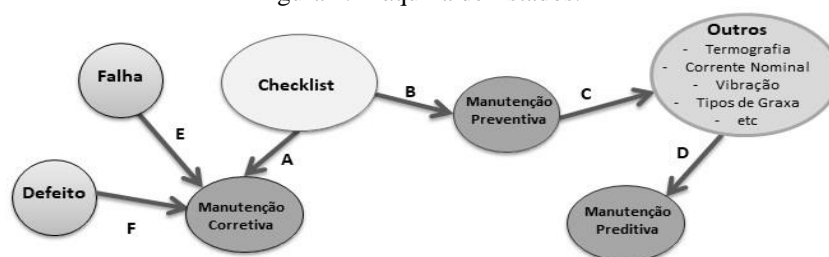
Emergencial ou Prioridade 1: manutenção executada no momento da constatação da necessidade. Ex.: falta de fase no motor (falha). Urgência ou Prioridade 2: deve ser executada o mais breve possível, não sendo passadas 24 horas após a constatação da necessidade. Ex.: curto entre as espiras de isolamento (defeito). Necessária ou Prioridade 3: ações da manutenção que poderão ser feitas no prazo de até uma semana. Ex.: manutenção preventiva como análise de lubrificação. Desejável ou Prioridade 4: manutenção programada/datada, mas que não pode deixar de ser realizada. Ex.: manutenção preditiva como a termografia infravermelha.

O tempo e prioridade das ações serão de acordo com a política adotada. A priori, são apresentadas sugestões das principais ações, de forma resumida, adotadas pelos autores ou especialistas.

Como sugerido, na introdução desse trabalho, uma das contribuições dessa pesquisa será modelar o gerenciamento por meio de uma Máquina de Estados. Porém será necessário definir sua frequência de execução, através de modelos adequados. Assim, de acordo com o conhecimento dos especialistas; o desenvolvimento de um modelo matemático que represente a Manutenção Centrada na Confiabilidade prioriza a representação dos conceitos de falha/defeito potencial e falha/defeito funcional. Estes estados podem ser mais bem visualizados através de uma máquina de estados, ilustrada na Figura 1, na qual são identificadas as condições típicas de uma manutenção.

A Máquina de Estados Finitos (MEF) explica de forma discreta a ideia de como deverá ocorrer a manutenção de um modo geral em motores elétricos. A partir das condições averiguadas pode disparar o evento “A” e gerar diretamente uma manutenção corretiva, a qual também pode ser gerada via uma falha ou um defeito:

Figura 1. Máquina de Estados.



De um modo geral, a Máquina de Estados, de acordo com o resultado do *checklist* (tabela 1), poderá gerar quaisquer uns dos tipos de manutenção nos motores elétricos. Observa-se que a MEF é baseada em modelos de *checklist* adotados por fabricantes brasileiros e deverá ser sintonizada para cada tipo de aplicação.

4 MAPAS COGNITIVOS FUZZY APLICADOS NA QUANTIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

A necessidade de monitoramento em instalações elétricas industriais pode ser conferida no trabalho (PAOLETTI; HERMAN, 2015). Neste contexto, este presente artigo sugere utilizar o desenvolvimento do FCM para um *feedback* quantitativo. Maiores detalhes da construção de um FCM clássico, aplicado ao nível de satisfação discente, podem ser conferidos no trabalho (MENDONÇA et al., 2017). O FCM foi desenvolvido, nessa pesquisa, de forma manual, porque a saída desejada é um diagnóstico quantitativo por meio da opinião qualitativa dos especialistas, de outro modo o FCM é baseado em conhecimento, e, principalmente, porque é um FCM relativamente pequeno e desenvolvido de forma qualitativa empregando termos linguísticos, como forte, fraco, muito fraco etc.

