COINTER PDVGT 2020

IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE GESTÃO E TECNOLOGIAS

Edição 100% virtual | 02 a 05 de dezembro

ISSN:2596-0857 | PREFIXO DOI:10.31692/2596-0857

**SISTEMA DE MONITORAMENTO PREDITIVO COMO FORMA DE PREVENÇÃO
DE INCÊNDIOS EM FILTROS DE MANGAS**

**SISTEMA DE MONITOREO PREDICTIVO COMO FORMA DE PREVENCIÓN DE
INCENDIOS EN FILTROS DE MANGA**

**PREDICTIVE MONITORING SYSTEM AS A FORM OF FIRE PREVENTION IN
SLEEVE FILTERS**

Apresentação: Comunicação Oral

Felipe Pereira da Silva¹; Alexander Patrick Chaves de Sena²

DOI: <https://doi.org/10.31692/2596-0857.IVCOINTERPDVGT.0071>

RESUMO

Neste trabalho é apresentado um sistema embarcado para o monitoramento preditivo e prevenção de incêndios em um filtro de mangas de um processo de produção de óxido de chumbo. Para a identificação das causas raízes de incêndios em um filtro de mangas, foi utilizada como base a metodologia Kaizen. Após identificação das causas, foi desenvolvido um sistema embarcado com transmissão de dados via wi-fi capaz de obter dados provenientes de sensores de temperatura interligados ao filtro e enviá-los a um serviço de armazenamento em nuvem através da internet. Também foi desenvolvida uma aplicação web possibilitando a interação com o usuário e coletar dados provenientes do sistema de monitoramento, possibilitando a visualização da temperatura em tempo real e dados históricos por meio de um desktop, smartphone ou tablet. O sistema desenvolvido também é capaz de enviar sinais de alertas sempre que a temperatura do filtro ultrapasse a temperatura máxima permitida. O sistema de monitoramento mostrou-se eficiente e responsivo no envio de dados e de alertas de temperatura.

Palavras-Chave: filtro de mangas, prevenção de incêndios, monitoramento preditivo, Internet das Coisas.

RESUMEN

Este trabajo presenta un sistema empujado para monitoreo predictivo y prevención de incendios en un filtro de mangas de un proceso de producción de óxido de plomo. Para identificar las causas fundamentales de los incendios en un filtro de mangas, se utilizó la metodología Kaizen. Luego de identificar las causas, se desarrolló un sistema embebido con transmisión de datos vía wi-fi capaz de obtener datos de sensores de temperatura conectados al filtro y enviarlos a un servicio de almacenamiento en la nube a través de internet. También se desarrolló una aplicación web, que permite la interacción con el usuario y la recolección de datos del sistema de monitoreo, permitiendo la visualización de la temperatura en tiempo real y datos históricos a través de un escritorio, teléfono inteligente o tableta. El sistema desarrollado también es capaz de enviar señales de advertencia siempre que la temperatura del filtro exceda la temperatura máxima permitida. El sistema de monitoreo demostró ser eficiente y receptivo en el envío de alertas de temperatura y datos.

¹ Engenharia Mecânica, Instituto Federal de Pernambuco Campus Caruaru, felipe.psilva92@gmail.com

² Doutor, Instituto Federal de Pernambuco Campus Caruaru, alexander.sena@caruaru.ifpe.edu.br

Palabras Clave: filtro de mangas, prevención de incendios, monitoreo predictivo, Internet de las cosas.

ABSTRACT

This work presents an embedded system for predictive monitoring and fire prevention in a sleeve filters of a lead oxide production process. To identify the root causes of fires in the sleeve filter, the Kaizen methodology was used. After identifying the causes, an embedded system was developed with data transmission via wi-fi capable of obtaining data from temperature sensors connected to the filter and sending them to a cloud storage service over the internet. A web application was also developed, enabling interaction with the user and collecting data from the monitoring system, allowing the visualization of the temperature in real time and historical data through a desktop, smartphone or tablet. The developed system is also capable of sending warning signals whenever the filter temperature exceeds the maximum allowed temperature. The monitoring system proved to be efficient and responsive in sending data and temperature alerts.

