

# Técnicas de Análise de Dados de uma Linha de Produção Monitorados via IoT

Robson Quero

Faculdade de Engenharia de  
Computação  
Pontifícia Universidade Católica de  
Campinas – PUC Campinas  
Campinas - Brasil  
robsonquero@hotmail.com

Frank Behrens

Mestrado Profissional em Gestão de  
Redes de Telecomunicações  
Pontifícia Universidade Católica de  
Campinas – PUC Campinas  
Campinas - Brasil  
frank@puc-campinas.edu.br

Marcos Aurelio Fabricio

Mestrado Profissional em Gestão de  
Redes de Telecomunicações  
Pontifícia Universidade Católica de  
Campinas – PUC Campinas  
Campinas - Brasil  
marcoaureliojf@msn.com

**Resumo** — Este trabalho apresenta os resultados de estudos e implementação de técnicas de análise de dados, aplicadas a um caso real de monitoramento da corrente elétrica consumida por motores elétricos trifásicos, instalados em uma máquina de uma linha de produção de autopeças, com o objetivo de correlacionar os dados capturados com a possibilidade de ocorrência de falhas, visando a implantação de uma estratégia de supervisão de um processo produtivo. Nessa aplicação pode-se, por exemplo, realizar uma sumarização dos dados para verificar se uma variável está dentro de uma determinada faixa de valores entendida como normal, ou ainda detectar valores ocasionais muito distintos dos valores normais, conhecidos como outliers. Os resultados obtidos foram consistentes, indicando que o objetivo desse projeto foi alcançado por contribuir com a expansão dos conhecimentos relacionados ao monitoramento de dados colhidos de aplicações, através de uma central responsável por gerenciar a comunicação entre sensores de forma eficiente e tornar os dados acessíveis em nuvem através plataformas de serviços de IoT.

**Palavras Chaves** — análise de dados, tratamento de dados, internet das coisas, sumarização.

## I. INTRODUÇÃO

Equipamentos elétricos utilizados em linhas de produção inesperadamente podem falhar, causando em alguns casos a interrupção do processo produtivo, com conseqüente impacto econômico e operacional, seja pelo tempo despendido na manutenção sem produção, ou pela redução do volume produzido no final da jornada de trabalho.

Mesmo operando em condições aparentemente normais, pode ocorrer que, antes do aparecimento uma falha, determinadas variáveis elétricas do equipamento apresentem alguma variação, saindo de sua faixa de normalidade operativa, porém ainda não constituindo valores considerados anormais. Por exemplo, o consumo de corrente de um motor elétrico pode aumentar além do seu valor nominal por causa de algum processo degenerativo na isolação que redunda com o tempo em um curto circuito entre enrolamentos.

Portanto, o monitoramento de variáveis de interesse de uma máquina abre a possibilidade de obtenção de um histórico de dados que permita posteriormente a correlação com fatos relacionados à sua operação.

A supervisão contínua e em tempo real de um equipamento pode ser feita através da instalação de sensores apropriados para medir grandezas diretamente relacionadas à perfeita funcionalidade do mesmo, tais como temperatura, pressão, vibração, alinhamento, ruído sonoro, e em se tratando de equipamentos elétricos, incluem-se sensores de corrente e tensão elétrica. Dessa forma, detectada alguma anomalia, a operação do equipamento pode ser interrompida para executar a manutenção necessária num momento mais propício, sem impacto no ritmo de produção.

Um procedimento de manutenção preditiva se torna possível à medida que o histórico de dados permita a antecipação de perigo iminente de falha conforme o valor de certas variáveis evolua com o tempo.

Neste trabalho, são apresentados os resultados experimentais obtidos no monitoramento do consumo de corrente elétrica trifásica de uma máquina de uma linha de produção automotiva, escolhida como estudo de caso. O sistema de monitoramento foi concebido de forma a permitir o envio dos dados a aplicativos customizados ou a plataformas de pós-processamento, via internet, caracterizando em si uma aplicação de Internet das Coisas (IoT) [1-3]. Visa ainda prospectar, analisar e desenvolver técnicas de análise de dados, visando sua sumarização, detecção de tendências, propriedades e alarmes, de forma a propiciar a interação automática com o objeto monitorado e a visualização mais adequada dos dados de aplicações na internet por parte dos usuários.