Na década de 80, o trabalho pioneiro de Kosko, como pode ser conferido na literatura (LUO; WANG; ZHENG, 2020), que estendeu os mapas cognitivos do qual foi inspirado em mapas cognitivos, aspectos de lógica Fuzzy e redes neurais artificiais. Várias aplicações de FCM surgiram na literatura em diversas áreas do conhecimento. Em especial, citam-se algumas das diversas, como por exemplo aplicações em vida artificial (ARRUDA et al., 2018), o trabalho Felix (FELIX et al., 2017) estado da arte em classificação. Redes cognitivas difusas (FRCNs) são redes neurais recorrentes (RNNs) destinadas a fins de classificação estruturada em que o problema é descrito por um conjunto explícito de recursos. A vantagem desse sistema neural granular está em sua transparência e simplicidade, ao mesmo tempo em que é competitivo em relação aos classificadores de última geração (CONCEPCION et al., 2020). O trabalho Mendonca que utiliza duas versões de FCM para otimizar a trajetória de um robô utilizando técnicas de otimização, como por exemplo técnicas baseada em *Swarm robotics*, do inglês robótica de enxame, para otimizar a trajetória de um robô ou vários autônomos em FCM (MENDONÇA et al., 2017). Já o trabalho de Dikopoulou (DIKOPOULOU; PAPAGEORGIOU; VANHOOF, 2020) e colaboradores objetiva aprender modelos de

FCM a partir de dados sem qualquer conhecimento a priori. Este estudo de pesquisa utiliza um aprendizado de dados e métodos para design automático de *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM) usando um grande conjunto de informações ordinais com base na eficiência e capacidades de modelos gráficos (DIKOPOULOU; PAPAGEORGIOU; VANHOOF, 2020). Outro trabalho da área de aprendizagem é o trabalho de Guoliang Feng e colaboradores que considera numerosos métodos de aprendizagem para processos com *Fuzzy Cognitive Maps* (FCMs), como os métodos de aprendizagem baseados em Hebbian e baseados na população, foram desenvolvidos para modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. No entanto, esses métodos são confrontados com várias limitações com número excessivo de conceitos. Em sistemas de médio e grande porte pode ser sim uma dificuldade. Uma área de vanguarda na robótica dois trabalhos do autor utilizam duas diferentes técnicas de *Swarm robotics* para resgate de vítimas em uma catástrofe (MENDONÇA et al., 2019), (MENDONÇA et al., 2020b) entre outras diversas aplicações. Os quais podem ser conferidos na base de IEEE <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>.

Já, para área específica de manutenção, (JAMSHIDI et al., 2015) apresenta a aplicação de uma FCM para a avaliação de riscos da terceirização da manutenção, como uma ferramenta de suporte para decisão da terceirização da manutenção, considerando as inter-relações entre os fatores de riscos (como cronograma, qualidade, flexibilidade, entre outros) e suas consequências.

Além das áreas de conhecimento, surgiram evoluções do FCM, como por exemplo: em robótica móvel autônoma e controle de processos, respectivamente ED-FCM (*EventDriven-Fuzzy Cognitive Maps*) e DCN (*Dynamic Cognitive Networks*). Já no trabalho (ACAMPORA; LOIA, 2009) a Inteligência Ambiente nasce como um computador paradigma que lida com um novo mundo onde os dispositivos de computação são empregados a fim de tornar mais ampla a interação entre seres humanos e tecnologia da informação e montar um ecossistema computacional dinâmico capaz de satisfazer os requisitos dos usuários.

Em um FCM clássico o conhecimento explícito é representado através das atribuições de valores a conceitos e relações causais, e o conhecimento implícito é representado através da estrutura do mapa. No entanto, permanece a dificuldade de transformar o conhecimento em modelos de comportamento humano. Na construção dos mapas conceituais esta dificuldade se reflete principalmente na definição da semântica e do relacionamento entre os conceitos (MENDONÇA et al., 2015). Além desta dificuldade

de construção, a aquisição de dados deve ser bastante criteriosa, no sentido de se transformar dados em informação consistente para o mapa cognitivo para que o mesmo seja finalmente validado com dados reais ou sintéticos obtidos por meio de simulações.

