

ESTUDO EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO PROTOCOLO TIME SLOTTED CHANNEL HOPPING USANDO CONTIKI E OPENMOTE

Nathalya de Paulo Leite ¹
Diego Veraz Queiroz ²
Ruan Delgado Gomes ³

RESUMO

As Redes de Sensores sem fio (RSSFs) estão cada vez mais presentes em nosso dia-a-dia, sendo um importante campo de pesquisa principalmente no contexto da Internet das Coisas (IoT) e da Internet das Coisas Industriais (IIoT). Nesse contexto, o desempenho da rede é de grande importância para um serviço bem qualificado e eficiente. Para isso, é de suma necessidade avaliar os protocolos para determinados ambientes, principalmente os industriais, que requerem aplicações com alta confiabilidade e disponibilidade. Um dos conceitos essenciais para uma análise de desempenho dos protocolos de rede, é avaliar a taxa de entrega de pacote dos nós sensores e as potências de recepção. Também é necessário estudar as novas plataformas e Sistemas Operacionais (SO) que estão sendo utilizados para IIoT. Neste trabalho foi estudada a plataforma OpenMote B e o SO Contiki-NG. Os resultados obtidos na primeira etapa, em laboratório, serviram para visualizar a rede funcionando já com o SO Contiki-NG configurado para os OpenMotes. Posteriormente, na segunda etapa, a rede foi implantada em um ambiente industrial, seguindo os mesmos passos da primeira etapa, para fazer os mesmos testes com os nós sensores e por um maior tempo, para avaliar melhor as variações temporais. Os testes realizados permitiram avaliar a quantidade de pacotes perdidos e a qualidade dos canais, por meio das potências recebidas por sensores em diferentes locais, com diferentes características. Quanto aos resultados finais no ambiente industrial na empresa Coteminas S.A, o desempenho do protocolo TSCH foi satisfatório, pois mesmo com tantos obstáculos, as taxas de entrega e a qualidade dos canais foram boas, no geral. Porém ainda há limitações quanto ao uso dos canais, que devem ser tratados e estudados futuramente, para descobrir como utilizar somente os melhores canais, já que as aplicações desenvolvidas para um ambiente industrial precisam ter praticamente 100% de taxa de entrega de pacote.

Palavras-chave: Redes de Sensores Sem Fio, IoT, IIoT, TSCH, Nós Sensores.

1. INTRODUÇÃO

As Redes de Sensores sem Fio (RSSFs) utilizam um meio de comunicação inerentemente não confiável, o que pode ser agravado devido a ruídos e interferência na faixa de espectro utilizada para comunicação, além de problemas devido à atenuação por multipercurso e sombreamento [GOMES et al. 2017]. Entretanto, as vantagens se sobrepõem, como a flexibilidade e o baixo custo. Além disso, elas permitem que a rede alcance lugares

¹ Graduada no Curso de Telemática do Instituto Federal da Paraíba – IFPB, nathalyajett@gmail.com;

² Mestre do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, diego.veras@gmail.com;

³ Doutor do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ruandgomes@gmail.com;

onde os fios não poderiam chegar, pois a flexibilidade está relacionada à possibilidade de utilizar todo um espaço de maneira bem mais rápida em comparação com uso de uma rede cabeada, sem falar que a dificuldade do cabeamento representa um custo alto se comparadas as duas tecnologias.

A instalação de uma rede sem fios pode ser realizada de forma rápida, evitando a passagem de cabos através de paredes, canaletas e forros, portanto, promovendo um uso mais eficiente do espaço físico. Existe também uma redução do custo agregado, pois ela é menos dispendiosa que uma rede cabeada, e estão agregadas vantagens como: melhor utilização dos investimentos em tecnologias existentes como laptops, rede de dados e voz, aplicativos, agilidade nas respostas aos clientes; e por último, o uso de diversas topologias que podem ser configuradas para atender a aplicações específicas. As configurações são facilmente alteradas, possuem facilidade de expansão, e uma manutenção com custo reduzido [Bulhman 2019].

