

Manutenção 4.0: Um estudo sobre a utilização de sensores de baixo custo na inspeção de CCM industriais.

Marcelo Francisco de Barros, Gustavo Peçanha Lacerda de Lima.

Resumo: Atualmente a produção industrial depende de sistemas elétricos já que grande parte dos acionamentos na indústria utilizam este tipo de fonte de energia. Assim é de vital importância as centrais de controle de motores (CCM), para controle e proteção dos equipamentos elétricos. Uma das grandes fontes de indisponibilidades destes equipamentos são falhas por aquecimento nas conexões. Para evitar tais problemas, utiliza-se inspeções (termografia) no interior dos painéis periodicamente, o que demanda muito tempo, risco e não atende em tempo integral. Sistemas comerciais de medição contínua existem, porém, devido a tecnologia empregada, demandam altíssimos investimentos. Identifica-se que no mercado não há um sistema de baixo custo que acompanhe as temperaturas nas conexões de CCM e que reduza as intervenções preventivas e a exposição ao risco. Com isso, o objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema de medição contínua em CCM, com baixo custo de implantação numa indústria brasileira. Para isso foram utilizados termistores instalados nas conexões, permitindo monitorar as temperaturas que ultrapassam uma determinada faixa. Desta forma foi mudada a atuação de manutenção preventiva para manutenção preditiva e as intervenções serão demandadas para os pontos onde realmente tenha necessidade de inspeção. Como resultado, serão reduzidas as horas de manutenção preventiva, o tempo de exposição ao painel energizado pelo profissional de manutenção e conseqüentemente os riscos, aumento da confiabilidade e disponibilidade dos CCM e conseqüentemente da produção. Com o sistema de monitoramento contínuo em CCM será dado o primeiro passo rumo à indústria 4.0 com sensoriamento com benefícios para manutenção, disponibilidade produção e segurança.

Palavras chave: Painéis elétricos, Aquecimento, Manutenção, Industria 4.0, CCM, Disponibilidade, Segurança Patrimonial.

Title of the article in English

Abstract: Currently industrial production depends on electrical systems since most drives in the industry use this type of power source. Thus it is vitally important the motor control centers (MCC), for control and protection of electrical equipment. One of the major sources of unavailability of these equipment's are faults by heating the connections. To avoid such problems, inspections (thermography) are used inside the panels periodically, which demands a lot of time, risk and does not attend full time. Commercial continuous measurement systems exist, but due to the technology employed, they require very high investments. It is found that there is no low-cost system in the market that tracks temperatures at MCC connections and reduces preventive interventions and risk exposure. Thus, the objective of this work is to develop a continuous measurement system in MCC, with low implementation cost in a Brazilian industry. For this, thermistors were installed in the connections, allowing monitoring temperatures that exceed a certain range. In this way, the performance of preventive maintenance was changed to predictive maintenance and interventions will be demanded to the points where inspection is really needed. As a result, the preventive maintenance hours, the exposure time to the panel energized by the maintenance professional will be reduced and consequently the risks, increased reliability and availability of the MCC and consequently the production. The MCC continuous monitoring system will take the first step towards sensing industry 4.0 with benefits for maintenance, production availability and safety

Key-words: Electrical panels, Heating, Maintenance, Industry 4.0, MCC, Availability, Property Security.

1. Introdução

Os sistemas elétricos são sem dúvida a força motriz da indústria atual. Grande parte dos acionamentos na indústria utilizam como fonte de energia a eletricidade na forma de motores elétricos. Na maioria das iniciativas globais a energia elétrica tem se confirmado como a principal solução por se tratar de uma fonte limpa de energia. No Brasil essa condição não é diferente, porém, a tecnologia utilizada para o controle desse sistema está aquém do ideal na maioria das indústrias.