Keywords: sleeve filter, fire prevention, predictive monitoring, Internet of Things.

INTRODUÇÃO

As normas ambientais têm se tornado cada vez mais restritivas em virtude da crescente preocupação com as modificações climáticas, e nas condições de saúde dos colaboradores e vizinhos das indústrias (LIMA, 2019). Os maiores volumes de emissões de efluentes atuais, em curva de crescimento, contrapondo os rígidos limites de emissões, norteiam uma dependência cada vez mais ampla dos equipamentos de exaustão e filtragem (BARBOSA, 2014). Os sistemas de proteção ambiental têm se tornado cada vez mais importantes dentro de instalações industriais, com a finalidade de exaurir os gases oriundos do processo produtivo, contendo material particulado, provendo a separação e o descarte na atmosfera, de gases isentos de particulado ou contendo material particulado dentro dos limites pré-estabelecidos (LIMA, 2019).

Existem diversos tipos de sistema de proteção industrial, dentre eles: filtros de mangas, ciclones e multiciclones, lavadores de gases, precipitadores eletrostáticos, câmara inercial, dentre outros. O filtro de mangas é o mais utilizado dentro da indústria, pois apresenta alta eficiência de coleta (acima de 99%) para partículas inaláveis. A mistura gasosa é exaurida por um sistema de exaustão, que pode ser instalado antes ou depois do filtro, passando por dentro de uma rede de dutos até chegar ao filtro propriamente dito, obrigando a passagem dessa mistura que contém as partículas através de um material filtrante (mangas filtrantes). A mistura atravessa os seus poros e as partículas, na sua maioria, ficam retidas na sua superfície, sendo necessária uma limpeza periódica para evitar uma camada muito espessa, que dificultaria a passagem do gás (aumento da queda de pressão) (LIMA, 2019). Para cada tipo de manga filtrante existe um limite de temperatura de trabalho. Problemas no monitoramento da temperatura de trabalho podem causar encolhimento, ressecamento ou

ainda excesso térmico, ocasionando uma queima das mangas e a possibilidade de incêndio do filtro, dependendo das condições de oxigênio no ambiente de filtração. Uma correção não planejada destes problemas pode ocasionar um alto custo de manutenção.

O monitoramento preditivo almeja a detecção e a indicação da natureza de uma avaria em estado inicial por meio da análise periódica dos parâmetros da máquina, possibilitando uma ação planejada. Em geral, a predição de uma avaria é realizada por meio da extração de sinais e do processamento das informações que geram um diagnóstico sobre a condição da máquina. O processamento de informações em tempo real ou (real time) ocorre quando um sistema de processamento “on-line” consegue processar dados com velocidade igual à ocorrência, ou seja, quando o dado é informado ao sistema ele é processado. O processamento em tempo real é bastante útil para o monitoramento de equipamentos industriais no conceito da Manutenção 4.0, pois as informações podem ser agregadas localmente e transmitidas para dispositivos remotos, que podem realizar o monitoramento, com respostas rápidas quando necessárias.

Na conjectura da Manutenção 4.0, existe um incentivo na utilização dos recursos da Internet of Things (IoT) que, segundo Lemos e Rodrigues (2014), apontam para uma ampla conexão dos mais diversos objetos com a Internet, fazendo com que diversos objetos físicos ou virtuais possam sentir o ambiente, trocar informações, realizar informações com outros objetos.

Observando todo este contexto, se tornou relevante o desenvolvimento de soluções que almejam uma diminuição das paralisações da produção por falha em equipamentos, promovendo um aumento do índice de disponibilidade da máquina e redução dos custos de manutenção, através do monitoramento preditivo em tempo real, utilizando os conceitos de IoT.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Filtro de Mangas

Segundo Manahan (2013), os filtros de mangas são equipamentos utilizados para remover partículas contidas em um meio gasoso depositando-as em um coletor de poeiras industriais. O Filtro de mangas é o equipamento mais antigo utilizado para remoção de partículas sólidas de uma corrente gasosa, sendo um equipamento de fácil operação (RODRIGUES, 2006).

