

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

KATHARINE SCHAEFFER FERTIG

Redes Industriais: Wi-Fi X IEEE 802.15.4
Uma análise comparativa no monitoramento de paradas de máquinas

São José - SC

junho/2018

REDES INDUSTRIAIS: WI-FI X IEEE 802.15.4
UMA ANÁLISE COMPARATIVA NO MONITORAMENTO DE PARADAS DE
MÁQUINAS

Pré Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia de Telecomunicações do campus São José do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Engenheiro de Telecomunicações.

Orientador: Professor Odilson Tadeu Valle

São José - SC

junho/2018

KATHARINE SCHAEFFER FERTIG

**REDES INDUSTRIAIS: WI-FI X IEEE 802.15.4
UMA ANÁLISE COMPARATIVA NO MONITORAMENTO DE PARADAS DE
MÁQUINAS**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro de Telecomunicações, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

São José - SC, 04 de Julho de 2018:

Professor Odilson Tadeu Valle
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Professor Marcelo Maia Sobral
Instituto Federal de Santa Catarina

RESUMO

O monitoramento em tempo real de equipamentos em uma linha de produção é crucial para a previsão de perdas por paradas de máquinas e a geração de indicadores de qualidade na indústria. Nas mais diversas aplicações de monitoramento e sensoriamento, padrões de comunicação wireless tem sido aplicados. O uso destes padrões deve-se ao baixo custo de implantação e manutenção das redes. Em especial o padrão IEEE 802.15.4 possibilita um menor consumo energético na rede. Entretanto, devido à severidade das plantas industriais, alguns requisitos devem ser analisados para a implantação de padrões de comunicação sem fio em redes de sensores nestes ambientes. Esta pesquisa visa, portanto, analisar a viabilidade dos padrões de comunicação sem fio Wi-Fi(IEEE 802.11) e IEEE 802.15.4 no monitoramento em tempo real de dados em ambientes industriais. As etapas da análise contemplam o levantamento de características de comunicação sem fio em ambientes industriais, de requisitos de transmissão de dados em tempo real e de consumo energético dos padrões em redes de sensores sem fio. Em seguida realiza-se uma comparação dos padrões de acordo com os dados levantados e teste da rede por simulação com ferramenta OMNeT++. Como resultados espera-se alcançar a análise dos padrões de acordo com o cenário abordado, disponibilizar os dados comparativos como base para novos cenários de sensoriamento e aplicações industriais, além da análise de desempenho dos padrões por simulação. Através dos resultados poderá concluir-se qual padrão é o mais viável para o cenário levantado.

Palavras-chave: Redes industriais. Comunicação wireless. Wi-Fi. IEEE 802.15.4. Redes de sensores.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Layout sobre os conceitos da Indústria 4.0 . Fonte: (LI et al., 2017)	18
Figura 2 – Diagrama esquemático da nova abordagem de redes industriais no cenário de indústria 4.0 integrando as redes de sensores sem fio. Fonte: (LI et al., 2017)	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma de Atividades	16
Tabela 2 – Classificação de macro-atividades por cores	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LR-WPAN <i>Low-Rate Wireless Personal Area Network</i>	21
WLAN <i>Wireless Local Area Network</i>	21
CSMA/CA <i>Carrier sense multiple access with collision avoidance</i>	21
WPAN <i>Wireless Personal Area Network</i>	13
IWSNs <i>Industrial Wireless Sensor Networks</i>	13
WSN <i>Wireless Sensor Networks</i>	19
OEE <i>Overall Equipment Effectiveness</i>	18
KPIs <i>Key Performance Indicator</i>	18

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
2	METODOLOGIA	15
2.1	Cronograma	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	Redes industriais	17
3.1.1	Comunicação sem fio em ambientes industriais	17
3.1.2	Paradas de Máquinas	18
3.1.3	Redes de sensores sem fio industriais	19
3.1.4	Monitoramento industrial em tempo real	20
3.2	Os padrões de comunicação sem fio	20
3.2.1	IEEE 802.11	21
3.2.2	IEEE 802.15.4	21
3.3	Estudos similares	21
4	CONCLUSÕES	23
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no mercado industrial competitivo, empresas apresentam altas demandas por melhora de eficiência nos processos e digitalização dos mesmos de forma a se alcançar metas financeiras individuais. Em especial o mercado de manufatura industrial têm se tornado cada vez mais dinâmico e buscado maximizar a operacionalidade e o desempenho dos equipamentos em termos de eficiência e qualidade, pelo fato de sua produção depender principalmente do bom desempenho dos equipamentos. (SILVA, 2009)