## II. FUNDAMENTAÇÃO

### A. Internet das Coisas IoT

A Internet das Coisas (IoT) pode ser entendida como uma rede de dispositivos capazes de comunicar controle e dados através da Internet. Estes dispositivos possuem capacidade de processamento local, de forma a interagir com seus estados internos, que caracterizam o controle, ou variáveis do ambiente externo que caracterizam os dados a serem veiculados. Esta arquitetura apresenta o potencial para permitir o monitoramento e controle remoto de uma ampla rede de dispositivos interconectados em um sistema complexo.

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 [3].

A Fig. 1 ilustra a plataforma de IoT utilizada neste presente trabalho. Nesta plataforma, diversos Módulos Sensores-Atuadores (MSA) constituem os nós remotos da rede, estão associados localmente a sensores  $S_n$  e atuadores  $A_n$ , e se comunicam por conexão cabeada ou sem fio com um nó base, Módulo Concentrador de Dados (MCD), perfazendo no conjunto flexível e expansível.

Um MCD coleta os dados capturados por um ou mais MSAs, realiza um tratamento preliminar desses dados visando sua sumarização, e na sequência se comunica via internet com um Sistema de Aplicação (SIS) hospedada em um servidor específico ou na nuvem, permitindo o acesso de informações do processo supervisionado por parte de usuários conectados por meio de aplicativos AP. A aplicação SIS realiza a análise final dos dados, mantém o histórico completo das informações coletadas, gera relatórios que facilitem o entendimento da informação de interesse pelos usuários do sistema e também é responsável pela comunicação de alarmes nos casos em que as variáveis monitoradas exibam um comportamento fora do seu padrão normal [4 – 6].

### B. Estudo de Caso

Foi escolhido como local de estudo uma linha de produção de uma empresa do setor automotivo, situada em Limeira SP. A linha é constituída por 10 estações de trabalho, que realizam operações unitárias do processo de fabricação, de forma sequencial. O tempo de ciclo de cada operação é de 40 segundos [7].

Nesta linha de produção, foi escolhido como objeto de estudo uma das estações de trabalho responsável pela operação de testes da peça produzida. A Fig. 2 mostra o aspecto externo da máquina monitorada, onde observa-se o acesso do operador humano na parte frontal (Fig. 2.a) que realiza a inserção da peça e o abastecimento de insumos.

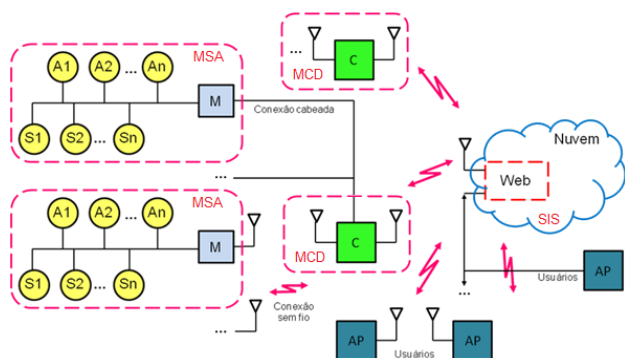


Fig. 1 – Plataforma de IoT.

Na parte traseira da máquina (Fig. 2.b) ocorre o acesso à peça processada por parte de um braço robótico. A Fig. 3 mostra o painel de controle, externo à máquina monitorada, onde o sistema de monitoramento foi instalado.

Foi realizada a instalação de sensores de corrente monitorados por um módulo MSA (conforme Fig. 1) instalado no painel de controle da máquina objeto de estudo, para monitoramento do consumo de corrente trifásica. Estes sensores capturam dados em tempo real que permitem avaliar o comportamento dinâmico da máquina quando em operação.