De um modo geral, pode-se definir que o FCM combina aspectos das Redes Neurais Artificiais, Lógica *Fuzzy*, Redes Semânticas, entre outras técnicas clássicas computacionais inteligentes (PAPAGEORGIU, 2014). De modo específico, pode-se conceitualizar que o FCM é uma metodologia de causalidade baseada no conhecimento para modelar sistemas complexos de decisão. Nesse contexto, um FCM descreve o comportamento de um sistema desconhecido em termos de conceitos, cada conceito representa uma entidade, um estado, uma variável ou uma característica do sistema (ACAMPORA; LOIA, 2009).

Geralmente, existem dois tipos de FCM, FCMs manuais e FCMs automatizados (YESIL et al., 2013). FCMs manuais são produzidos por especialistas manualmente, metodologia de desenvolvimento aplicada nessa pesquisa e FCMs automatizados produzidos por dados históricos, por exemplo. Além disso, existem diferentes tipos de funções de ajuste são utilizadas na evolução dos valores dos conceitos dos FCMs (inferência FCM) (FELIX et al., 2017) .

Nesta pesquisa, a inferência FCM é feita por meio de uma é a função sigmóide unipolar, onde o parâmetro λ é o fator de esquecimento com range de 0,1 a 1, valor 1 foi utilizado nesse trabalho (equação 2), estabelece um fator de memória na evolução numérica dos conceitos de um Mapa Cognitivo *Fuzzy*. Desse modo, esses valores vão ser atualizados através da iteração com os outros conceitos e com o seu próprio valor, vão evoluindo após várias iterações, como mostra a função da equação (1) em (2) até estabilizarem-se num ponto fixo ou num ciclo limite (MENDONÇA et al., 2013).

$$A_i = f\left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i \\ n}}^n (A_j \times W_{ji})\right) (1)$$

Onde:

k é o contador das iterações, n é o número de nós no grafo,

W_{ji} é o peso do arco que conecta o conceito C_j ao conceito C_i , A_i (A_i anterior) é o valor do conceito C_i na iteração atual (anterior) e a função f (equação 2) é uma função do tipo sigmóide:

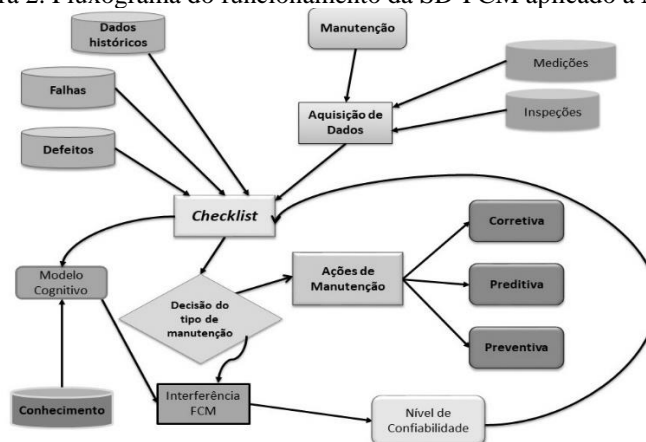
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} (2)$$

Em alguns casos, o FCM clássico pode não estabilizar e oscilar, ou até mesmo apresentar um comportamento caótico [34]. Geralmente, para sistemas bem-comportados, observa-se que após um número finito de iterações, os valores dos conceitos atingem um ponto de equilíbrio fixo ou um ciclo limite, mínima variação em torno de um valor fixo. O qual pode ser observado na Figura 3, após praticamente 5 iterações em que os valores finais dos conceitos previamente modelados ficam fixos ou praticamente fixos. Neste contexto, podem-se citar trabalhos que investigam a estabilidade dos FCMs [53], [54].