As centrais de controle de motores (CCM), são os sistemas responsáveis por fazer o controle e proteção de circuitos e equipamentos acionados eletricamente. As principais falhas nos sistemas elétricos ocorrem no CCM e em sua grande maioria estão associados a efeitos térmicos. Atualmente para evitar tais problemas, utiliza-se inspeções preventivas baseada no tempo (termografia) no interior dos CCM. Para indústrias de médio e grande porte esta atividade demanda muito tempo, além de impactar na segurança do trabalhador, uma vez que durante esta inspeção o profissional depara-se com condições insalubres ao ter que acessar o interior dos painéis. Além disso pode-se considerar como problema o custo para execução dessa atividade, que por fim não cobre de maneira contínua os pontos inspecionados.

Existem no mercado sistemas de medição contínua como por exemplo os de fibra óptica, sensores wireless e sensores infravermelhos, que trazem excelentes resultados, porém, devido as tecnologias empregadas demandam altíssimos investimentos e estão muito longe da realidade da indústria brasileira e de outros países em desenvolvimento.

Desta forma observa-se que não se tem um sistema comercial de baixo custo que acompanhe as temperaturas nas conexões de painéis elétricos de forma contínua e que reduza a intervenção preventiva por tempo, reduza risco por acesso aos CCM e meça de forma constante.

Assim a proposta deste trabalho é desenvolver um sistema de medição contínua em CCM com baixo custo de implantação, para área de manutenção de uma indústria brasileira. Para isso, serão utilizados termistores tipo PTC (coeficiente de temperatura positiva) que serão instalados nas conexões dos painéis para monitorar as temperaturas que ultrapassam uma determinada faixa. Desta forma será mudada a manutenção de preventiva (por tempo) para uma manutenção preditiva (condição) e as intervenções serão demandadas para os pontos onde realmente tenha necessidade de inspeção. Reduzindo as horas de manutenção preventiva em painéis elétricos, o tempo de exposição ao painel energizado pelo profissional de manutenção e conseqüentemente serão reduzidos os riscos tanto do profissional da inspeção quanto do sistema elétrico, aumento da confiabilidade e disponibilidade dos painéis elétricos.

Para dar seqüência a este trabalho, serão explanados alguns temas pertinentes ao referencial teórico: cenário da tecnologia na indústria brasileira, manutenção preventiva e preditiva, centros de controle de motores, falhas de aquecimentos em painéis elétricos e sistemas de medição de temperatura por PTC.

2. Cenário de tecnologia na indústria brasileira

Sabe-se a partir de autores como Schwab (2016) e Yongxin(2017) que o ambiente industrial passa por mais uma revolução industrial, chamada de quarta revolução industrial, ou era da indústria 4.0. Segundo estudos sobre a maturidade para a indústria 4.0 as principais tecnologias que permitem a fusão dos mundos físico, digital e biológico são a Manufatura Aditiva, a IA, a IoT, a Biologia Sintética e os Sistemas Ciber Físicos (CPS) e uma das premissas é conectar instrumentos de apoio existentes, permitindo uma maior racionalização e uso efetivo, desta forma entendemos a sensorização como o passo inicial desta jornada (ABDI, 2019).

A indústria brasileira de modo geral, ainda está distante dessa nova era da indústria 4.0 e suas características. No parque industrial, com algumas exceções, trabalha-se com equipamentos com pouca ou quase nenhuma eletrônica embarcada. Muitas estão conhecendo controladores lógicos programáveis e os seus benefícios o que caracteriza a 3ª revolução industrial. Entende-se segundo Schwab (2016) que os primeiros passos rumo Indústria 4.0 é dentre outras questões, a sensorização dos equipamentos. De maneira geral precisa-se converter as informações coletadas de maneira manual para dados coletados por sensores. Tal investimento em tecnologia ainda têm custos elevados o que em muitos casos inviabiliza sua implantação.

No ranking regional das Américas da ONU de tecnologia, o Brasil está apenas em décimo lugar na implantação e uso de novas tecnologias, atrás de países como Barbados, Bahamas, Argentina e Chile (ITU, 2017).

No cenário relatado acima a manutenção está na mesma condição ou em alguns casos até mais atrasada. As atividades são executadas e registradas de maneira manual, remetendo a 2ª fase da revolução Industrial. Em alguns casos expõe o profissional de manutenção a condições insalubres. A inspeção preventiva de painéis elétricos são um exemplo claro de uma rotina de manutenção onde o profissional periodicamente tem a necessidade de abrir o painel elétrico energizado e com um termo visor ou pirômetro procurar pontos de aquecimento gerados por mau contato ou falha de componentes.