A detecção de eventos anormais através da análise do seu comportamento permite, em princípio, realizar intervenções extraordinárias na máquina, tais como intervenções de manutenção preventiva, para sanar um possível desgaste ou ajustar algum parâmetro importante, sem impactar a qualidade do processo, ou o andamento da produção.

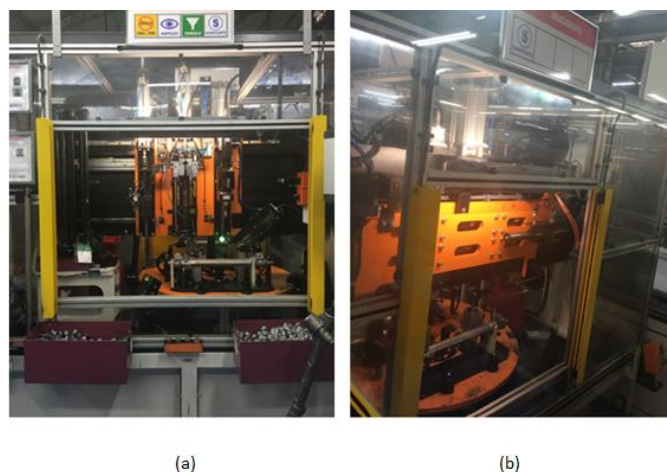


Fig. 2 – Equipamento amaciamento escolhido como objeto de estudo: (a) vista frontal e (b) vista traseira.



Fig. 3 – Painel de controle da máquina monitorada.

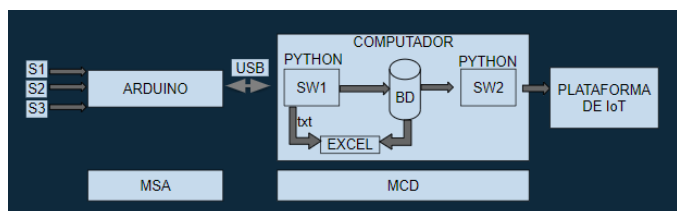


Fig. 4 - Diagrama de blocos para monitoramento de corrente elétrica em motores.

### III. METODOLOGIA

A Fig. 4 apresenta o diagrama de blocos do sistema de monitoramento proposto. Os dados capturados da aplicação são encaminhados até o módulo MSA.

Na sequência, as informações recebidas pela parte receptora são enviadas a um computador portátil via USB, onde um aplicativo específico, composto pelos elementos SW1, BD (banco de dados) e SW2, escrito em linguagem de programação Python [8], realiza o processamento complementar relativo ao MCD encaminhando até uma plataforma de IoT.

Como elemento de processamento para implementar as funções dos módulos MSA e MCD, utilizou-se um módulo Arduino Uno R3. Este módulo contém todo o circuito eletrônico necessário para suportar o microcontrolador, bastando apenas conectá-lo a um computador por meio de um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC-DC ou bateria de 9 volts.

O microcontrolador na placa é programado utilizando uma linguagem de programação baseada em C/C++ e o ambiente de desenvolvimento IDE (*Integrated Development Environment*) próprio da plataforma Arduino. O módulo Arduino Uno R3 pode ser configurado por software para exercer uma aplicação isolada, de forma autônoma, ou pode se comunicar via USB com algum software em execução em um computador.

O caso de aplicação mais simples engloba um computador, um nó base e um nó sensor. A base está conectada ao computador por meio de um cabo USB. Os nós sensores monitoram grandezas (temperatura, luminosidade, umidade, pressão, tensão, corrente, etc.) e podem também atuar sobre dispositivos (relês, motores, lâmpadas, entre outros). Todas as informações dos sensores são coletadas pela base, formando o conceito de gerência de rede e das informações [9].