A figura 2 mostra a seqüência de desenvolvimento lógico do método proposto. Observa-se que após a inferência do FCM influencia na tomada de decisão realizada pela máquina de estados, devido ao nível de confiabilidade encontrado pelo FCM retornar ao *Checklist*, item 13 da tabela 1. Ainda de acordo com a figura 2, o processamento do item *checklist* determina as ações a serem executadas de acordo com as entradas de informações da manutenção.

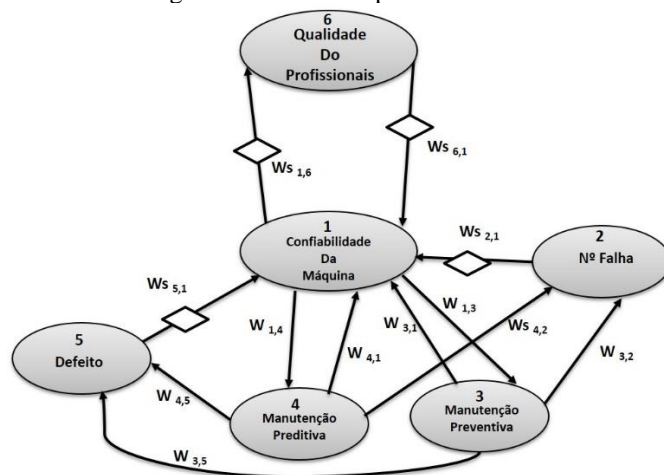
O FCM inicial também considera as entradas de forma binária, alta e baixa, como por exemplo, a qualificação dos profissionais da manutenção será considerada alta ou baixa. Porém futuros trabalhos poderão endereçar uma discretização mais específica como, por exemplo, pequena, média e alta. De modo similar o desenvolvimento dos conceitos referentes à ocorrência de falhas e defeitos que, em cada política de gerenciamento deverá considerar alta e baixa.

Figura 2. Fluxograma do funcionamento da SD-FCM aplicado a MCC.



Esse item deverá considerar o nível de confiabilidade atual da máquina (por meio da inferência do FCM).

Figura 3. SD-FCM aplicado a MCC.



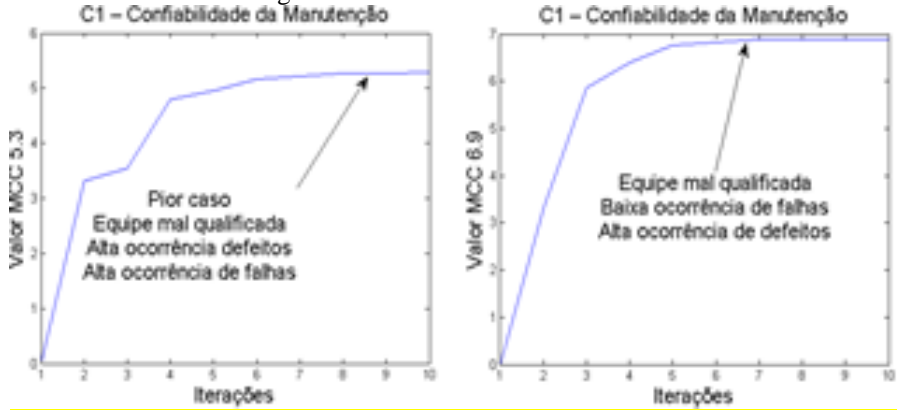
Observa-se que a proposta desse trabalho é um *Dynamic-FCM* simplificado, do inglês *simplified Dynamic-FCM* (sD-FCM, sigla convencionada na sequência do trabalho). O sD-FCM muda sua estrutura de acordo com a mudança dos conceitos de entrada. No exemplo citado, a má qualificação da equipe de manutenção pode ter uma influência negativa alta na confiabilidade da manutenção, enquanto de forma inversa poderá ter uma influência positiva alta. Ressalta-se que todo o formalismo matemático para a inferência e estabilidade do FCM clássico são aplicados nessa proposta, isso se deve porque o sD-FCM funciona como FCM clássico quando ocorre alguma modificação na sua estrutura.