Esta manutenção preventiva ainda tem um outro problema, pois como o ciclo é periódico nos intervalos podem ocorrer problemas que quando identificados é tarde demais para recuperar ou mesmo geram paradas de processos e manutenção corretiva, que sempre estão atreladas a perda de produção e altos custos de manutenção.

3. Manutenção Preventiva e Preditiva

Manutenção corretiva é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. No nosso caso para as ocorrências de aquecimento é a manutenção que tentamos evitar, pois este tipo de manutenção gera paradas de processos e altos custos de mão de obra e materiais, neste caso é o tipo de manutenção que pretendemos evitar (ABNT, 1994).

A manutenção preventiva é a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação

do funcionamento de um item. Nos casos de termografias são as inspeções que fazemos periodicamente com a abertura dos painéis para verificar através de termo visores se há pontos de aquecimento em conexões ou componentes. Tal atividade demanda muito tempo de inspeção, visto que, o inspetor deve retirar as tampas traseiras dos CCMs para ter acesso as principais conexões, podemos somar ainda a condição de insalubridade que o inspetor fica ao acessar as parte energizadas. Outro fator importante é que neste tipo de intervenção as falhas podem ocorrer entre os intervalos de inspeção. Normalmente nas indústrias os pontos quentes quando identificados já estão em condições de deterioração das conexões e componentes, o que ainda contribui para um custo elevado de material (FLÁVIO SANSON FOGLIATTO e JOSÉ LUIS DUARTE RIBEIRO, 2009).

A manutenção preditiva permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva. Essa manutenção normalmente é associada a sensorização dos equipamentos, possibilitando assim um acompanhamento de forma integral da condição. As vantagens é a redução da carga horária de inspeção, monitoramento contínuo e principalmente a identificação do problema em fases iniciais o que permite uma manutenção antes da perda dos componentes. A atual desvantagem é o alto custo de implantação (ABNT, 1994).

4. Centros de Controle de Motores.

Centros de controle de motor têm sido utilizados desde 1950 pela indústria de fabricação de automóveis que utilizou um grande número de motores elétricos. Hoje, eles são usados em muitas aplicações industriais e comerciais (PRETI, 2019).

Um centro de controle de motores (CCM) é um conjunto de uma ou mais seções delimitadas que tem um barramento de energia comum e, principalmente, contendo unidades de controle do motor.

Conforme a norma os CCM são descritos como conjuntos de manobra e controle de baixa tensão, e devem passar por rigorosos processos de dimensionamentos, cálculos e testes (ABNT, 2016).

Centro de controle de motores são, em modos práticos, um conjunto de várias partidas de motores. São normalmente utilizados para acionamento de motores de corrente alternada trifásicos em baixa tensão (220 a 690 volts), porém existem centros de controle de motores de média tensão que acionam motores a uma tensão que varia de 2300 V a 15000 V.

Nas configurações mais modernas, segundo WEG (2019) os CCM são projetados com um alto índice de padronização, o que permite facilidades de montagem, instalação, manutenção, expansões futuras e intercambiabilidade entre gavetas de mesmo modelo de CCM e de mesmo tamanho e função. Certificados de acordo com a norma NBR IEC 61439 -1, normalmente os CCM estão disponíveis em duas versões:

- CCM Convencional - composto por colunas compartimentadas com gavetas fixas ou extraíveis;
- CCM inteligente - apresenta as mesmas características do CCM convencional. Contudo,

neste caso, cada gaveta que compõe o conjunto pode incorporar uma chave soft-starter, um inversor de frequência ou um relé micro processado acrescentando funções de proteção, monitoração, controle e comunicação em rede Fieldbus com acesso a sistemas digitais de controle e supervisão.

Pelas facilidades de manutenção e intercambiabilidade os CCM de gavetas extraíveis estão sendo cada vez mais utilizados na indústria, sua configuração permite agilidade no processo de manutenção e adequação simples nas situações de ampliação (WEG, 2019).