O sistema de armazenamento de dados utiliza um banco de dados MySQL (BD), executado em um servidor web para armazenar os dados coletados pelo software Python SW1. O servidor web é hospedado no computador portátil. Tanto o banco de dados MySQL, quanto o servidor web são partes do XAMPP [1], que é uma distribuição de fonte aberta, contendo MySQL, Apache, PHP e Perl. O MySQL suporta a criação da base de dados e comandos de linguagem de consulta estruturada no padrão (SQL) para inserir, atualizar e excluir dados dinamicamente. O Apache e o PHP são responsáveis pela criação e manipulação do servidor local. Os aplicativos

SW1 e SW2 mostrados na Figura 4 foram escritos em linguagem de programação Python versão 2.7.13 [8] e destinam-se, respectivamente, a armazenar os dados coletados pelos sensores no BD, e a enviá-los à plataforma de IoT. O funcionamento desses dois aplicativos ocorre de forma independente, porém tendo como ponto de acesso comum o banco de dados local.

Existem atualmente diversas opções de plataformas e serviços de armazenamento de dados para aplicações de IoT. A plataforma Tago [11] é um ambiente de gerenciamento e monitoramento de dados online, utilizada para aplicações de IoT. Nessa plataforma estão disponíveis ferramentas de análise e emissão de alertas, que podem ser manipuladas pelo usuário conforme a necessidade. Escolheu-se para este trabalho a plataforma Tago devido a sua simplicidade de uso e pela disponibilidade de suporte por parte dos desenvolvedores, os quais contribuíram para solução de problemas e esclarecimentos a cerca das características operacionais e de configuração da ferramenta.

O sistema de monitoramento proposto por [7] foi concebido para realizar medidas trifásicas no painel de controle de uma linha de produção de peças e partes automotivas, de forma não invasiva. Os dados foram capturados e tratados num computador local dedicado à aplicação, operando como um módulo concentrador de dados, e comunicados via internet a uma plataforma de IoT para permitir o acesso remoto pelos usuários envolvidos no contexto da aplicação e responsáveis pela gestão das informações. Dessa forma, torna-se possível colocar em prática uma sistemática de manutenção baseada na condição do objeto monitorado, programando-se eventos de manutenção que não interfiram com o ritmo de produção.

### IV. RESULTADOS

A Fig. 5 apresenta os resultados de coleta de dados do consumo de corrente RMS trifásico, correspondente a 20 dias consecutivos de produção. A linha azul representa o consumo de corrente da fase R, a linha laranja da fase S e a linha cinza da fase T.

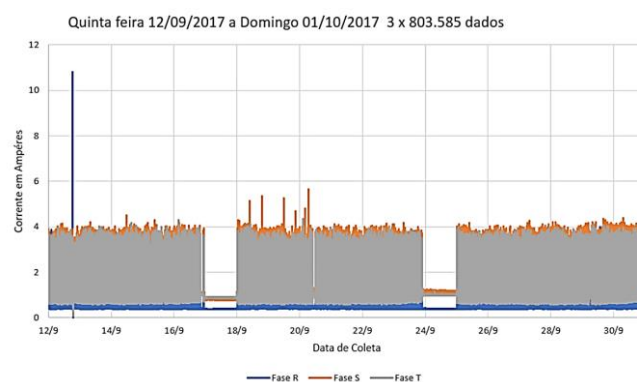


Fig. 5 – Monitoramento do consumo de corrente durante vinte dias consecutivos.

Pode-se observar que, de uma forma geral, a máquina monitorada opera de forma aparentemente ininterrupta durante os dias da semana, consumindo cerca de 4 amperes em cada

fase, com ocorrências esparsas de valores de consumo acima desse valor típico, que podem ser investigados com maior detalhe. Nota-se ainda a parada de produção nos fins de semana, ocasião em que os valores de corrente se reduzem para menos de 1 ampere.

A Fig. 6 mostra em detalhe um curto intervalo de 2 minutos de monitoramento das três correntes de fase. Embora o padrão de formas de onda não seja rigorosamente idêntico aos demais ciclos adjacentes (retângulo vermelho na Figura 6), pode-se perceber a existência de pequenos intervalos em que o nível de consumo de corrente que separa os referidos grupos torna-se mínimo e constante. Tais intervalos correspondem aos instantes em que a máquina cessa seus movimentos para troca da peça processada, ou devido a algum evento externo.