Lisboa (2007) aponta como principais vantagens dos filtros de mangas a elevada

eficiência de coleta que chega a 99,9%, a vida útil longa de até 20 anos e também o fato da coleta do material ser a seco, possibilitando a recuperação do material de maneira fácil. Lisboa (2007) apresenta algumas desvantagens dos filtros de mangas, dentre elas estão a temperatura máxima de operação que é restringida ao material da manga e o elevado custo de manutenção.

O filtro de mangas pode ser dividido em três grandes partes: câmara/pleno de ar limpo, corpo principal e moega. Existem vários tipos de filtros de mangas, dentre os principais estão os de mangas verticais e mangas horizontais, porém o princípio básico de funcionamento é o mesmo: o ar sujo é forçado por um exaustor a entrar no filtro, forçando a sua passagem através das mangas, retendo o material particulado em suas fibras, o ar limpo é então exaurido através da câmara limpa onde é devolvido à atmosfera através de chaminés. As mangas são limpas em intervalos definidos através de um sistema de limpeza onde desprende o particulado das mangas acondicionando-os em um coletor industrial ou transportado através de uma válvula rotativa acoplada a uma rosca de transporte direcionando o material ao processo. A Fig.(01) apresenta os componentes básicos dos filtros com mangas.

Figura 01: Componentes do filtro de mangas verticais.

Fonte: Adaptado de Depurfiltech (2020).

Internet das Coisas

Pode-se dizer que a Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things - IoT*) ou Internet dos objetos é uma extensão da Internet atual, que proporciona aos objetos do dia-a-dia, mas com capacidade computacional e de comunicação, se conectarem à Internet. Neste contexto, para (SANTOS et al., 2016) fica claro que com essas novas possibilidades, surgem grandes oportunidades de aplicações no dia-a-dia possibilitando controle e monitoramento remoto dos objetos em tempo real. O mais preocupante, contudo, é constatar que com todo esse avanço tornam-se necessário vencer desafios que permeiam o meio técnico e social.

A Internet das coisas está sendo utilizada em diversas áreas de aplicação, tal como em instalações de fabricação (automação de chão de fábrica), redes de energia, monitoramento de saúde, de segurança, monitoramento ambiental, entretenimento, sistemas de transporte, etc. essas aplicações estão sendo conectadas à internet, e, portanto, podem ser controladas e monitoradas a partir de qualquer lugar. Essa conectividade significa uma maior quantidade de dados, recolhidos a partir de mais lugares, com muitas maneiras de aumentar a eficiência e melhorar a proteção e segurança. (FABRICIO, 2018, p. 21).

É possível perceber, que a Internet das Coisas vem ganhando cada vez mais espaço numa multiplicidade de áreas da vida humana, permitindo a comunicação interativa entre os objetos e usuários.

A Internet das Coisas, à parte maiores rigores semânticos, é um termo que acaba evocando o aumento da comunicação entre máquinas pela internet (M2M, ou machine-to-machine, que recentemente ultrapassou em volume a comunicação interpessoal pela internet), o desenvolvimento de diversos utensílios (desde os prosaicos exemplos das geladeiras ou torradeiras ligadas à internet), além de microdispositivos, como sensores que, dispostos das mais diversas maneiras para captar dados a partir de seu ambiente, tornam-se partes integrantes da internet. (MAGRANI, 2018, p. 11)

A conexão com a rede mundial de computadores viabilizará o controle remoto dos objetos e permitirá que os próprios objetos sejam acessados como provedores de serviços. Estas novas habilidades, dos objetos comuns, geram diversas oportunidades tanto no âmbito acadêmico quanto no industrial (SANTOS et al., 2016). Há uma particular relevância o fato de a Internet das Coisas estimular o desenvolvimento de novas aplicações e novos produtos

(MAGRANI, 2018).