Uma das principais medidas de qualidade da produção em relação ao desempenho dos equipamentos é o indicativo de Eficácia Global do Equipamento (OEE). Este indicativo apresenta como fatores determinantes a disponibilidade e eficiência de produção de uma máquina industrial e portanto, perdas causadas por paragens de máquina não planejadas, afetam crucialmente a qualidade e bom desempenho da produção, em especial o OEE. (SILVA, 2009) Por este motivo, o monitoramento em tempo real de paradas de máquina não planejadas e, conseqüentemente, o entendimento de suas causas se faz necessário e têm sido adotado como estratégia no setor de manufatura industrial para diminuir as perdas causadas por equipamentos no processo produtivo e aumentar sua qualidade e eficiência.

Tradicionalmente os sistemas de automação industrial se baseiam em redes industriais cabeadas. Contudo, essas redes apresentam um alto custo de implantação e manutenção, inibindo seu emprego em larga escala. Além disso, existem componentes móveis, onde naturalmente o sistema cabeado é um fator indesejado. (VALLE et al., 2014) Apesar das vantagens do uso de redes industriais cabeadas nos sistemas de automação industrial, a indústria têm necessitado de novos sistemas de automação inteligentes, escaláveis, de baixo custo e flexíveis. (GUNGOR; HANCKE, 2009)

As redes de sensores sem fio industriais (IWSNs) surgem para atender esta demanda. Além dos sistemas sem fio poderem finalmente, eliminar dezenas de milhares de metros de fiação na indústria (VALLE et al., 2014), suas redes de sensores possibilitam um sistema de auto-organização, rápida implantação, flexibilidade e capacidade inerente de processamento inteligente. Por este motivo, as *Industrial Wireless Sensor Networks* (IWSNs) possuem grande potencial de criar um sistema de monitoramento e controle industrial confiável e auto-ajustável que responda rápido a eventos de tempo real. (GUNGOR; HANCKE, 2009) De forma semelhante as redes de sensores são capazes de auxiliar na manutenção preventiva de máquinas, onde os pequenos nodos sensores presentes nas redes IWSNs são acoplados em pontos estratégicos das máquinas para monitorar o estado das mesmas e verificar se estas estão sujeitas a fadigas ou operando fora das especificações, de forma a aumentar sua disponibilidade e vida útil. (VALLE et al., 2014)

Com os avanços de pesquisas e aplicações de redes de sensores sem fio (WSNs! (WSNs!)) o padrão IEEE 802.11 (Wi-Fi) se destacou como uma tecnologia de transmissão wireless em potencial para sistemas de administração devido à sua alta taxa de transmissão e longo alcance de comunicação. Juntamente com estes avanços, protocolos de redes pessoais sem fio (*Wireless Personal Area Network* (WPAN)), como o padrão IEEE 802.15.4, emergiram como alternativa tecnológica de baixo consumo energético para a conexão sem fio entre sensores. (PARK; LEE; LEE, 2009)

Contudo, levando em conta a acessibilidade da indústria ao Wi-Fi (IEEE 802.11) e sua adoção como principal padrão de comunicação sem fio para todos seus processos -de manufatura ou não- muitas aplicações práticas ainda não tem adotado o melhor padrão de comunicação sem fio para redes de sensores, i.e, o padrão IEEE 802.15.4. Devido à estes fatores, faz-se necessário uma análise mais detalhada de ambos

padrões para sua aplicação em sistemas de monitoramento industriais, principalmente em um cenário de sensoriamento de eventos em tempo real.

1.1 Objetivos

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise comparativa dos padrões de comunicação sem fio Wi-Fi(IEEE 802.11) e IEEE 802.15.4 no monitoramento em tempo real de dados em ambientes industriais. Para isso, os seguintes objetivos específicos são definidos:

- Comparar os padrões de comunicação sem fio de acordo com requisitos essenciais de comunicação no cenário industrial.
- Simular, para cada um dos padrões analisados, uma rede de sensores levando em conta as características do ambiente industrial.
- Testar o desempenho de cada padrão no monitoramento em tempo real por simulação.