5. Falhas de aquecimento em painéis elétricos.

Dentro da infraestrutura elétrica, os Centros de Controle Motor representam uma das principais fontes de falha. Essas falhas são causadas por vários fatores diferentes, incluindo o efeito da constante ciclagem térmica nas conexões, o enfraquecimento dos conectores do tipo mola (garras), alto número de conexões e impacto desses fatores é multiplicado pela dificuldade em manter esses locais (QHI-GROUP, 2019).

Uma das características comuns em painéis elétricos são as diversas conexões entre seus componentes através de condutores e/ou barramento de cobre. Essas conexões podem ser feitas por parafusos ou sistemas de pressão por molas. Na maioria das ocorrências de aquecimentos em painéis elétricos estão localizadas nessas conexões, pois são os pontos mais susceptíveis do sistema elétrico. Os pontos quentes como são comumente chamados na indústria esses aquecimentos de conexões elétricas. De acordo com NFPA (2019) eletricidade é uma das cinco principais causas de incêndio tanto na indústria como no comércio e residências causados normalmente por sobrecargas e curto-circuito.

Os efeitos deste tipo de ocorrências em um modelo específico de painéis elétricos os Centros de Controle de Motores (CCM) com gavetas extraíveis podem ser avaliados: neste tipo de equipamento cada motor é acionado por um conjunto de componentes montados em um painel com formato de gaveta responsáveis pela proteção, pela partida e pela parada de um motor. Esta concepção de montagem em gavetas é muito importante para a manutenção e para o processo, pois permite a parada e manutenção de um motor sem afetar os demais motores instalados no mesmo CCM, porém, para que essas gavetas possam ser retiradas as conexões são feitas por um sistema de contato por pressão (mola) e são essas conexões os principais pontos que geram aquecimento neste tipo específico de equipamentos. Outro problema típico deste tipo de painel e configuração é o difícil acesso a essas conexões para inspeção o que na maioria das vezes se faz necessário a desmontagem da tampa traseira do painel para realização das termografias.

6. Sistema de medição de temperatura por PTC.

Sensores de temperatura NTC e PTC são tipos de sensores onde a relação entre resistência elétrica e a temperatura são conhecidas, mensuráveis e possuem uma boa tolerância e precisão. São amplamente utilizados, como exemplos de aplicações na indústria, em eletrodomésticos, automóveis, equipamentos eletrônicos, etc. Por terem distorções na resistência elétrica devido a temperatura estes componentes também levam o nome de

termistores. Os termistores do tipo NTC ou PTC são semicondutores que podem ter a variação de resistência de forma diretamente proporcional para os termistores do tipo PTC (positive temperature coefficient), onde a resistência elétrica irá se elevar a medida que se eleva a temperatura e inversamente proporcional para os termistores do tipo NTC (negative temperature coefficient) onde a resistência elétrica irá diminuir a medida que se eleva a temperatura (ADD THERM, 2016).

Os materiais mais usados para o NTC são manganês, níquel e cobre. Para o PTC o material mais usado é a cerâmica policristalina em um substrato de titanato de bário ($BaTiO_3$).

Os sensores do tipo PTC apresentam a característica de, somente a partir de certa temperatura, apresentar variação em sua resistência, esta temperatura é chamada de ponto de transição. Os sensores do tipo NTC e PTC operam na faixa de temperatura compreendida entre $-200^{\circ}C$ a $+1000^{\circ}C$, os NTC possuem estabilidade na faixa compreendida entre $-50^{\circ}C$ até $150^{\circ}C$.

Uma das principais aplicações do PTC na indústria são na proteção de equipamentos elétricos. Os sensores são instalados no interior dos enrolamentos de motores ou transformadores para garantir a segurança e prevenir aumento de temperaturas. Nos nossos estudos as gavetas extraíveis dos CCM estão equipadas com reles inteligentes que dispõem de uma entrada específica para PTC que deveria vir do motor, porém, não é utilizada pois optamos por utilizar um cálculo de imagem térmica.

