

## CAPÍTULO 2

# APLICAÇÃO DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS EM MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: UM ENFOQUE NOS MAPAS COGNITIVOS FUZZY DINÂMICOS SIMPLIFICADOS

---

*Data de submissão: 09/06/2023*

*Data de aceite: 01/08/2023*

### **Márcio Mendonça**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica (PPGEM)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

### **Marcos Antônio de Matos Laia**

Departamento De Ciência Da Computação  
– UFSJ  
São João Del Rey - MG  
Mina Gerais - MG  
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

### **Marcio Aurélio Furtado Montezuma**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
Departamento Engenharia Mecânica  
(DAMEC)  
<http://lattes.cnpq.br/2487283169795744>

### **Fabio Rodrigo Milanez**

Faculdade da Industria Senai  
Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

### **Rodrigo Rodrigues Sumar**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná,  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica (DAELE)  
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

### **Janaína Fracaro de Souza Gonçalves**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica (PPGEM)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/1857241899832038>

### **Ricardo Breganon**

Instituto Federal do Paraná, Campus  
Jacarezinho  
Jacarezinho- PR  
<http://lattes.cnpq.br/2441043775335349>

### **Vicente de Lima Gongora**

Faculdade da Industria Senai  
Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

### **Francisco de Assis Scannavino Junior**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná,  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica (DAELE)  
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

### **Michelle Eliza Casagrande Rocha**

Universidade Norte do Paraná – Unopar  
– Kroton  
Londrina -PR  
<http://lattes.cnpq.br/4411484670091641>

**Marcio Jacometti**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico das Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (Dachs)  
Cornélio Procópio- PR  
<http://lattes.cnpq.br/8509336134084374>

**João Maurício Hypólito**

Centro Paula Souza Faculdade de Tecnologia (FATEC) –  
Departamento Computação-FATEC Ourinhos  
Ourinhos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/5499911577564060>

**Renato Augusto Pereira Lima**

Inspetor Chefe CREA Cornélio Procópio/Regional Londrina  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/3518337122740114>

**Fabio Nogueira de Queiroz**

Centro Paula Souza  
Faculdade de Tecnologia (FATEC) - Tatuí -SP  
<http://lattes.cnpq.br/4466493001956276>

**Kazuyochi Ota Junior**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Mestrando Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

**Henrique Cavalieri Agonilha**

Universidade Filadélfia (Unifil) Londrina  
Londrina -PR  
<http://lattes.cnpq.br/9845468923141329>

**Augusto Alberto Foggiao**

Departamento de Odontologia – UENp  
Jacarezinho - PR  
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

**RESUMO:** A produção de etanol e açúcar em usinas canavieiras é diretamente dependente do Corte, Carregamento e Transporte (CCT) de cana-de-açúcar, um processo crucial realizado por máquinas agrícolas robustas. Com o advento das colhedoras de cana, a produção e a colheita aumentaram significativamente, eliminando a necessidade de corte manual e queima de cana. No entanto, este aumento também elevou a demanda e a capacidade de processamento das indústrias, resultando em uma necessidade crescente de manutenção eficaz das máquinas. Neste cenário, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) emerge como uma estratégia essencial, especialmente quando empregada em conjunto com Mapas Cognitivos Fuzzy para o gerenciamento de colhedoras de cana. A RCM permite a

identificação e a correção eficaz de falhas, melhorando assim a confiabilidade dos sistemas. A implementação de um Mapa Cognitivo Fuzzy (FCM) propõe um diagnóstico quantitativo aprimorado, servindo como uma ferramenta computacional de apoio à gestão da manutenção. Isso não só melhora o funcionamento do sistema, mas também é extremamente relevante no contexto da crescente Indústria 4.0. Este resumo termina com a sugestão de que trabalhos futuros devem se concentrar no aprimoramento contínuo dessas práticas de manutenção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manutenção Centrada na Realidade, Colhedora, Cana-de-açúcar, Mapas Cognitivos Fuzzy, Análise Quantitativa.