As RSSFs são formadas por nós equipados com sensores com capacidade de comunicação via radiofrequência. Os nós podem ainda ter capacidade de processamento, o que permite a inserção de inteligência nos dispositivos, possibilitando melhorar a utilização do canal de comunicação [GOMES et al. 2017]. Portanto, possuem várias aplicações que podem ser implementadas no contexto da Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT).

A IoT é um conceito que se refere à interconexão digital de objetos cotidianos com a Internet, mas também se refere à conexão dos objetos, através de sensores inteligentes e softwares que transmitem dados para uma rede, funcionando como um grande sistema que possibilita a troca de informações entre dois ou mais pontos [Villarino 2016]. Usando outras palavras, a IoT é uma rede de objetos físicos capazes de coletar e transmitir dados para uma determinada aplicação. A Internet das Coisas Industriais (IIoT) está surgindo como um novo paradigma de comunicação para uma classe de redes sem fio de baixa potência usadas em aplicações críticas, como monitoramento e automação de processos industriais [Boccardo et al. 2018].

Dentre os novos padrões para a IIoT, um protocolo importante é o Time Slotte Channel Hopping (TSCH), que foi definido inicialmente em 2012 como uma emenda ao protocolo de controle de acesso ao meio (Medium Access Control – MAC), no padrão IEEE 802.15.4e. O TSCH foi projetado para permitir que os dispositivos IEEE 802.15.4 suportem uma ampla gama de aplicações, incluindo, entre outras, a industrial. Em seu núcleo existe uma técnica de acesso ao meio que usa a sincronização de tempo para obter operação de baixa potência e salto de canal para permitir uma alta confiabilidade [Watteyne 2015].

O TSCH não altera a camada física, isto é, pode operar em qualquer hardware compatível com o padrão IEEE 802.15.4. O que o novo padrão IEEE 802.15.4e se diferencia dos outros padrões anteriores é o seu consumo de energia ultra baixo e as novas soluções de redes mais confiáveis em relação às redes anteriores de baixa potência e com perdas (do inglês, Low-Power and Lossy Networks – LLNs) [Watteyne 2015].

O uso de salto em frequência pelo TSCH é a chave para sua alta confiabilidade. O IEEE 802.15.4e foi projetado para dispositivos restritos de baixa potência, geralmente chamados de “motes”, que pelo dicionário britânico Webster, a sua tradução literal, significa: um “montinho de terra, de areia etc”. Baseado nessa definição adaptamos para o universo IoT como “o menor pedaço de hardware que suporta a Internet”. Portanto, é um hardware que pode ser customizado para embutir uma aplicação, conectando assim, potencialmente, qualquer coisa à Internet e ainda agregando o mínimo de custo possível [Casaroli 2016].

Dentre as opções de motes disponíveis no mercado, foi utilizada neste trabalho a plataforma OpenMote. Ela consiste em um sistema de uma placa com a capacidade de conectar e detectar dados e/ou executar ações. O OpenMote utilizado no trabalho é o OpenMote B, que é uma placa de baixo consumo de energia para desenvolver aplicações de IoT em um ambiente industrial. É uma referência para o Grupo de Trabalho IETF 6TiSCH e é apoiada pela implementação 6TiSCH de código aberto mais relevante, utilizando o sistema operacional Contiki-NG.

Os Sistemas Operacionais (SOs) são um conjunto de programas que gerenciam recursos, processadores, armazenamento, dispositivos de entrada e saída e dados de uma máquina e seus periféricos. O sistema operacional que faz a comunicação entre o hardware e os demais softwares e cria uma plataforma comum a todos os programas utilizados. Exemplos de SOs são: Windows, Linux e Mac OS. Especificamente para IoT, vários SOs estão sendo desenvolvidos e um dos que já possuem implementação inicial do protocolo TSCH é o Contiki-NG.