Fig. 6 – Consumo de corrente num intervalo de 2 minutos de um dia típico.

O objetivo principal do monitoramento em ciclos longos (por exemplo, um dia ou uma semana) é a detecção destes padrões, para que não excedam um limite a ser definido, pois qualquer variação dos mesmos pode indicar alguma possível avaria no equipamento ou até mesmo alguma influência externa a ser monitorada.

A Fig. 6 revela a não existência de um padrão nas formas de onda de corrente, visível no retângulo vermelho em destaque. Porém pode-se observar a repetição desse forma se relaciona à atividade da máquina durante a produção de uma peça, e do intervalo entre duas produções seguidas.

Os dados armazenados localmente podem ser enviados a aplicativos desenvolvidos especificamente para a aplicação de monitoramento, ou então disponíveis na web na forma de serviços de Internet das Coisas (IoT). Na Fig. 7 mostra-se a tela de visualização do painel de controle (*dashboard*) da ferramenta Tago, acessada via internet, onde é apresentado o consumo de corrente registrado num intervalo de 2,5 minutos. Observa-se a coerência dos dados coletados pelo sistema de medida (Fig. 6) em relação aos mesmos dados armazenados na Plataforma (Fig. 7).

O gráfico mostrado na Fig. 8 foi construído a partir da ferramenta R Studio, e representa o histograma da corrente de fase T monitorada. Esse histograma representa a frequência de ocorrência dos valores das medidas de corrente, e dessa forma obtém-se a classificação dos dados em grupos ou clusters que indicam quais dados mais aparecem e em quais grupos estão classificados.



Fig. 7 – Consumo de corrente registrado na ferramenta Tago.

### Histograma Fase T

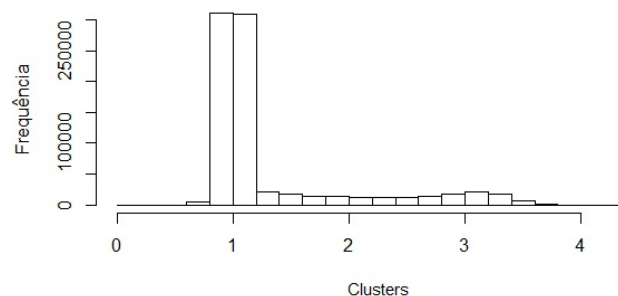


Fig. 8 – Histograma Fase T na ferramenta R Studio

Na Fig. 8, por exemplo, pode-se observar que valores em torno de 1 ampere são os mais frequentes, porém eles correspondem aos intervalos de máquina parada. A atividade real da máquina correspondem aos clusters em torno no ponto de 3 amperes, onde se observa uma segunda aglomeração de valores de intensidade bem menor, porém contrastantes com os demais.

Uma forma de processamento de dados desenvolvida neste trabalho objetivou a realização de um pré-processamento para a redução da quantidade de dados e preparação dos mesmos para análises subsequentes.

A Fig. 9 mostra o resultado do cálculo da detecção do valor máximo de corrente de uma lista de amostras, com janelas de 1 minuto e 2 minutos. O objetivo dessa análise é verificar que todos os valores máximos da forma de onda dentro de um intervalo de tempo especificado estão ocorrendo dentro de uma faixa de normalidade de 3 a 4 amperes, por exemplo.

Dado que o padrão de consumo de corrente possui momentos de consumo mínimo próximos a momentos de consumo normal que caracteriza a máquina em operação, torna-se interessante a detecção de um valor máximo num dado conjunto de valores medidos, tal que esse valor máximo seja representativo do consumo em operação normal, em contraste como valores menores característicos de máquina parada. Para o caso de uma janela de 1 minuto, o cálculo resulta num perfil com muita variação (linha em cor laranja), mas para janelas de 2 minutos ou mais, o perfil torna-se mais estável e representativo da detecção dos valores máximos dentro de um intervalo.