## APPLICATION OF COMPUTATIONAL SYSTEMS IN RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE: A FOCUS ON SIMPLIFIED DYNAMIC FUZZY COGNITIVE MAPS

**ABSTRACT:** The production of ethanol and sugar in sugarcane mills is directly dependent on the Cutting, Loading, and Transport (CCT) of sugarcane, a crucial process carried out by robust agricultural machinery. With the advent of sugarcane harvesters, production and harvesting have significantly increased, eliminating the need for manual cutting and burning of cane. However, this increase also elevated the demand and processing capacity of industries, resulting in an escalating need for effective machine maintenance.

In this scenario, Reliability-Centered Maintenance (RCM) emerges as an essential strategy, especially when employed in conjunction with Fuzzy Cognitive Maps for the management of sugarcane harvesters. RCM allows for the effective identification and correction of faults, thus enhancing system reliability.

The implementation of a Fuzzy Cognitive Map (FCM) proposes an enhanced quantitative diagnosis, serving as a computational tool to support maintenance management. This not only improves the system's operation but is also highly relevant in the context of the rising Industry 4.0.

This summary concludes with the suggestion that future work should focus on the continuous improvement of these maintenance practices.

**KEYWORDS:** Reality-Centered Maintenance, Harvester, Sugarcane, Fuzzy Cognitive Maps, Quantitative Analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

O texto aborda a implementação e benefícios do uso da lógica Fuzzy e da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) no setor agrícola/industrial, especialmente em relação à colheita mecanizada de cana-de-açúcar. A lógica Fuzzy, conceituada pelo professor Lotfi Zadeh na década de 60, permite transformar a subjetividade e ambiguidade de variáveis em valores numéricos para a compreensão dos computadores, uma ferramenta útil para modelar sistemas complexos.

A MCC é uma estratégia de manutenção que enfoca a confiabilidade e a eficiência operacional das máquinas. Se as máquinas forem confiáveis, haverá um aumento na produtividade, além de economia de recursos e diminuição da emissão de poluentes.

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar trouxe várias melhorias, como aumento na capacidade de colheita, redução na mão de obra e eliminação da necessidade de queima da cana para a colheita, trazendo benefícios ambientais e de saúde pública.

A manutenção de equipamentos tem assumido uma função estratégica nas empresas, com ferramentas informatizadas sendo vitais para economia de recursos financeiros, ambientais e humanos.

O trabalho propõe uma abordagem heurística, baseada na experiência, regras e conceitos racionais, para lidar com problemas complexos que se baseiam na incerteza das informações.

Por fim, o texto menciona um exemplo de construção de um sistema de controle a partir de um controlador Proporcional, Integral, Derivativo (PID) adaptativo com *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM-PID), comparando-o com outros tipos de controladores.

Trabalhos Os *Fuzzy Cognitive Maps* (FCMs) são ferramentas versáteis e úteis para modelar sistemas complexos, tendo aplicação em diversas disciplinas. Na medicina, foram usados para modelar a progressão de doenças e auxiliar na tomada de decisões clínicas, como no estudo da doença de Alzheimer. Na engenharia de controle e automação, os FCMs foram utilizados para aprimorar a performance e robustez dos sistemas, como evidenciado em sistemas de controle fuzzy. Eles também foram aplicados na gestão ambiental, auxiliando na avaliação dos impactos de políticas de gestão de recursos.

Vários estudos utilizaram técnicas Fuzzy, DCN (*Dynamic Cognitive Networks*) e FCM para uso em controladores PID adaptativos em diferentes processos. Ferreira (2009) comparou técnicas de controle Fuzzy, PI e controle adaptativo em um processo de fabricação de papel reciclado. Wang et al. (2012) demonstraram melhorias no controle de energia em elevadores com o sistema Fuzzy-PID. Fernandes (2005) propôs um modelo de supervisão usando lógica Fuzzy para um sistema de geração de energia híbrido.

Lima et al. (2015) propuseram um controlador Fuzzy robusto para um processo térmico, usando um algoritmo FCM para estimar parâmetros. Yesil et al. (2013) apresentaram dois artigos sobre controladores Fuzzy-PID auto sintonizadores e um FCM para a sintonia de controladores PI em sistemas não lineares.