O Contiki é um SO para RSSF, criado por Adam Dunkels em 2002 e agora, o projeto Contiki envolve empresas e colaboradores. Este projeto lançou software e hardware de código aberto. O SO Contiki usa Protothread, que combina multithreading e programação orientada a eventos e a sua linguagem de programação usa a sintaxe C para escrever programas e fornece abstrações que encapsulam a complexidade do hardware, esta abordagem faz com que o Contiki trabalhe com vários hardwares, incluindo Unidade Micro-Controlada (do inglês, Micro-Controller Unit – MCUs) e diferentes módulos de rádio, incluindo o OpenMote.

Também são fornecidas pelo Contiki bibliotecas gerais para detecção, atuação e comunicação. [Kurniawan 2018].

2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Esse tema foi escolhido no ramo das RSSFs, pois novos SOs para IoT estão sendo implementados e já possuem implementação inicial do protocolo TSCH, dentre os demais protocolos.

No entanto, a utilização de RSSFs para construção de aplicações industriais apresenta vários desafios que devem ser enfrentados e o desempenho desses SOs em plataformas de IoT ainda estão sendo avaliados, como em alguns artigos, por exemplo, o artigo “Experimental comparison of Industrial Internet of Things protocol stacks in Time Slotted Channel Hopping scenarios” [Boccardo et al. 2018] e o “Using IEEE 802.15.4e Time-Slotted Channel Hopping (TSCH) in the Internet of Things (IoT): Problem Statement” [Watteyne 2015].

Portanto, é de suma importância continuar os estudos de desempenho dessas plataformas, principalmente em áreas industriais, para criar novas aplicações e avaliar os testes de uma rede sem fio em condições de um ambiente industrial real, onde existem muitos obstáculos, alta temperatura, ruídos, congestionamento de dados, interferências eletromagnéticas etc.

Por possuir vantagens em relação ao uso de redes cabeadas em várias aplicações, devido ao menor custo de implantação, estudos sobre os novos padrões recentes e a avaliação de desempenho desses padrões precisam ser realizados, como no caso do IEEE 802.15.4e, pois é necessário verificar se ele garante o nível de qualidade de serviço esperado para as aplicações desejadas.

Neste trabalho, será realizada a implantação de uma RSSF utilizando o OpenMote e o Contiki, para avaliação do desempenho do novo padrão 802.15.4e, mais especificamente, do protocolo TSCH. Assim se torna evidente a relevância de analisar a rede implantada para que possamos contribuir para as aplicações de IIoT, pois atualmente uma gama de dispositivos estão conectados à rede, diferentemente de tempos passados onde a conexão com a Internet era mais limitada aos computadores convencionais. Essa conexão agora abrange uma grande e heterogênea quantidade de equipamentos, como: TVs, smartphones, automóveis, relógios, consoles de jogos etc. E no ambiente industrial existem vários tipos de sensores que precisam ser conectados à Internet para um melhor funcionamento e desempenho das máquinas. Esse alto

crescimento gera novas possibilidades de aplicações. A figura 1, mostra o OpenMote B, utilizado no trabalho.



Figura 1. : OpenMote B. Fonte: [Shields 2019]

3. OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar experimentalmente o desempenho do protocolo TSCH, implementado no sistema operacional Contiki, usando a plataforma OpenMote.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implantar uma rede de sensores usando o sistema operacional Contiki e a plataforma OpenMote;
- Realizar experimentos com a RSSF em ambiente industrial;
- Avaliar o desempenho de comunicação (taxa de entrega de pacote) geral e para os diferentes canais;
- Avaliar a qualidade dos canais, por meio do valor de potência recebida;
- Analisar o desempenho de uma rede de sensores, usando TSCH, durante um longo período de tempo para verificar as variações temporais.