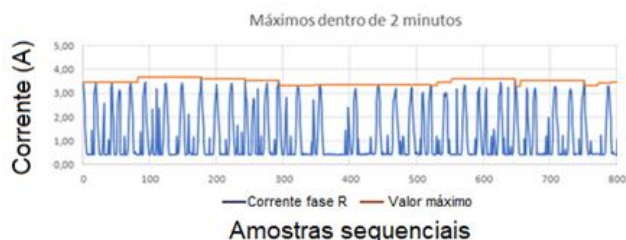


Fig. 9 – Detecção de máximos de corrente dentro de uma faixa de normalidade.

Caso a cadência de operação da máquina se reduza, abrindo intervalos sem atividade entre os padrões repetitivos, o perfil da detecção dos máximos deverá diminuir abaixo de 3 ampères, e esse acontecimento não é necessariamente um problema. Entretanto, se o valor máximo ultrapassar a faixa de normalidade e se estabilizar numa nova faixa de valores acima, esse evento poderá estar relacionado a alguma anormalidade no consumo de corrente, tal como perda de isolamento elétrica de algum motor, aumento de carga, anomalia mecânica em rolamentos e engrenagens, etc.

A estratégia de detecção de máximos em intervalos de tempo da Fig. 9 serviu de base à implementação de um algoritmo adicional a ser incorporado no aplicativo Python SW2 da Fig. 4, com o objetivo de processar os dados de corrente armazenados no banco de dados. O processo de detecção dos valores máximos das correntes medidas foi ajustado para uma janela de 5 minutos, ou seja, obtém-se o valor máximo de corrente representativo de um intervalo de 5 minutos. Com base nesses valores, são realizadas comparações com limites pré-definidos para determinação de propriedades do estado de operação da máquina. Os limites de classificação usados nas comparações estão descritos na Tabela 1.

A Fig. 10 ilustra graficamente como as comparações da Tabela 1 são aplicadas aos dados reais de consumo de corrente, demonstrando como as variações de valor causam as modificações do tipo de operação e do estado de operação. Nesta figura, foi utilizada a título de exemplo uma janela de 100 amostras para determinação do valor máximo, fato que determina uma latência equivalente em algumas mudanças de estado.

Tabela 1 - Classificação dos valores de corrente

LIMITES DE CLASSIFICAÇÃO		
TIPO DE OPERAÇÃO	FUNCIONANDO	$I \geq 2,5 \text{ A}$
	PARADO	$1,0 \text{ A} \leq I < 2,5 \text{ A}$
	EMERGENCIA	$0,5 \text{ A} \leq I < 1,0 \text{ A}$
	DESLIGADO	$I < 0,5 \text{ A}$
ESTADO DE OPERAÇÃO	NORMAL	$I \leq 4,3 \text{ A}$
	ALERTA	$4,3 \text{ A} < I < 10 \text{ A}$
	OUTLIER	$I \geq 10 \text{ A}$

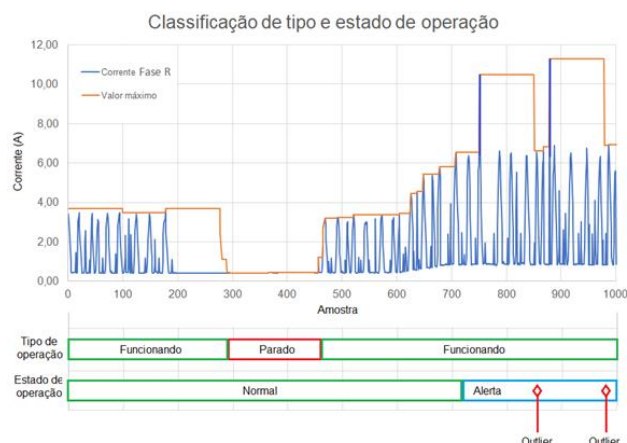


Fig. 10 – Exemplo de classificação do tipo e estado de operação.