Segundo dados levantados pela consultoria de risco Marsh (2018), a Internet das Coisas, com 48% de participação, é a segunda tecnologia mais utilizada nas empresas em todo o mundo ficando atrás apenas da telemetria, mostrando o grande potencial que esse setor tem na área da tecnologia.

A IoT pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual (SANTOS et al., 2016). A Fig.(02) apresenta os blocos básicos de construção da IoT.

Figura 02: Blocos básicos da IoT.

Fonte: Santos et. al. (2016).

- **Identificação:** é um dos blocos mais importantes, visto que é primordial identificar os objetos unicamente para conectá-los à Internet. Tecnologias como RFID, NFC (Near Field Communication) e endereçamento IP podem ser empregados para identificar os objetos.
- **Sensores/Atuadores:** sensores coletam informações sobre o contexto onde os objetos se encontram e, em seguida, armazenam/encaminham esses dados para *data warehouse*, *clouds* ou centros de armazenamento. Atuadores podem manipular o ambiente ou reagir de acordo com os dados lidos.
- **Comunicação:** diz respeito às diversas técnicas usadas para conectar objetos inteligentes. Também desempenha papel importante no consumo de energia dos objetos sendo, portanto, um fator crítico. Algumas das tecnologias usadas são Wi-Fi, Bluetooth, IEEE 802.15.4 e RFID.

- Computação: inclui a unidade de processamento como, por exemplo, processadores, microcontroladores e FPGAs, responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes.
- Serviços: a IoT pode prover diversas classes de serviços, dentre elas, destacam-se os Serviços de Identificação, responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) (de interesse do usuário) em Entidades Virtuais (EV) como, por exemplo, a temperatura de um local físico em seu valor, coordenadas geográficas do sensor e instante da coleta;
- Serviços de Agregação de Dados que coletam e resumizam dados homogêneos e/ou heterogêneos obtidos dos objetos inteligentes; Serviços de Colaboração e Inteligência que agem sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário; e Serviços de Ubiquidade que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários.
- Semântica: refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Trata da descoberta de conhecimento e uso eficiente dos recursos existentes na IoT, a partir dos dados existentes, com o objetivo de prover determinado serviço. Para tanto, podem ser usadas diversas técnicas como Resource Description Framework (RDF), Web Ontology Language (OWL) e Efficient XML Interchange (EXI).

METODOLOGIA

No período de 12 meses ocorreram dois incêndios no filtro de mangas em estudo gerando um custo total de R\$ 500.300,00 para reparo. O filtro possui um sistema supervisorio de temperatura e de combate a incêndio, que atua na ultrapassagem de 135°C no corpo do filtro. No entanto, nos incêndios ocorridos, houve aumento de temperatura acima do normal no interior do filtro que não foi percebido rapidamente pela operação.

Inicialmente a aplicação da metodologia Kaizen, permitiu a identificação do problema de incêndios no filtro de mangas, a definição dos objetivos das soluções, a observação de forma detalhada do problema através da ferramenta 5G, a análise das causas do incêndio através das ferramentas de Brainstorm, diagrama de causa e efeito e “5 Porquês”, onde foi possível identificar as causas raízes e propor um plano de ação. No Quadro (01) são apresentadas as causas identificadas e as soluções implementadas.

A aplicação dos métodos possibilitaram a conclusão sobre as causas raízes, sendo

estas ocasionadas devido a imobilidade do sistema de monitoramento de temperatura original da máquina, e neste sentido, uma solução seria o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto e móvel. Com a concepção de sistema remoto e móvel, seria possível a atuação antecipada da ocorrência de um incêndio. O software de monitoramento original do filtro é instalado em apenas um computador, localizado em uma sala de pouco acesso. Apesar do monitoramento em tempo real da temperatura, o sistema original está disponível apenas para o operador do moinho que passa parte do tempo realizando outras atividades, tais como o descarrego de óxido que acontece em ambiente externo a localização do filtro.