4. METODOLOGIA

A metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho foi estudar assuntos relacionados a área de Redes sem Fio e procurar desenvolver um estudo melhor sobre os novos protocolos que estão sendo criados, principalmente em ambientes industriais para aplicações em IoT.

Portanto, algumas das etapas deste trabalho são as seguintes:

- Etapa 1 - Levantamento de referências sobre o protocolo TSCH para IIoT;
- Etapa 2 - Levantamento de como será implantada a rede (quantidade de dispositivos

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

e topologia);

- Etapa 3 - Quanto tempo irá durar o experimento;
- Etapa 4 - Quais métricas serão analisadas e porque;
- Etapa 5 - Instalação e configuração do Contiki na plataforma OpenMote;
- Etapa 6 - Realizações dos testes em ambiente industrial;
- Etapa 7 - Avaliação do desempenho da rede;
- Etapa 8 - Escrita do trabalho.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 REDES DE SENSORES SEM FIO

Uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) pode ser definida como uma rede de dispositivos, denominados nós sensores, que são distribuídos espacialmente e trabalham cooperativamente para comunicar informações coletadas em uma determinada área geográfica por meio de enlaces sem fio que são encarregados de relatar o monitoramento de fenômenos físicos, grandezas ou processos específicos, como: temperatura, umidade, eventos sísmicos etc. Isso graças ao avanço tecnológico considerável nas áreas de sensores, circuitos integrados e comunicação sem fio [Rawat et al. 2013] [Potdar, Sharif e Chang 2009].

Uma RSSF pode ser reformulada em uma rede através de um sistema de placas com a capacidade de conectar e detectar dados e/ou executar ações. Usualmente uma placa para RSSF é chamada de mote, como é o caso do kit OpenMote [Shields 2019]. O principal objetivo de implementar um mote é capturar objetos físicos em formato digital e depois transferilos para um determinado servidor. A pesquisa sobre tópicos de RSSF é uma área de estudo intensa e há muitos problemas que precisam ser resolvidos, como o projeto dos motes, projeto de protocolos de rede, infra-estrutura e segurança. Atualmente, os fabricantes de hardware crescem rapidamente. Há muitas novas placas no mercado, como Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone, Intel Edison, NodeMCU, Teensy, Tessel e assim por diante [Kurniawan 2018].

As RSSFs oferecem algumas vantagens em relação a soluções de redes convencionais, com menores custos, flexibilidade e facilidade de implantação, que possibilitam seu uso em uma ampla gama de aplicações. Com os avanços tecnológicos e a evolução dos sensores que ficam cada vez mais inteligentes, menores e mais baratos, a

implantação das RSSFs se torna mais recorrente [Rawat et al. 2013]. Os nós sensores que compõem uma RSSF são dispositivos autônomos com capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação [Loureiro José Marcos S. Nogueira 2003]. Portanto, de forma genérica as RSSFs podem ser empregadas em áreas de segurança, controle, manutenção de sistemas complexos e monitoramento de ambientes externos e internos [Loureiro José Marcos S. Nogueira 2003].

5.2 INTERNET DAS COISAS

Com base em uma rede complexa que conecta bilhões de dispositivos e seres humanos a uma infraestrutura multitecnologia, multiprotocolo e multiplataforma, a visão principal da IoT é criar um mundo inteligente onde o mundo físico, o digital e o virtual convergem para criar ambientes que fornecem mais inteligência para a energia, saúde, transporte, cidades, indústria, edifícios e muitas outras áreas de nossa vida diária [Colina Alvaro Vives 2016].