O modelo cognitivo clássico só contém relações causais ($W_{n,n}$) e seus devidos conceitos (1 até 6), como mostra a figura 3. Devido à necessidade de se binarizar as entradas dos conceitos 2, 3 e 6 o modelo proposto teve a inclusão de relações de seleção ($W_{S_{n,n}}$). Essas relações de seleção alteram o valor de seus referentes pesos através de regras do tipo SE-ENTÃO, alterando assim a intensidade (ou a importância) de alguns conceitos inferidos na saída do sD-FCM. Esse ajuste dinâmico dos pesos possibilita uma melhor adaptação do modelo para abordar diferentes possibilidades de análises, como por exemplo, com a equipe mal qualificada, alta ocorrência de defeitos e baixa ocorrência de falhas. Não é escopo desse trabalho apresentar o desenvolvimento do D-FCM, Figura 3. Entretanto, maiores detalhes da construção da versão completa do DFCM e da DCN (*Dynamic Cognitive Networks*), ferramentas que inspiraram o desenvolvimento proposto, pode ser conferido no trabalho (NÁPOLES et al., 2016).

Alguns resultados iniciais podem ser conferidos na Figura 4, em diferentes situações. Os resultados iniciais sugerem que o D-FCM simplificado ou sD-FCM atribuiu

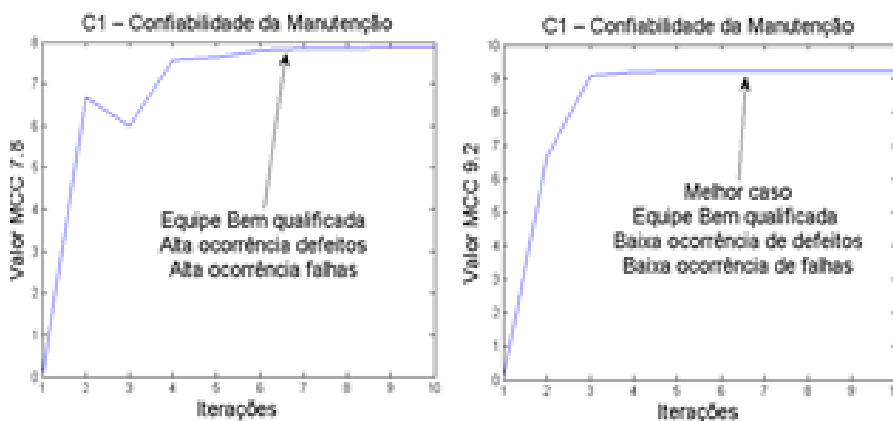
valores em forma crescente; desde o pior caso com a equipe mal qualificada e alta ocorrência de falhas e defeitos com um valor inicial de 5.3 para MCC; até o melhor caso com baixa ocorrência de falhas e defeitos e equipe bem qualificada ou com alta qualificação com valor de 9.2

Figura 4. Resultados iniciais sD-FCM.



Um detalhe importante dessa área é sair do estado de crença, o qual foi apresentado e validar o mesmo. Na próxima seção será abordada uma possível solução para essa etapa final de uma ferramenta da área de *softcomputing*, em especial sD-FCM. Observa-se que a partir da iteração 7 o FCM atingiu ciclo limite (ARRUDA et al., 2018). Já a figura 5 mostra outras duas situações encontradas pela ferramenta proposta, nessa figura os ciclos limites foram 6 para o primeiro caso e 3 para o segundo. As situações foram descritas no corpo delas.

Figura 5. Resultados iniciais sD-FCM.