Quadro 01: Causas identificadas e soluções propostas.

Nº	CAUSAS IDENTIFICADAS	SOLUÇÃO
1	Falha no sistema de limpeza causado pelo desalinhamento do tubo de sopragem	Realização da manutenção corretiva e restauração das condições básicas
		Criação de um check-List de inspeção diária e cadastro do equipamento no plano de manutenção preventiva
2	Mangas inapropriadas para o processo	Substituição por mangas de filtragem de maior resistência térmica
3	Falha no sistema de combate à incêndio	Desenvolvimento e implementação de um sistema de monitoramento remoto de temperatura
4	Sistema de monitoramento ineficiente para o processo	

Fonte: Própria (2020).

O desenvolvimento do sistema de monitoramento remoto de temperatura, para o filtro de mangas, foi idealizado para ser simples e efetivo, tornando possível o monitoramento a partir de qualquer lugar com acesso à internet. Para o desenvolvimento do sistema remoto foi necessária a definição do fluxo de funcionamento. A partir do fluxo foi possível realizar a seleção dos componentes eletrônicos necessários para o projeto. O diagrama de fluxo do sistema é apresentado na Fig.(03).

Um sensor tipo termopar foi utilizado para a medição da temperatura, e através de um módulo leitor foi possível fornecer os dados para o NodeMCU para o processamento. O NodeMCU se conecta à rede local wi-fi a qual envia os dados de temperatura via internet para uma plataforma IoT online que armazena os valores em nuvem computacional. Nesse projeto foram escolhidas as plataformas Blynk e a Cayenne my Devices. Nessas plataformas é possível plotar gráficos e armazenar dados na nuvem, sendo possível analisar o histórico dos dados, além de ser possível enviar alertas quando a temperatura ultrapassar um patamar estipulado. Todas essas informações podem ser acompanhadas a partir de smartphones, tablets ou desktops.

Figura 03: Diagrama de funcionamento do sistema.

Fonte: Própria (2020).

A NodeMCU foi desenvolvida com o objetivo de se tornar uma plataforma open-source, voltada ao desenvolvimento de projetos de IoT, tendo por base a ESP8266, uma das mais populares placas encontradas no mercado. A NodeMCU, pode ser programado através do IDE (Integrated Development Environment) do Arduino. Portanto, para fazer a leitura dos dados de temperatura e publicá-los em um serviço de IoT, utilizou-se o NodeMCU em sua versão V3 da fabricante LOLIN que utiliza o módulo ESP8266 ESP-12 para se conectar à internet. Para facilitar a montagem do protótipo e conexões dos circuitos externos, utilizou-se a Placa Base de Expansão NodeMCU.

Para ser realizada a leitura de temperatura utilizou-se um termopar do tipo K e o módulo leitor de temperatura MAX6675. O MAX6675 é um conversor analógico-digital ADC (Analogic to Digital Converter) que emite os dados no formato leitura compatível com o protocolo de comunicação SPI (Serial Peripheral Interface) com resolução de 12 bits, aceitando a comunicação com um microcontrolador. O MAX6675 faz a correção de linearidade, detecta possíveis falhas no termopar e juntos, o módulo e o termopar do tipo K, podem operar em temperaturas entre 0 °C e 1024 °C com uma resolução de 0,25 °C.

Após a aquisição dos materiais, foi esboçado o diagrama esquemático do projeto apresentando as conexões entre os componentes, detalhando as pinagens e a fonte de alimentação conforme a Fig.(04).

Os dados coletados pelo NodeMCU são enviados para plataformas na internet para serem analisados e processados. Essas plataformas possuem sistemas de nuvem onde armazenam os dados e permitem o desenvolvimento de interfaces dinâmicas. Nas interfaces

disponibilizadas nas plataformas, criam ambientes onde permite a interação entre dispositivos e usuários, permitindo o armazenamento de dados, análise e direcionar as informações obtidas para servirem de input para dispositivos conectados na rede.