## V. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma proposta de um sistema de monitoramento de equipamentos elétricos de uma linha de produção, visando a detecção de seu estado de operação. O sistema de monitoramento se baseia numa arquitetura de rede de sensores, com possibilidade de transportar os dados coletados a aplicativos acessíveis via internet.

O armazenamento local é feito num banco de dados e um aplicativo especialmente desenvolvido para o MCD realiza o envio dos dados coletados para um serviço de IoT, de forma autônoma e robusta quanto a momentânea perda de comunicação via internet.

Um ambiente de gerenciamento e monitoramento de dados *online* foi desenvolvido utilizando uma plataforma de serviços de IoT, a qual é responsável por disponibilizar os dados ao usuário, podendo ainda realizar diversos tipos de processamento sobre os mesmos.

Um exemplo de análise foi desenvolvido e testado, visando à detecção de normalidade dos valores de corrente elétrica de uma máquina monitorada. A implementação de sumarização baseada na detecção de máximos foi concretizada no presente trabalho, cujos valores servem de base à classificação para detecção automática do Tipo de Operação e do Estado de Operação da máquina, de acordo com os limites apresentados na Tabela 1.

Um estudo de caso utilizando uma linha de produção real na qual um equipamento elétrico específico teve o seu consumo de corrente monitorado em tempo real. Este estudo de caso foi alvo de uma dissertação de mestrado [7].

## AGRADECIMENTOS

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas pelo financiamento da pesquisa com o apoio de bolsa de Iniciação Científica FAPIC/Reitoria.

## REFERÊNCIAS

- [1] CISCO, Internet of Things Reference Model.. [http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT\\_Reference\\_Model\\_White\\_Paper\\_June\\_4\\_2014.pdf](http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT_Reference_Model_White_Paper_June_4_2014.pdf). Acessado em 01 de agosto de 2018.
- [2] ITU, International Telecommunication Union. Executive Summary – The Internet of Things. Internet Reports 2005. <https://www.itu.int/net/wsis/tunis/newsroom/stats/The-Internet-of-Things-2005.pdf> Acessado em 01 de agosto de 2018.
- [3] J. Gubbi, S. Buyya, S. Marusic, M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions”, *Future Generation Computer Systems*, (29) pp 1645-1660, Setembro de 2013, Elsevier. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>. Acessado em 23 de novembro de 2016.
- [4] J. Shin, H. Jun, “On condition based maintenance policy”, *Journal of Computational Design and Engineering*, Volume 2, Issue 2, April 2015, Pages 119-127, ISSN 2288-4300. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2288430014000141>. Acessado em 23 de novembro de 2016.
- [5] G. A. Susto, A. Schirru, S. Pampuri, McLoone, A. Beghi, "Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifier Approach," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 11, no. 3, pp. 812-820, June 2015.
- [6] D. Goyal, B. S. Pabla, “Condition based maintenance of machine tools—A review”, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 10, pp. 24-35, August 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581715000309>. Acessado em 23 de novembro de 2016.
- [7] FABRÍCIO, M. A. Monitoramento de Equipamentos Elétricos Industriais Utilizando IoT, dissertação de Mestrado, Mestrado Profissional em Engenharia Elétrica, PUC Campinas, 2018.
- [8] H. Koepke, “Why Python rocks for research”. *Hacker Monthly*, v. 8, 2011.
- [9] H. A. D. Azzini, L. C. P. Silva, O. C. Branquinho, F. H. Behrens, “Rede de Sensores para Monitoramento e Gerenciamento de Cargas Residenciais com Interface para Internet” XXI Congresso Brasileiro de Automática, CBA 2016, outubro de 2016, Vitória, ES.
- [10] Friends, Apache. “XAMPP Apache+ MySQL+ PHP+ Perl. Apache Friends”. 2014. Disponível em: <<http://www.oldapps.com/xampp.php>>. Acessado em 01 de agosto de 2018.
- [11] TAGO. A plataforma completa para conectar todos os seus dispositivos, junho 2016. Disponível em: <https://tago.io/pt/home>. Acessado em 01 de agosto de 2018.