No nosso estudo utilizaremos a entrada de PTC para conectar os sensores que serão instalados nas conexões das gavetas. A configuração de PTC utilizada nos enrolamentos de motores ou transformadores é de três sensores em série, pois, com apenas uma entrada podemos inspecionar três conjuntos de bobinas que é a configuração trifásica. No caso das gavetas utilizaremos a mesma configuração instalando um sensor na garra de alimentação, um sensor na garra de saída e o terceiro no interior da gaveta. Assim cobrimos as principais fontes de aquecimentos em gavetas extraíveis de CCM, conforme Figura 1:



Figura 1 - Sensor instalado na garra de conexão

7. Metodologia

Quanto à caracterização da pesquisa, o presente trabalho possui natureza aplicada, quanto ao objetivo, é exploratório, quanto a abordagem do problema, é qualificativo e quanto ao método de pesquisa, baseia-se em estudo de caso, uma vez que analise comparativamente tecnologias para o atingimento do objetivo do trabalho.

Para atingir o objetivo do trabalho, utilizou-se uma indústria brasileira na região de Campos do Gerais do Paraná para estudo de caso. A indústria que está presente no mercado mundial, busca aumentar a sua competitividade através da implementação de tecnologias da Quarta Revolução Industrial. As etapas da aplicação do estudo de caso encontram-se na próxima seção.

7. Aplicação

Com base na necessidade de monitorar de maneira contínua pontos de aquecimentos em painéis elétricos, inicialmente foi realizada uma análise comparativa das soluções e tecnologias disponíveis no mercado. Participaram desta ação 5 pessoas de 2 equipes diferentes, dentre elas Engenharia de Manutenção e Confiabilidade, Equipe técnica de Manutenção Preventiva. Conseguiu-se identificar 4 sistemas que podem monitorar os pontos quentes e todos com excelentes resultados, porém, cada um com sua condição específica.

- O primeiro sistema analisado tem como princípio de funcionamento a medição de temperatura através de um pulso de laser em uma fibra ótica e o efeito da luz dispersa identifica uma anomalia. O sistema é muito seguro e consegue uma leitura a cada 1 metro de fibra. O equipamento mais básico dispõe de 2 canais que podem ter fibras de até 6 quilômetros. O grande problema é o alto custo e que apenas se viabiliza na utilização de mais de 6 quilômetros ou 6000 pontos de medição, outra condição deste sistema é que a os pontos são a cada um metro de fibra e nas distribuições dos CCM que não tem gavetas com dimensões únicas terá uma certa dificuldade na identificação do local.

- O segundo sistema utiliza sensores infravermelhos para medição da temperatura, neste caso é necessário um sensor para cada ponto de medição ou conexão. Cada relé suporta até 125 sensores que para nossa aplicação o sistema atenderia 41 gavetas. Os sensores são interligados através de rede própria com cabos USB. Os valores de leitura de cada sensor podem ser acompanhados graficamente na tela do relé ou em softwares supervisórios. Os resultados de medições são de grande qualidade e o monitoramento é contínuo. Devido ao formato e ao sistema de instalação para as condições de monitoramento das garras das gavetas o sistema não pode ser aplicado, pois os espaços são extremamente reduzidos. O fator custo também é um empecilho para a aplicação.

- O terceiro sistema traz sensoriamento via PT100 cabeado, que é muito próximo da solução proposta, diferindo apenas do tipo de sensor e do relé de leitura. O sistema tem sensores PT100 instalados nas conexões e ligados a um relé de monitoramento do fabricante que permite ter em tempo real os valores de temperatura. O sistema é de um fabricante europeu e não tem distribuição no Brasil. Devido a estrutura utilizada e o tipo de sensor a solução ainda apresenta dificuldades, pois ficamos limitados ao número de entradas do relé do fabricante. O sistema apesar de simples tem um custo elevado.

- O quarto sistema utiliza também o sensoriamento com PT100, porém, a comunicação entre sensor e controlador é via wireless. A vantagem desse sistema é que não utiliza cabeamento, porém, o sensor tem vida útil e é necessário 1 sensor para cada ponto de medição. O custo deste tipo de solução também alto, principalmente para a aplicação proposta.