Figura 04: Diagrama esquemático da montagem do protótipo.

Fonte: Própria (2020).

Portanto, realizou-se uma avaliação de diversas plataformas gratuitas de IoT, em que se ponderou a funcionalidade, praticidade, operabilidade, desempenho e design das plataformas. Dentre as plataformas avaliadas, as que tiveram maior desempenho, foram a Blynk e a Cayenne da empresa myDevices. A escolha de duas plataformas se deu pelo fato de a Blynk apresentar um elevado desempenho através de seu aplicativo que é disponível apenas smartphones. A Cayenne apesar de estar disponível para smartphone e desktop, sua aplicabilidade em Smartphone apresentou alguns bugs e não oferecia tantos recursos quanto a Blynk. Escolheu-se o Cayenne para o uso em desktop.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de monitoramento foi instalado no filtro de mangas, onde foi fixado o termopar por meio de um prensa-cabo instalado na parte superior do filtro. O ponto de instalação do termopar para medição de temperatura interna do filtro foi escolhido de acordo com as especificações do fabricante. A instalação ficou espaçada em 40 cm do termopar utilizado pelo sistema de supervisor existente na máquina (mas ineficiente), conforme apresentado na Fig.(05). O sistema embarcado utilizou uma rede wi-fi, para transmitir os dados através da internet para as plataformas IoT.

Figura 05: Instalação do protótipo no filtro.

Fonte: Própria (2020).

Após a instalação do sistema de monitoramento no filtro de mangas, foram realizados testes comparando os dados de temperatura obtidos pela solução desenvolvida, com os dados obtidos através do sistema supervisorio original da máquina. Ambos, os sistemas, utilizam termopares do tipo K, os quais foram calibrados em laboratório de instrumentação e metrologia.

Os dados obtidos pelos dois sistemas são apresentados na Fig.(06). Na Tab.(01) são apresentados os dados utilizados para gerar o gráfico da Fig.(06), as variações e erros associados às leituras realizadas pelo protótipo e o supervisorio da máquina.

Figura 06: Comparação de temperaturas medidas pelo protótipo e pelo supervisorio da máquina.

Fonte: Própria (2020).

Tabela 01: Comparativo entre resultados das leituras de temperatura (supervisório e protótipo).

Leitura pelo sistema supervisório [°C]	Leitura pelo Protótipo (MAX6675) [°C]	Precisão do termopar do sistema supervisório [°C]	Erro Máximo admissível (Datashet) [°C]	Variação admitida entre leituras (Protótipo - supervisório) [°C]	Variação das leituras (Protótipo - supervisório) [°C]	Erro medido entre leituras [%]
74,5	74,1	2,5	5	7,5	0,4	0,5%
76,6	76,4	2,5	5	7,5	0,2	0,3%
77,1	77,9	2,5	5	7,5	0,8	1,0%
79,2	80,1	2,5	5	7,5	0,9	1,1%
81,1	81,4	2,5	5	7,5	0,3	0,4%
84,3	83,2	2,5	5	7,5	1,1	1,3%
86,7	87,1	2,5	5	7,5	0,4	0,5%
88,1	87,6	2,5	5	7,5	0,5	0,6%
91,5	90,8	2,5	5	7,5	0,7	0,8%
93,6	94,2	2,5	5	7,5	0,6	0,6%
95,7	96,8	2,5	5	7,5	1,1	1,1%
99	99,5	2,5	5	7,5	0,5	0,5%
102,8	103,5	2,5	5	7,5	0,7	0,7%
105,1	105,1	2,5	5	7,5	0	0,0%
106,5	105,6	2,5	5	7,5	0,9	0,8%
106,7	108,1	2,5	5	7,5	1,4	1,3%
111	109,7	2,5	5	7,5	1,3	1,2%
112,5	111,8	2,5	5	7,5	0,7	0,6%
112,9	112,3	2,5	5	7,5	0,6	0,5%
114,4	113,9	2,5	5	7,5	0,5	0,4%
116,3	114,4	2,5	5	7,5	1,9	1,6%
114,6	115,5	2,5	5	7,5	0,9	0,8%
116,2	116,2	2,5	5	7,5	0	0,0%
116,1	116,6	2,5	5	7,5	0,5	0,4%
118,3	117	2,5	5	7,5	1,3	1,1%
117,3	117,6	2,5	5	7,5	0,3	0,3%
120,8	119,6	2,5	5	7,5	1,2	1,0%
120,1	120,6	2,5	5	7,5	0,5	0,4%
MÉDIA				7,5	0,7	0,7%