Uma importante contribuição deste trabalho está relacionada com o impacto positivo ambiental elencados a seguir

Segundo Zhou et al. (2016) uma manutenção bem-feita pode ter impactos ambientais positivos significativos. Aqui estão alguns exemplos:

1. Eficiência energética: A manutenção adequada de equipamentos e sistemas pode ajudar a otimizar o consumo de energia. Isso inclui a verificação regular de componentes, limpeza, calibração e ajustes adequados. Com uma manutenção eficiente, os equipamentos podem operar com maior eficiência energética, reduzindo o consumo de eletricidade e, conseqüentemente, a pegada de carbono associada.

2. Redução de emissões: A manutenção regular de veículos, máquinas e equipamentos industriais pode ajudar a reduzir as emissões de gases poluentes. Por exemplo, a substituição de filtros de ar sujos ou a manutenção de motores de combustão interna pode melhorar a eficiência da combustão, reduzindo a emissão de poluentes atmosféricos.
3. Preservação dos recursos naturais: Uma manutenção adequada prolonga a vida útil dos equipamentos. Isso significa que menos recursos naturais serão consumidos na fabricação de novos equipamentos, reduzindo assim o impacto ambiental associado à extração de matérias-primas, produção e descarte de equipamentos obsoletos.
4. Prevenção de vazamentos e derramamentos: A manutenção regular inclui inspeção de sistemas de armazenamento e manuseio de substâncias perigosas. Identificar e reparar vazamentos ou rachaduras em tanques, tubulações ou equipamentos evita a contaminação do solo, água e ar, protegendo assim o meio ambiente e a saúde pública.
5. Gestão adequada de resíduos: A manutenção adequada envolve a correta gestão de resíduos gerados durante as atividades de manutenção. Isso inclui a segregação, armazenamento e disposição adequados de resíduos perigosos, como óleos usados, baterias e produtos químicos. Uma gestão adequada de resíduos minimiza o impacto negativo no meio ambiente.

Em resumo, uma manutenção bem executada pode contribuir para a eficiência energética, redução de emissões, preservação de recursos naturais, prevenção de vazamentos e uma gestão adequada de resíduos. Esses impactos ambientais positivos são essenciais para a sustentabilidade e a conservação do meio ambiente.

## 2 | FUNDAMENTOS E DEFINIÇÕES DA MANUTENÇÃO

A MCC é uma estratégia de manutenção que enfoca a confiabilidade e a eficiência operacional das máquinas. Se as máquinas forem confiáveis, haverá um aumento na produtividade, além de economia de recursos e diminuição da emissão de poluentes.

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar trouxe várias melhorias, como aumento na capacidade de colheita, redução na mão de obra e eliminação da necessidade de queima da cana para a colheita, trazendo benefícios ambientais e de saúde pública.

A manutenção de equipamentos tem assumido uma função estratégica nas empresas, com ferramentas informatizadas sendo vitais para economia de recursos financeiros, ambientais e humanos.

O texto também discute a aplicação de *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM) na quantificação da manutenção automotiva de colhedoras de cana. No entanto, para que o feedback seja efetivo, essa ferramenta precisará ser validada por ferramentas computacionais inteligentes e pode precisar de ajustes de acordo com a política de manutenção de cada empresa.

O controle inteligente, que utiliza técnicas de inteligência computacional para lidar com sistemas complexos. Ele se destaca pela capacidade de lidar com sistemas dinâmicos

incertos e altamente não lineares.

O trabalho propõe uma abordagem heurística, baseada na experiência, regras e conceitos racionais, para lidar com problemas complexos que se baseiam na incerteza das informações.

Por fim, o texto menciona um exemplo de construção de um sistema de controle a partir de um controlador Proporcional, Integral, Derivativo (PID) adaptativo com *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM-PID), comparando-o com outros tipos de controladores.

### 3 I MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou do inglês, *Realibility 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 da análise de dados gerados na manutenção pelo setor de Planejamento e Controle da Manutenção, sugeridas nessa pesquisa, serão apresentadas na tabela 1 de forma básica referente a manutenções corretivas. Maiores detalhes serão abordados no final dessa seção.