5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, ainda que iniciais, o sD-FCM correspondeu às expectativas do trabalho; uma ferramenta computacional para feedback que pode ajudar na gestão da manutenção, devido aos seus resultados promissores. Isto se deve a obtenção de valores de forma crescente, desde o pior ao melhor caso abstraído no modelo cognitivo. Ressalta-se que essa primeira versão atribuiu maior importância à qualificação da equipe, entretanto, ajustes no modelo poderão, de acordo com diferentes políticas, alterar esses resultados.

Ainda sob a luz dos resultados pode-se observar que: existem mais possibilidades ou combinações entre as ocorrências de defeitos e falhas e qualificação da equipe. Ainda de acordo com resultados iniciais, a qualificação da equipe teve mais influência do que a ocorrência de falhas, por exemplo.

Espera-se ter contribuído com uma aplicação de um “cavalo de batalha” nas indústrias, o motor elétrico, por meio da técnica de Manutenção baseada em Confiabilidade com uma ferramenta computacional para fornecer um diagnóstico ou *feedback* quantitativo para o gerenciamento da Manutenção por meio dos conceitos correlatos a MCC através de um modelo baseado em conhecimento inicialmente qualitativo dos especialistas.

Futuros trabalhos endereçam à extensão e à aplicação dos conceitos apresentados nessa pesquisa em um estudo de caso real para validação do sD-FCM com possíveis ajustes em diferentes políticas de Manutenção. E uma interface para tomada de decisões para validar a proposta. A inclusão de outro D-FCM em cascata para tomadas de decisões ou inferências pode ser também outro futuro aperfeiçoamento da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

ACAMPORA, G.; LOIA, V. **A dynamical cognitive multi-agent system for enhancing ambient intelligence scenarios**. Fuzzy Systems, 2009. FUZZ-IEEE 2009. IEEE International Conference on. **Anais...2009**

ALGHATHBAR, K.; WIJESKERA, D. Analyzing information flow control policies in requirements engineering. **Proceedings - Fifth IEEE International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks, POLICY 2004**, p. 193–196, 2004.

ALSYOUF, I. Maintenance practices in Swedish industries: Survey results. **International Journal of Production Economics**, v. 121, n. 1, p. 212–223, set. 2009.

ARRUDA, L. V. R. et al. Artificial Life Environment Modeled by Dynamic Fuzzy Cognitive Maps. **IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems**, v. 10, n. 1, p. 88–101, 2018.

CONCEPCION, L. et al. Fuzzy-Rough Cognitive Networks: Theoretical Analysis and Simpler Models. **IEEE Transactions on Cybernetics**, p. 1–12, 2020.

DEGHANIAN, P. et al. Critical Component Identification in Reliability Centered Asset Management of Power Distribution Systems Via Fuzzy AHP. **IEEE Systems Journal**, v. 6, n. 4, p. 593–602, 2012.

DIKOPOULOU, Z.; PAPAGEORGIOU, E. I.; VANHOOF, K. Retrieving sparser fuzzy cognitive maps directly from categorical ordinal dataset using the graphical lasso models and the MAX-threshold algorithm. **IEEE International Conference on Fuzzy Systems**, v. 2020-July, 2020.

FELIX, G. et al. A review on methods and software for fuzzy cognitive maps. **Artificial Intelligence Review**, n. March 2018, p. 1–31, 2017.

JAMSHIDI, A. et al. **Dynamic risk modeling and assessing in maintenance outsourcing with FCM**. Industrial Engineering and Systems Management (IESM), 2015 International Conference on. **Anais...2015**

JANIER, J. B.; ZAHARIA, M. F. Z. **Condition Monitoring System for Induction Motor Using Fuzzy Logic Tool**. 2011 First International Conference on Informatics and Computational Intelligence. **Anais...IEEE**, dez. 2011 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6141641/>>

LIANG, H.; SUN, F. **Offshore mechanical maintenance based on fuzzy condition assessment and RCM analysis**. 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering. **Anais...IEEE**, set. 2011 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6058357/>>

LUO, C.; WANG, H.; ZHENG, Y. Controllability of k-Valued Fuzzy Cognitive Maps. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 28, n. 8, p. 1694–1707, 2020.