A expectativa é a de interconectar milhões de redes inteligentes, possibilitando o acesso à informação não apenas a qualquer momento e em qualquer lugar, mas também usando “qualquer coisa” e “qualquer pessoa”, idealmente através de qualquer caminho, rede e qualquer serviço. Isto será possível equipando os objetos que manipulamos diariamente para serem munidos de dispositivos de detecção, identificação e posicionamento e dotados de um endereço IP para se tornarem dispositivos inteligentes, capazes de se comunicar não apenas com outros objetos inteligentes, mas também com humanos, com a expectativa de alcançar áreas que nunca poderíamos alcançar sem os avanços feitos nas tecnologias de sensoriamento, identificação e posicionamento. Com o passar dos anos, bilhões de novos objetos inteligentes estão sendo desenvolvidos.

5.3 *Time Slotted Channel Hopping*

Em redes TSCH, a comunicação ocorre baseada em uma estrutura denominada slotframe. Cada slotframe é composto por um conjunto de intervalos de tempo, em que cada intervalo de tempo é dedicado a um ou mais nós. Quando um intervalo de tempo é ocupado por dois nós que comunicam com o mesmo receptor e usando o mesmo canal, o acesso deve ocorrer por contenção, dentro do intervalo de tempo, usando um algoritmo baseado no

CSMA/CA. Quando apenas um único nó realiza comunicação em um determinado intervalo de tempo e para um determinado canal, o acesso ocorre sem contenção. O slotframe repete continuamente de forma automática, e todos os nós devem manter a mesma noção global de tempo. Tipicamente a alocação dos intervalos de tempo é configurada por camadas superiores quando um nó vai entrar na rede. Os nós saltam em frequência utilizando todo o conjunto de canais disponível, de modo a evitar uma grande queda de desempenho devido a problemas que afetam apenas um subconjunto dos canais [GOMES et al. 2017]. Ele usa sincronização de horário e salto de canal para atenuar os efeitos de interferência externa e desvanecimento de múltiplos percursos.

5.4 CONTIKI-NG

O Contiki é uma plataforma para RSSF que fornece software e hardware. Ele foi criado por Adam Dunkels em 2002. Agora, o projeto do Contiki envolve empresas e colaboradores. Este projeto lançou software e hardware de código aberto. O sistema operacional (SO) Contiki-NG usa Protothread, que combina multithreading e programação orientada a eventos. Do lado do hardware, o projeto fornece esquemas de hardware para que possamos construir nossas próprias placas que suportem o Contiki [Kurniawan 2018].

O Contiki fornece abstrações de hardware que encapsulam a sua complexidade. Essa abordagem faz com que ele trabalhe com vários hardwares diferentes, incluindo diversos MCUs e módulos de rádio. Bibliotecas gerais para detecção, a atuação e comunicação também são fornecidos pela Contiki. Usando o Contiki, os desenvolvedores podem dedicar mais atenção em seus problemas de aplicação.

5.5 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O local do experimento foi em um ambiente industrial real. Nele existem vários obstáculos, como alta temperatura, ruídos de diferentes fontes, interferências eletromagnéticas etc. O local mais específico foi um setor de tecelagem, mostrado na Figura 2. O servidor (nó coordenador) foi conectado na porta serial do notebook dentro da sala de administração da tecelagem, e os clientes (nós finais) foram distribuídos no ambiente com diferentes distâncias em relação ao coordenador. Os nós finais foram alimentados com pilhas. A Tabela 1 mostra as distâncias e características dos locais onde os

nós finais foram posicionados. Para instalações sem fios em ambientes fechados é importante considerar obstáculos como paredes, tetose equipamentos, que afetam a linha de visão e consequentemente a recepção dos sinais. Por isso, a disposição dos nós sensores foi determinada de modo a obter uma diversidade de distâncias e condições de visada, para obter uma avaliação mais abrangente do protocolo em diferentes cenários.



Figura 2: Local do Experimento – setor de tecelagem.

Nós Sensores	Visada	Distância
Nó1	Direta	4 metros
Nó2	Direta	28 metros
Nó3	Parcial	38 metros
Nó4	Parcial	82 metros
Nó5	Parcial	88 metros
Nó6	Sem Visada	90 metros

Tabela I: Identificação dos nós finais e distâncias.