Como o foco é ter uma medição contínua para a redução da preventiva, e precisa-se apenas do alarme para a temperatura, a proposta é a instalação de sensores do tipo PTC, que tem custos extremamente baixos e são de simples aplicação. Na aplicação proposta as gavetas dispõem de reles inteligente com entradas para PTC o que facilita ainda mais a instalação, porém, poderia-se utilizar reles de mercado de baixo custo para a aplicação. Outra vantagem do sistema é que utiliza-se sensores similares aos utilizados no monitoramento de bobinas de motores, geradores ou transformadores, os quais tem uma configuração de três elementos sensores em apenas um circuito, ou seja, com apenas uma entrada do relé é possível monitorar três pontos diferentes da gaveta. Será adotado dessa forma, a medição da garra de alimentação, interno da gaveta e garra de saída que são os principais geradores de pontos quentes.

A tabela 1 mostra a comparação das soluções disponíveis no mercado e da proposta do trabalho, considerando um CCM de gavetas extraíveis com 50 gavetas.

Item	Tecnologia Empregada	Vantagens	Desvantagens	Investimento para instalação
1.DSTX®	Sensor de Fibra Óptica	* Alta Precisão * Medição com indicação dos valores. * Ampla faixa de Medição.	* Viável apenas para compra de mais de 6000 pontos. * Rompimento da fibra compromete várias medições. * Não atende interior de gavetas extraíveis.	41,5% do custo da gaveta
2.Varixx® ZYGGOT	Sensores individuais por infravermelho	* Alta Precisão * Medição com indicação dos valores. * Ampla faixa de Medição	* Necessidade de 1 sensor para cada ponto de medição. * Não atende interior de gavetas extraíveis.	18% do custo da Gaveta (sem módulo de controle)
3.Exertherm™ Contínuos Thermal Monitoring	Sensores tipo PT100 cabeado	* Alta Precisão * Medição com indicação dos valores. * Ampla faixa de Medição.	* Sistema cabeado * Necessário relê auxiliar para converter sinal.	11,7% do custo Gaveta.
4.IntelliSAW™ ISxx Temperature Sensor	Sensores tipo PT100 com comunicação	* Comunicação wireless * Não precisa de fonte alimentação. * Medição com indicação dos valores.	* Necessidade de 1 sensor para cada ponto de medição, necessário 3 para 1 gaveta. * Alto Custo de Implantação	Não Informado
5.Sistema "PROPOSTO PARA O TRABALHO"	Sensores tipo PTC (os mesmos utilizados em motores).	* Simples instalação e individual. * Precisão na indicação * 1 sensor lê 3 pontos ao mesmo tempo.	* Apenas alarme, para indicação de anomalia, não indica valor de temperatura. * Sistema não patenteado em fase de testes. * Necessário relê auxiliar para converter sinal.	1,78% do custo da Gaveta (Com relé de proteção).

Tabela 1 - Comparativo entre sistemas de monitoramento de temperatura (Autoria Própria, 2019)

Durante os ensaios de bancada o sistema proposto (item 5 da Tabela 1) se mostrou eficiente e confiável. O sensor foi submetido a elevações de temperaturas e o sistema respondeu conforme calibração. Testou-se o sistema para alarmes a partir de 60°C que é a faixa de calibração do sensor e quando um deles atingia o valor de calibração, o sistema atuava e um alarme aparece no supervisório, porém se o aquecimento ocorre por igual nos três sensores a atuação ficou na casa dos 48°C, isso acontece porque como os três elementos sensores são ligados em série a soma das variâncias de resistências individuais aceleram o processo de alarme. Esse efeito para o sistema de medição e alarme se mostrou muito vantajoso, pois, elevações de temperaturas vindas de locais diferentes dos locais de instalação dos sensores também serão detectadas. Percebemos também ao longo dos testes que os sensores apresentam um pequeno erro na casa de 1°C o que não interfere em sua função.