Item	Descrição das Ações de Manutenção Corretiva
01	Abrir Ordem de Serviço, identificada como manutenção corretiva
02	Introdução de dados, diagnóstico inicial e prazo
03	Identificação do sistema (mecânico / elétrico ou hidráulico)
04	Identificação do problema
05	Identificação e requisição de peças
06	Lançar tempo de serviço
07	Corrigir problemas e fechar OS

Tabela 1 – Abertura de Ordem de Serviço

O estudo de K. K. M. Rosita e M. V. Rada (2021) amplia o trabalho de Prasetyo e Rosita (2020) na implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) para aumentar a confiabilidade do equipamento na empresa ABC, uma indústria bem estabelecida no Oriente Médio. A estratégia atual de manutenção da empresa ABC não é eficaz, como evidenciado pelos baixos tempos médios entre falhas (MTBF) e altos tempos médios para reparo (MTTR) retirados de seu Sistema de Gestão Empresarial (SAP).

A MCC, de acordo com o trabalho de MENDONÇA; CHUN; ROCHA, 2017, deve ser organizada de forma a provar a necessidade de todas as ações de manutenção antes da execução. Os critérios para essa comprovação devem estar alinhados com a

disponibilidade, segurança, economia e condições ambientais favoráveis ao equipamento e ao local onde ele se encontra. A manutenção deve ser planejada para fornecer uma visão macro do sistema, bem como garantir a disponibilidade e segurança necessárias.

A colhedora de cana é um equipamento crucial na colheita, realizando a colheita de cerca de 700 ton/dia. Para fins de estudo, a colhedora foi dividida em três sistemas: hidráulico, mecânico (motor, estrutura e material rodante) e elétrico. O entendimento do comportamento mecânico da colhedora e as informações obtidas das intervenções de manutenção são essenciais para alimentar árvores de decisão e apoiar a tomada de decisão através de redes neurais.

As empresas agrícolas do setor canavieiro usam módulos de manutenção em seus sistemas ERP, registrando todas as informações de manutenção de sua frota e permitindo a geração de indicadores e outros dados necessários para identificar equipamentos com problemas recorrentes. Um Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) bem estruturado é essencial, e as informações registradas no sistema devem ser confiáveis e padronizadas para apoiar as análises realizadas.

Este trabalho propõe a utilização de dados do sistema ERP, em conjunto com um sistema de documentação e registros de informações atualizados e confiáveis. A abertura de Ordens de Serviço de manutenção auxilia no planejamento e fornece um histórico das informações coletadas, estabelecendo parâmetros para a qualidade da inspeção. Os defeitos encontrados devem ser registrados no sistema, assim como as ações que vão de encontro às recomendações do fabricante (ALGHATHBAR; WIJESEKERA, 2004).

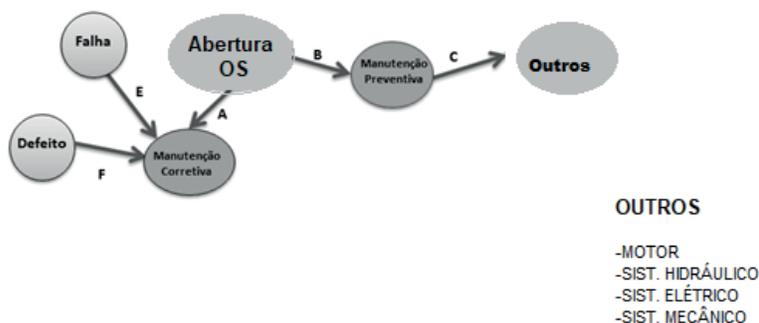


Figura 1. Máquina de Estados.

A prioridade das ações de manutenção deve ser determinada de acordo com a importância e a natureza da máquina (PAOLETTI; HERMAN, 2015). Por fim, este estudo propõe a modelagem do gerenciamento da manutenção através de uma Máquina de

Estados, que representará conceitos como falha/defeito potencial e falha/defeito funcional.

#### 4.1 MAPAS COGNITIVOS FUZZY APLICADOS NA QUANTIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE COLHEDORAS DE CANA

A necessidade de monitoramento da manutenção de máquinas agrícolas é crucial e o controle desses equipamentos automotrizes é complexo. Para abordar essa questão, sugere-se o uso do FCM (Fuzzy Cognitive Map) para obter um feedback quantitativo (MENDONÇA et al., 2017). O FCM foi desenvolvido com base em dados reais de serviços de manutenção automotiva em um sistema ERP, visando um diagnóstico quantitativo através da opinião qualitativa de especialistas (MENDONÇA et al., 2017).