Fonte: Própria (2020).

Na Tab.(01) observa-se uma variação média de 0,7°C entre os dados obtidos pelo sistema supervisório e o protótipo. O erro máximo admitido pelo MAX6675 mais o termopar tipo K é ± 5 °C para temperatura entre 0 e 700°C conforme apresentado em seu datasheet. O termopar utilizado no sistema supervisório tem uma precisão de $\pm 2,5$ °C para temperaturas entre 0 e 800°C, podendo existir uma variação entre as duas leituras de 7,5°C. Portanto, todos os pontos analisados se encontram dentro de uma faixa aceitável para validação da solução.

Para realizar o monitoramento da temperatura do filtro de mangas, foram criadas interfaces utilizando Widgets para visualizar os dados em tempo real e o histórico de temperatura por meio de gráficos, permitindo uma interação mais sofisticada aos usuários. Na Fig.(07) é apresentada a interface desenvolvida para monitoramento de temperatura a partir de smartphone e tablet pelo aplicativo Blynk. Na Fig.(08) é apresentada a interface web desenvolvida para monitoramento de temperatura pela plataforma Cayenne.

Figura 07: Interface desenvolvida para monitoramento de temperatura a partir de smartphone e tablet pelo aplicativo Blynk.

Fonte: Própria (2020).

Figura 08: Interface web desenvolvida para monitoramento de temperatura pela plataforma Cayenne.

Fonte: Própria (2020).

Em ambas as plataformas, foram configurados os gatilhos para enviar alertas automáticos para os e-mails e smartphones de supervisores e gerentes de manutenção, mantenedores, encarregados e supervisores de produção, técnicos e supervisores de segurança do trabalho toda vez que a temperatura do filtro ultrapasse 135°C. O sistema mostrou-se bastante responsivo, onde o tempo de resposta entre o evento e o alerta é menor que 4 segundos, ou até menor dependendo da qualidade do sinal de internet. Também, definiu-se um intervalo de 3 minutos entre o envio de alertas por e-mail, e um intervalo de 25 segundos entre as notificações de alertas pelo smartphone. As plataformas armazenam, nas suas respectivas nuvens, dados de até 365 dias anteriores e permitem o download do histórico dos dados no formato CSV (Comma-Separated Values), onde é compatível com o aplicativo Excel. Na Fig.(09), são apresentados os dados armazenados na nuvem do Cayenne. Os dados são atualizados em tempo real e podem ser consultados personalizando intervalos de tempo.

Figura 09: Dados armazenados na nuvem da plataforma Cayenne.

Monitoramento de temperatura							
Live m h d w 1mo Custom Query							
Timestamp	Device Name	Channel	Sensor Name	Sensor ID	Data Type	Unit	Values
2020-04-17 8:48:09	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.25
2020-04-17 8:48:06	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	28.75
2020-04-17 8:48:03	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.5
2020-04-17 8:48:00	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.5
2020-04-17 8:47:57	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.25
2020-04-17 8:47:54	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.5
2020-04-17 8:47:51	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.25
2020-04-17 8:47:48	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29
2020-04-17 8:47:44	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.25
2020-04-17 8:47:41	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.25
2020-04-17 8:47:38	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.5
2020-04-17 8:47:35	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.75
2020-04-17 8:47:34	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.5
2020-04-17 8:47:29	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.5
2020-04-17 8:47:26	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.5
2020-04-17 8:47:23	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.5
2020-04-17 8:47:20	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.25
2020-04-17 8:47:17	Temperatura ...	1	Histórico de temperatura do F...	18b09340-8047-11ea-b767-3...	temp	°C	29.75

Fonte: Própria (2020).