Acompanhando o processo atual de inspeção termográfica, um inspetor consegue em 8 horas de serviço verificar 30 gavetas em CCM. Com a utilização do sistema com sensores não temos mais a necessidade do acesso diário a essas gavetas, assim em uma estimativa para a realidade da nossa planta reduziríamos de 8 horas para 20 minutos o tempo de exposição diária do profissional de inspeção, visto que o mesmo só irá buscar e acompanhar os equipamentos que realmente apresentam aquecimento. Desta maneira conseguiu-se direcionar o inspetor para outras atividades como inspeção de equipamentos nas áreas, otimizando e ampliando os ativos inspecionados.

Entendeu-se também como vantagens que tais características são extremamente importantes para a proteção contra incêndio, pois a sobrecarga de sistemas elétricos é uma das principais causas de aquecimentos em conexões e componente e conseqüentemente incêndios. Tal solução pode também ser explorada para a aplicação residencial em quadros de energia com a função de prevenção à incêndio. Além de não ocupar espaço é de fácil instalação e adaptação para sistema mais antigos tanto na indústria como em residências.

Tais resultados mostram que o sistema proposto atende a solicitação da medição contínua e a um custo extremamente baixo para implantação, aproximadamente 10% do valor da tecnologia de mercado mais barata, demais soluções de mercado apesar de trazerem mais informações e utilizar tecnologias mais avançadas não se aplicam para o cenário atual da indústria brasileira em função dos altos custos de implantação. Há possibilidades de implantação em sistemas já existentes e pequenas intervenções é outra vantagem do sistema. Pode-se afirmar também que pelo sistema não utilizar os sensores interligados entre si, a perda de um sensor não interfere na leitura dos demais sensores do sistema.

A utilização dos PTC nas garras se mostraram eficazes e mesmo em condições de aquecimento em locais próximos aos instalados dos PTC foi possível identificar devido a concepção do sistema o que não é possível em algumas outras soluções. A utilização de sensores PTC no monitoramento de aquecimentos em CCM com gavetas extraíveis é de fato uma solução de baixo impacto financeiro e de instalação e que traz resultados tanto na redução das manutenções preventivas, convertendo as ações em preditivas, como no acréscimo da segurança e confiabilidade do sistema. A aplicação do sistema mostrou que tem custo muito baixo no montante do custo da gaveta, o que poderia ser item de série neste tipo de equipamento sem impactar no custo final e agregando qualidade e valor ao produto. Verificou-se que a solução vale também para CCM com configurações diferentes e até mesmo para outros tipos de painéis elétricos, como iluminação, de automação, telecomunicação entre outros ou mesmo para equipamentos não elétricos com as características de falhas por

aquecimento semelhantes, abrindo assim janela para estudo de diversas outras aplicações. Na avaliação da utilização deste tipo de sensor em sistemas elétricos e dos recursos que identificou-se durante o processos de testes, viu-se que os sensores podem trazer outros benefícios como a prevenção de incêndios, segurança do inspetor de termografia reduzindo a exposição a sistemas energizados, aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos sistemas, o que mostra a solução totalmente viável e replicável a outras indústrias.

8. Conclusão

A partir do contexto demonstrado no decorrer no trabalho, percebe-se a importância do mesmo ao ser explanado que o sistema de medição contínua em CCM com baixo custo de implantação, trará para a empresa redução das paradas de equipamentos por falha de aquecimentos, redução do tempo de inspeção, conseqüentemente dos custos inerentes, prevenção contra incêndios, e para os funcionários menos exposição a painéis energizados e disponibilidade para inspecionar outros equipamentos.

Com isso, o objetivo deste trabalho: desenvolver um sistema de medição contínua em CCM, com baixo custo de implantação numa indústria brasileira, foi consolidado. Tal consolidação possibilitou contribuições a nível acadêmico, instigando novos estudos na área de manutenção. Contribuição social, uma vez que estimula a melhoria da segurança física de pessoas no trabalho, e ainda contribuição a nível industrial, ao reduzir paradas de equipamentos de inspeção, dentre outras contribuições já apontadas.