Kosko, na década de 80, realizou um trabalho pioneiro ao estender os mapas cognitivos, incorporando aspectos da lógica fuzzy e redes neurais artificiais (LUO; WANG; ZHENG, 2020). O FCM tem sido aplicado em diversas áreas do conhecimento, incluindo vida artificial (ARRUDA et al., 2018).

O FCM é considerado transparente, simples e competitivo em relação a classificadores mais avançados (CONCEPCION et al., 2020). Em relação à área de manutenção, um estudo utilizou o FCM para avaliar os riscos da terceirização da manutenção, considerando as inter-relações entre os fatores de risco e suas consequências (JAMSHIDI et al., 2015).

O FCM combina aspectos de redes neurais artificiais, lógica fuzzy e redes semânticas, sendo uma metodologia baseada no conhecimento para modelar sistemas complexos de decisão. Neste estudo, a inferência do FCM é realizada através de uma função sigmoide unipolar, com um fator de memória que atualiza os valores dos conceitos ao longo das iterações (PAPAGEORGIU, 2014). Existem dois tipos principais de FCM: manuais, criados manualmente por especialistas, e automatizados, produzidos a partir de dados históricos (YESIL 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:

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

A figura 2 mostra a sequência 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 a Abertura de OS, 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.

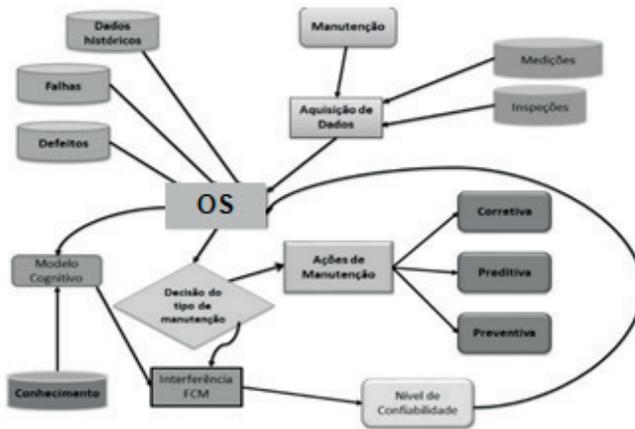


Figura 2. Fluxograma do funcionamento da SD-FCM aplicado a MCC.

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.

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

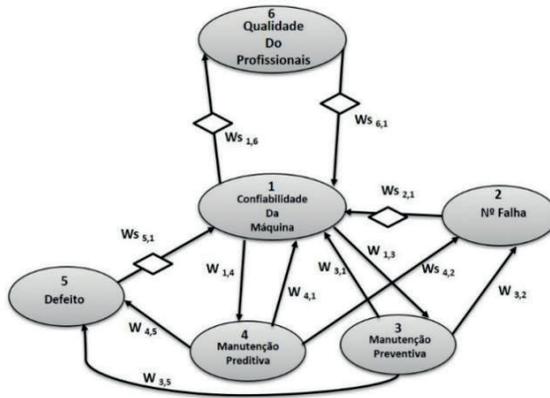


Figura 3. SD-FCM aplicado a MCC

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.

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.

Alguns resultados iniciais podem ser conferidos na Figura 4.

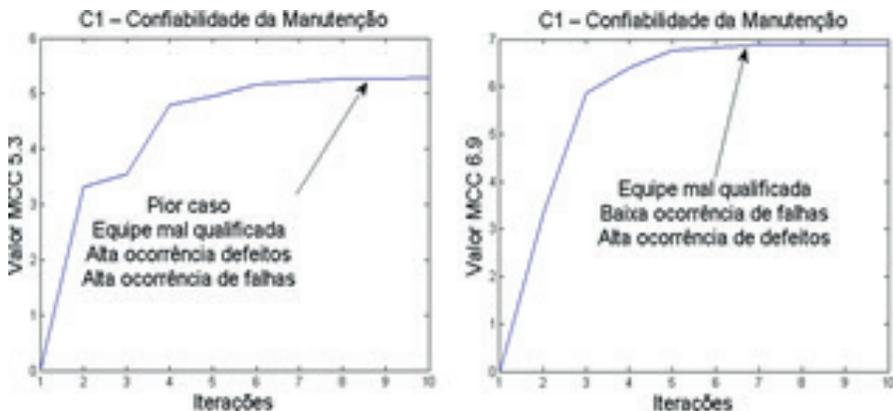


Figura 4. Resultados iniciais sD-FCM.