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. Establishment of a maintenance plan based on quantitative analysis in the context of the MCC in a JIT production scenario. **Producao**, v. 24, n. 3, p. 675–686, 2014.

MENDONÇA, M. et al. A Subsumption Architecture to Develop Dynamic Cognitive Network-Based Models With Autonomous Navigation Application. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 24, n. 1, p. 117–128, 2013.

MENDONÇA, M. et al. Fuzzy Cognitive Maps Applied to Student Satisfaction Level in an University. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 12, p. 3922–3927, 2015.

MENDONÇA, M. et al. A cooperative architecture for swarm robotic based on dynamic fuzzy cognitive maps. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 59, n. May 2016, p. 122–132, 2017.

MENDONÇA, M. et al. **Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm robotics using Fuzzy Cognitive Maps**. 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais...**New Orleans, USA: IEEE, 2019

MENDONÇA, M. et al. **Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization**. 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais...**Glasgow, United Kingdom: IEEE, 2020a

MENDONÇA, M. et al. **Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. **Anais...**Glasgow, UK: IEEE, 2020b

MENDONÇA, M.; CHUN, I. R.; ROCHA, M. E. C. Dynamic fuzzy cognitive maps applied in realibility centered maintanance of electric motors. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 5, p. 827–834, 2017.

MOSALLAM, A. et al. **Nonlinear Relation Mining for Maintenance Prediction**. 2011 Aerospace Conference. **Anais...**IEEE, mar. 2011 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5747581/>>

NÁPOLES, G. et al. On the convergence of sigmoid Fuzzy Cognitive Maps. **Information Sciences**, v. 349–350, 2016.

PAOLETTI, G. J.; HERMAN, G. **Monitoring of electrical equipment failure indicators and zero-planned outages: Past, present and future maintenance practices**. 2015 61st IEEE Pulp and Paper Industry Conference (PPIC). **Anais...**IEEE, jun. 2015Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7165712/>>

PAPAGEORGIU, E. I. (ED.). **Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. v. 54

TSANG, A. H. C. Strategic dimensions of maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 8, n. 1, p. 7–39, 2002.

YANG, S. K. A condition-based failure-prediction and processing-scheme for preventive maintenance. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 52, n. 3, p. 373–383, set. 2003.

YESIL, E. et al. **Fuzzy cognitive maps learning using Artificial Bee Colony optimization**. 2013 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais...**Hyderabad, India: IEEE, 2013

ACAMPORA, G.; LOIA, V. **A dynamical cognitive multi-agent system for enhancing ambient intelligence scenarios.** Fuzzy Systems, 2009. FUZZ-IEEE 2009. IEEE International Conference on. **Anais...2009**

ALGHATHBAR, K.; WIJESEKERA, D. Analyzing information flow control policies in requirements engineering. **Proceedings - Fifth IEEE International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks, POLICY 2004**, p. 193–196, 2004.

ALSYOUF, I. Maintenance practices in Swedish industries: Survey results. **International Journal of Production Economics**, v. 121, n. 1, p. 212–223, set. 2009.

ARRUDA, L. V. R. et al. Artificial Life Environment Modeled by Dynamic Fuzzy Cognitive Maps. **IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems**, v. 10, n. 1, p. 88–101, 2018.

CONCEPCION, L. et al. Fuzzy-Rough Cognitive Networks: Theoretical Analysis and Simpler Models. **IEEE Transactions on Cybernetics**, p. 1–12, 2020.

DEGHANIAN, P. et al. Critical Component Identification in Reliability Centered Asset Management of Power Distribution Systems Via Fuzzy AHP. **IEEE Systems Journal**, v. 6, n. 4, p. 593–602, 2012.