Para o coordenador salvar todos os dados dos pacotes que os nós clientes transmitiram foi executado um código de captura. A rede operou por cerca de 3 horas, e os dados de todos os pacotes recebidos foram salvos em um arquivo para posterior análise. Durante o tempo de operação da rede, foram recebidos em média 3000 pacotes de cada nó, de modo que foi um tempo satisfatório para estudar o desempenho da rede.

6. RESULTADOS DO DESEMPENHO DO TSCH

6.1 TAXA DE ENTREGA POR NÓ SENSOR

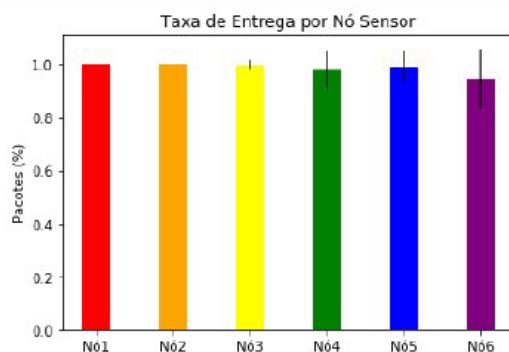


Figura 3: Taxa de entrega de pacote para cada Nó Sensor.

A taxa de entrega geral por nó é muito importante para saber o desempenho de comunicação para cada um dos nós finais. No gráfico da Figura 3 pode-se notar que a taxa de entrega foi diminuindo de acordo com o aumento das distâncias, como esperado. Obteve-se uma taxa de entrega totalmente satisfatória para os nós 1 e 2. No Nó 6 a média foi de 90% e acredita-se que foi por conta da distância ter sido maior que 90 metros e ele também estava sem nenhuma visada para o coordenador. No entanto, uma taxa de entrega em torno de 90% ainda é suficiente para muitas aplicações industriais, principalmente de monitoramento.

6.2 TAXA DA POTÊNCIA POR CANAL POR NÓ FINAL

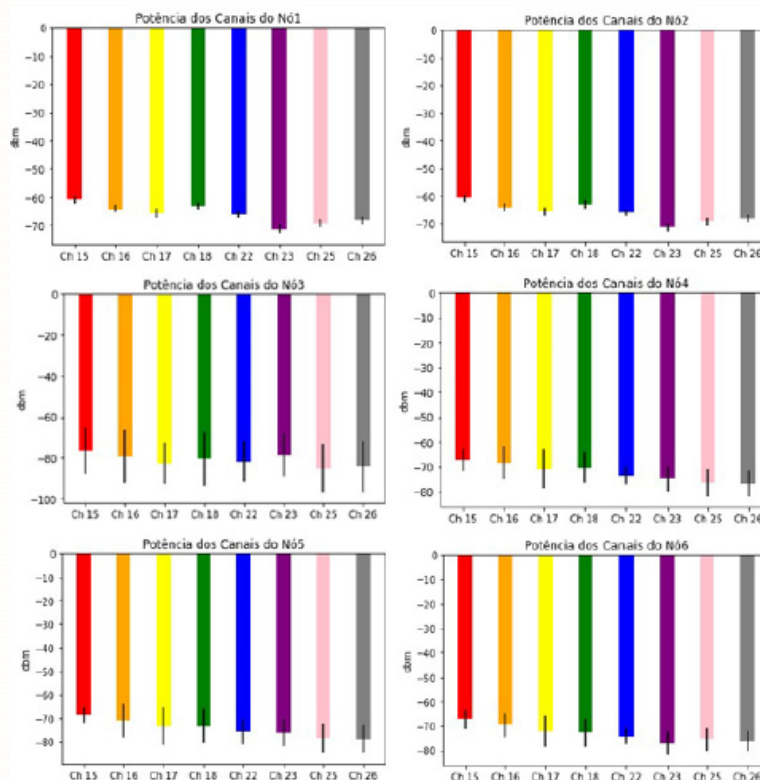


Figura 4: Média das Potências por Canais por Nó.