Na Fig.(10) é apresentado o histórico de temperatura do filtro de mangas obtido a partir da plataforma Blynk, os dados foram plotados em Excel. O gráfico também mostra que no dia 22/08 houve um aumento de temperatura acima de 135°C e em seguida uma queda brusca de temperatura devido à atuação imediata do sistema de combate a incêndio.

Figura 10: Dados históricos de temperatura do filtro.

Fonte: Própria (2020).

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a aplicação em campo do monitoramento preditivo, análises de manutenção e engenharia, como ação para redução dos custos de manutenção devido aos constantes focos de incêndios em um filtro de mangas. Como solução as

limitações de mobilidade do sistema supervisor original do filtro, foi desenvolvido um sistema embarcado de baixo custo capaz de obter dados de temperatura e monitorá-los em tempo real a partir de um Smartphone, Tablet ou Computador através de plataformas destinadas à Internet of Things (IoT). Este trabalho também permitiu a identificação das causas raízes do problema de incêndio no filtro estudado através de um processo investigativo utilizando a metodologia Kaizen.

A descrição do trabalho também apresentou o funcionamento do sistema embarcado, onde se utilizou a placa de desenvolvimento NodeMCU V3, capaz de obter dados provenientes de um termopar tipo K interligado ao filtro de mangas. Os dados coletados foram enviados para as plataformas de IoT, Blynk e Cayenne, onde foi desenvolvido uma interface para interagir com os usuários, possibilitando a visualização da temperatura em tempo real, dados históricos por meio de gráficos, além do envio de alertas quando o sistema atinge um patamar de temperatura estipulado.

As soluções aplicadas ofereceram uma economia de R\$ 500.300,00 ao ano, evitando avarias provenientes de incêndios em filtros de mangas. O investimento financeiro da solução foi de R\$ 208,50, valor utilizado para aquisição dos componentes utilizados para construção do sistema embarcado. Diante dessas informações, fica evidente que os objetivos do trabalho foram alcançados.

A realização do comparativo entre as temperaturas medidas pelo sistema desenvolvido e o sistema supervisor da máquina, mostrou resultados positivos, onde se observou uma variação média de $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, M.G. **Uso de Filtro de Mangas Para Tratamento de Gases Resultantes da Combustão de Bagaço de Cana**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia da UNESP - Campus de Bauru. Bauru. 2014.

DEPURFILTECH, 2020. **Sección Filtro Mangas Tipo**. Disponível em: <depurfiltech.es>. Acesso em: 28 out. 2020. il. color.

FABRICIO, M.A. **Monitoramento de Equipamentos Elétricos Industriais Utilizando IOT**. 2018. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Campinas. 2018.

LEMO, A.L.M.; RODRIGUES, L.P.B. Internet das Coisas, Automatismo e Fotografia: Uma Análise pela Teoria Ator-Rede. Revista FAMECOS, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 1016-1040, 2014.

LIMA, W.F. **Análise da Distribuição de Ar em um Filtro de Mangas Utilizando Dinâmica**

dos Fluidos Computacional. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte. 2019.

LISBOA, H.D.M. **Controle da Poluição Atmosférica.** 1ª. ed. Montreal: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MAGRANI, E. **A Internet das Coisas.** Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental.** 9ª ed. São Paulo: Bookman Editora LTDA, 2013.

MARSH. **2018 Communications, Media, and Technology Risk Study.** [S.l.]: Marsh & McLennan companies, 2018.

RODRIGUES, K.B. **Filtração de Gases: Estudo da Deposição de Diferentes Tortas de Filtração em Diferentes Meios Filtrantes.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2006.

SANTOS, B.P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. **[Anais].** Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, Belo Horizonte, 2016.