De forma geral, através da análise comparativa entre as tecnologias de mercado para sistema de medição online de temperatura em CCM industriais, pode-se mostrar soluções simples e com baixo investimentos podem atender uma demanda industrial. A utilização desta tecnologia comparada as demais de mercados estão mais próximas da necessidade de redução de custo industrial e traz benefícios para todos os envolvidos.

Neste sentido faz-se importante sugerir outros trabalhos com temas próximos, tais como a utilização destes sistemas para outras aplicações industriais ou residenciais na prevenção de incêndios, integração com outros pilares da indústria 4.0 como internet das coisas, nuvem e inteligência artificial.

9. Referências

ABDI. AGENDA BRASILEIRA PARA INDÚSTRIA 4.0. **Indústria 40**, 2019. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/#industria>>. Acesso em: 01 set. 2019.

ABNT. **NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT– Associação Brasileira de Normas Técnicas, v. I, 1994. 37 p.

ABNT. **NBR IEC 61439-1 - Conjuntos de manobra e comando de baixa tensão - Regras Gerais**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, v. 1, 2016. 76 p.

ADD THERM. Site sobre Termistores PTC - Proteção termica. **Site da ADD THERM**, 2016. Disponível em: <<https://www.addtherm.com.br/produto/termistores-ptc/>>. Acesso em: 25 mar. 19.

EM DISCUSSÃO. Indicadores de inovação tecnológica no mundo: a posição do Brasil nos rankings. **Jornal Em Discussão**, Brasília, 07 nov. 2012.

EMERSON. Sobre sistema Electrical Asset Monitoring with IntelliSAW. **Site da Emerson Automation Solutions**, 2019. Disponível em: <<https://www.emerson.com/en-us/automation/brands/intellisaw/about-intellisaw>>. Acesso em: 15 ago. 2019.

FLÁVIO SANSON FOGLIATTO; JOSÉ LUIS DUARTE RIBEIRO. **CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**. 1ª Edição. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

ITU. **Measuring the Information Society Report 2017 - Volume 2. ICT Country profiles**. International Telecommunication Union. Geneva Switzerland, p. 29. 2017. (978-92-61-24521-4).

MARTÍNEZ, J. C. Manutenção na Indústria 4.0: ativos inteligentes, conexões cloud e manutenção preditiva. **oeletricista**, Porto, n. 62, p. 43, janeiro 2018.

NPFA. Publicação educacional da National Fire Protection Association. **National Fire Protection Association**, 2019. Disponível em: <<https://www.nfpa.org/Public-Education/Fire-causes-and-risks/Top-fire-causes>>. Acesso em: 11 set. 2019.

PRETI, J. Sobre Painel elétrico de comando e montagem de painéis. **Site da empresa Citisystems**, 2019. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/painel-eletrico-comando-montagem/>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

QHI-GROUP. Sobre o sistema Exertherm 24x7 Thermal Monitoring. **Site da QHi-Group systems division**, 2019. Disponível em: <<https://www.qhigroup.com/products/exertherm-continuous-thermal-infrared-monitoring>>. Acesso em: 15 maio 2019.

SCHWAB, K. **A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**. 1ª Edição. ed. São Paulo: Edipro, 2016.

VARIXX. Sobre o sistema ZYGGOT TUBULAR de termografia. **Site da Varixx**, 2013. ISSN <https://www.varixx.com.br/products/product/24/zyggot-tubular-sistema-de-termografia-comunicacao-por-cabo-em-rede>. Acesso em: 03 set. 2019.

WEG. **Centros de Controle de Motores de Baixa Tensão**. WEG. Jaraguá do Sul. 2019.

WIREMAN, T. **Benchmarking Best Practices in Maintenance Management**. 1ª Edição. ed. New York: Industrial Press, 2004.

YOKOGAWA. Sobre o sistema DTSX200 Distributed Temperature Sensor. **Site da Yokogawa**, 2019. Disponível em: <<https://www.yokogawa.com/solutions/products-platforms/field-instruments/fiber-optic-sensor/distributed-temperature-sensing-dtsx200/>>. Acesso em: 03 set. 2019.

YONGXIN LIAO, et al. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, p. 21, março 2017.