Foi possível notar que ocorreram variações maiores do que 10 d entre diferentes canais, e essa diferença é significativa para a potência de recepção. Consequentemente também foi possível avaliar os canais que possuíram melhor desempenho, como foi o caso do canal 15. Dessa forma, usando estratégias mais inteligentes para escolha do conjunto de canais a serem utilizados no mecanismo de salto em frequência, o desempenho da rede poderia ser ainda melhor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O TSCH veio para melhorar os antigos protocolos usados em redes de sensores sem fio, principalmente pelo fato de usar TDMA, pois a comunicação entre os nós finais e o coordenador da rede é livre de colisões, além do uso de salto em frequência, de modo que é possível garantir boa qualidade de comunicação. É importante continuar o estudo desse protocolo utilizando o Contiki e o OpenMote B para criar e descobrir diversas aplicações que podem ser aplicadas no contexto da IIoT. Mais especificamente sobre o protocolo TSCH, é necessário estudar melhores formas de realizar a configuração do conjunto de canais que podem ser utilizados pelos nós, o que é conhecido no padrão como gerenciamento de lista negra.

E para as aplicações das novas pesquisas a principal sugestão como trabalho futuro é continuar estudando esse protocolo utilizando o Contiki e o OpenMote para criar e descobrir diversas aplicações que podem ser aplicadas no mundo da IIoT.

Como:

- Controle de Máquinas;
- Monitoramento de temperatura e consumo de energia;
- Otimização de operações e da produção;
- Melhorias na área de cibersegurança;
- Controle de movimento, posição e velocidade de equipamentos industriais.

8. REFERÊNCIAS

[Boccardo et al. 2018] Boccardo, P. et al. Experimental comparison of industrial internet of things protocol stacks in time slotted channel hopping scenarios. In: 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC). [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–6. ISSN 1938-1883. 2, 3

- [Bulhman 2019] BULHMAN, L. A. C. H. J. LAN / MAN Wireless I: Redes sem Fio. 2019. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwanman1/pagina_2.asp>. 1
- [Casaroli 2016] CASAROLI, M. Os motes da Internet das Coisas. 2016. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/os-motes-da-internet-das-coisas/>>. 2
- [Colina Alvaro Vives 2016] COLINA ALVARO VIVES, M. Z. A. B. E. P. A. L. Internet of Thing IN 5 DAYS. [S.l.: s.n.], 2016. 7, 8
- [GOMES et al. 2017] GOMES, R. D. et al. Estimação de qualidade de enlace e alocação dinâmica de canais em redes de sensores sem fio industriais. Universidade Federal de Campina Grande, 2017. 1, 11, 12, 13
- [Kurniawan 2018] KURNIAWAN, A. Practical Contiki-NG. [S.l.]: Apress, 2018. 3, 6, 13
- [Loureiro José Marcos S. Nogueira 2003] LOUREIRO JOSÉ MARCOS S. NOGUEIRA, L. B. R. R. A. d. F. M. E. F. N. C. M. S. F. A. A. Redes de sensores sem fio. XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, v. 21, p. 179–226, 2003. xii, 7
- [Rawat et al. 2013] RAWAT, P. et al. Wireless sensor networks: a survey on recent developments and potential synergies. The Journal of Supercomputing, v. 68, p. 1–48, 2013. 6
- [Villarino 2016] VILLARINO, J. Internet das Coisas: Um Desenho do Futuro. 2016. Disponível em: <<https://www.proof.com.br/blog/internet-das-coisas/>>. 1
- [Watteyne 2015] WATTEYNE, T. Using ieee 802.15.4e time-slotted channel hopping (tsch) in the internet of things (iot): Problem statement. p. 1–23, 2015. 2, 3