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 ( $W_{sn,n}$ ). 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).

## CONCLUSÃO

O Mapa Cognitivo Fuzzy Dinâmico Simplificado (sD-FCM) foi bem-sucedido como ferramenta de feedback na gestão de manutenção, particularmente na análise de eficiência de manutenções e problemas crônicos de equipamentos. O sucesso se deve à melhoria dos resultados, do pior ao melhor cenário previsto no modelo. A qualificação da equipe e a confiabilidade das informações inseridas no sistema ERP são fundamentais. Há várias interações entre ocorrências de defeitos, falhas e qualificação da equipe. A pesquisa contribuiu ao aplicar uma ferramenta computacional para diagnóstico quantitativo na manutenção de colhedoras de cana. Trabalhos futuros expandirão e aplicarão os conceitos em estudos de caso reais, aprimorando o sD-FCM de acordo com diferentes políticas de manutenção, desenvolvendo uma interface de decisão e incluindo outro D-FCM em cascata. Análises futuras explorarão cenários mais específicos dentro de cada sistema (hidráulico, elétrico e mecânico).

## REFERÊNCIAS

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.

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.

DING, S. H.; KAMARUDDIN, S.; “Assessment of distance-based multi-attribute group decision-making methods from a maintenance strategy perspective”. Journal of Industrial Engineering International, v. 11, issue 1, pp. 73-85, 2015

- FERNANDES, R. T. (2005). Supervisão de um sistema híbrido eólico/diesel usando lógica Fuzzy. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande.
- 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/>>
- 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/>>
- LIMA, F. AND SERRA, G. (2015). Fuzzy PID controller multiobjective genetic design, 2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Auckland, pp. 1506-1511.
- 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.
- MANHÃES, C.M.C. Avaliação do Desempenho de Colhedoras de Cana-de-Açúcar na Região Norte Fluminense. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2014.
- MARÇAL, Rui F. M. Um método para detectar falhas incipientes em Máquinas Rotativas baseado em Análise de Vibrações e Lógica Fuzzy. 2000. 124 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- 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 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. 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 a University. *IEEE Latin America Transactions*, v. 13, n. 12, p. 3922–3927, 2015.
- MENDONÇA, M. et al. Fuzzy Cognitive Maps Applied to Student Satisfaction Level in a University. *IEEE Latin America Transactions*, v. 13, n. 12, p. 3922–3927, 2015.
- 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.; CHUN, I. R.; ROCHA, M. E. C. Dynamic fuzzy cognitive maps applied in reality centered maintenance of electric motors. *IEEE Latin America Transactions*, v. 15, n. 5, p. 827–834, 2017.

MOUBRAY, John. RCM II – Manutenção Centrada em Confiabilidade – Edição brasileira. Traduzido por: Kleber Siqueira, Aladon Ltd. Inglaterra, 2000.

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. 2015 Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7165712/>>

PAPAGEORGIOU, 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.

WANG, R.; LUO, F.; HUANG, X. AND LI, P. (2012). New elevator energy feedback control system design based on fuzzy PID controller, *Power Engineering and Automation Conference (PEAM)*, IEEE.

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

ZADEH, L. A.; “The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning”, *Information Sciences*, vol. 8, pp. 199-249 (I), pp. 301-357(II), 1975.

ZHOU, R.; HU, Y.; XIAO, S.; WEN, J. A decision-making approach to field service delivery under mixed maintenance policy. In: *IEEE 11TH CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND APPLICATIONS (ICIEA)*, 11., 2016, Hefei. IEEE, 2016. p. 1068-1072.