DIKOPOULOU, Z.; PAPAGEORGIOU, E. I.; VANHOOF, K. Retrieving sparser fuzzy cognitive maps directly from categorical ordinal dataset using the graphical lasso models and the MAX-threshold algorithm. **IEEE International Conference on Fuzzy Systems**, v. 2020-July, 2020.

FELIX, G. et al. A review on methods and software for fuzzy cognitive maps. **Artificial Intelligence Review**, n. March 2018, p. 1–31, 2017.

JAMSHIDI, A. et al. **Dynamic risk modeling and assessing in maintenance outsourcing with FCM.** Industrial Engineering and Systems Management (IESM), 2015 International Conference on. **Anais...2015**

JANIER, J. B.; ZAHARIA, M. F. Z. **Condition Monitoring System for Induction Motor Using Fuzzy Logic Tool.** 2011 First International Conference on Informatics and Computational Intelligence. **Anais...IEEE**, dez. 2011 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6141641/>>

LIANG, H.; SUN, F. **Offshore mechanical maintenance based on fuzzy condition assessment and RCM analysis.** 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering. **Anais...IEEE**, set. 2011 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6058357/>>

LUO, C.; WANG, H.; ZHENG, Y. Controllability of k-Valued Fuzzy Cognitive Maps. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 28, n. 8, p. 1694–1707, 2020.

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. Establishment of a maintenance plan based on quantitative analysis in the context of the MCC in a JIT production scenario. **Producao**, v. 24, n. 3, p. 675–686, 2014.

MENDONÇA, M. et al. A Subsumption Architecture to Develop Dynamic Cognitive Network-Based Models With Autonomous Navigation Application. **Journal of Control**,

Automation and Electrical Systems, v. 24, n. 1, p. 117–128, 2013.

MENDONÇA, M. et al. Fuzzy Cognitive Maps Applied to Student Satisfaction Level in an University. **IEEE Latin America Transactions**, v. 13, n. 12, p. 3922–3927, 2015.

MENDONÇA, M. et al. A cooperative architecture for swarm robotic based on dynamic fuzzy cognitive maps. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 59, n. May 2016, p. 122–132, 2017.

MENDONÇA, M. et al. **Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm robotics using Fuzzy Cognitive Maps**. 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais...**New Orleans, USA: IEEE, 2019

MENDONÇA, M. et al. **Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization**. 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais...**Glasgow, United Kingdom: IEEE, 2020a

MENDONÇA, M. et al. **Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. **Anais...**Glasgow, UK: IEEE, 2020b

MENDONÇA, M.; CHUN, I. R.; ROCHA, M. E. C. Dynamic fuzzy cognitive maps applied in realibility centered maintanance of electric motors. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 5, p. 827–834, 2017.

MOSALLAM, A. et al. **Nonlinear Relation Mining for Maintenance Prediction**. 2011 Aerospace Conference. **Anais...IEEE**, mar. 2011 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5747581/>>

NÁPOLES, G. et al. On the convergence of sigmoid Fuzzy Cognitive Maps. **Information Sciences**, v. 349–350, 2016.

PAOLETTI, G. J.; HERMAN, G. **Monitoring of electrical equipment failure indicators and zero-planned outages: Past, present and future maintenance practices**. 2015 61st IEEE Pulp and Paper Industry Conference (PPIC). **Anais...IEEE**, jun. 2015Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7165712/>>

PAPAGEORGIU, E. I. (ED.). **Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. v. 54

TSANG, A. H. C. Strategic dimensions of maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 8, n. 1, p. 7–39, 2002.

YANG, S. K. A condition-based failure-prediction and processing-scheme for preventive maintenance. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 52, n. 3, p. 373–383, set. 2003.

YESIL, E. et al. **Fuzzy cognitive maps learning using Artificial Bee Colony optimization**. 2013 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). **Anais...**Hyderabad, India: IEEE, 2013