2 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos geral e específicos, este trabalho se utilizará das seguintes etapas:

- Apresentar as principais características dos dois padrões de comunicação sem fio comparados.
- Caracterizar a comunicação sem fio em ambientes industriais;
- Levantar requisitos de transmissão de dados em tempo real;
- Identificar os principais parâmetros de performance dos padrões para o cenário proposto;
- Comparar qualitativamente os padrões de acordo com os dados levantados;
- Testar cada padrão comparado em uma rede de sensores simulada pelo software OMNeT++.
- Avaliar qualitativamente o desempenho dos padrões segundo simulação.

A simulação se apresenta como um método de pesquisa que atende limitações financeiras e de tempo de desenvolvimento e têm como principais vantagens ser um método com custos reduzidos e que atenda à flexibilidade necessária para testes. Uma das principais dificuldades encontradas para a otimização de protocolos de redes, assim como de padrões de comunicação, é a análise dos mesmos em diferentes ambientes.(PRETE, 2011)

Dado que a presente análise se aplica em um ambiente industrial e não havendo a disponibilidade do mesmo para testes, optou-se pela adoção da simulação como principal meio de testes dos padrões de comunicação sem fio comparados neste trabalho.

Existem diversas ferramentas de simulação para a implementação e estudo de algoritmos de redes sem fio. De acordo com [Al-Yami, Abu-Al-Saud e Shahzad \(2016\)](#) as ferramentas clássicas incluem NS-2/3, OPNET, OMNeT++, J-Sim, and TOSSIM, os quais suportam certos hardwares e definições de camadas de comunicações e provêm um conjunto de ferramentas para implantação de cenários, modelagem, análise e visualização.

O software OMNeT++ é um ambiente de simulação de eventos discretos, com foco na simulação de redes de comunicação. A ferramenta permite a criação de modelos e sua reutilização através de acesso livre aos mesmos. Apresenta também um suporte extensivo à GUI e devido à sua arquitetura modular, o kernel de simulação e seus modelos podem ser facilmente embarcados em futuras aplicações.([AL-YAMI; ABU-AL-SAUD; SHAHZAD, 2016](#)) Por estes motivos, optou-se pela utilização da ferramenta OMNeT++ para simulação.

2.1 Cronograma

O cronograma proposto para o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso é dado em meses e suas atividades são detalhadas na tabela 1.

O cronograma de atividades ainda destaca em vermelho o período final de entrega e defesa do trabalho e indica de forma geral o agrupamento das atividades por cores, seguindo a classificação adotada na tabela 2.

Tabela 1 – Cronograma de Atividades

Atividades	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Estudo e definição de frameworks para os padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.15.4 no OMNeT++	X	X				
Caracterização geral dos padrões comparados		X				
Caracterização de comunicação industrial		X				
Caracterização de comunicação em tempo real		X				
Redação de análise comparativa textual dos dados levantados		X	X	X		
Modelagem de rede de sensores em ferramenta OMNeT++		X	X			
Testes de desempenho dos padrões por simulação em ferramenta OMNeT++			X	X	X	
Redação da monografia			X	X	X	
Revisão de conteúdo			X	X	X	
Revisão metodológica					X	
Revisão ortográfica					X	
Preparação para apresentação					X	
Entrega e defesa da monografia						X
Ajustes necessários e impressão						X

Tabela 2 – Classificação de macro-atividades por cores

Levantamento	Etapa de levantamento de dados, parâmetros de comparação e características relevantes de análise
Desenvolvimento	Etapa de desenvolvimento prático do projeto através da execução de testes e simulações
Redação	Etapa de escrita do projeto, formatação do trabalho e registro textual da análise
Defesa	Etapa de elaboração de material de apresentação, defesa e entrega de TCC

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Redes industriais

Nas últimas décadas, a automação de fábricas têm se tornado uma área atrativa de pesquisa. Ela engloba diferentes áreas de conhecimentos como engenharia de comunicação, informação, controles, sensores e atuadores de forma integrada, levando à criação de novas soluções, melhores desempenhos e sistemas mais completos. (LEE; SU; SHEN, 2007)

Por isso, um importante componente da automação de fábricas é a comunicação industrial, pois seus sistemas podem ser combinados com diversos sensores, controladores e máquinas heterogêneas conversando através de mensagens especificadas de forma comum. (LEE; SU; SHEN, 2007)

As redes industriais entraram nos últimos anos em um novo cenário de integração de processos e dados no ambiente industrial. Com o surgimento da indústria 4.0, novas tecnologias, padrões, protocolos, processos e pessoas são integradas à coleta e transmissão de informação em uma rede industrial, como indicado na figura 1.

Segundo Li et al. (2017), o objetivo principal da indústria 4.0 é conectar e integrar indústrias tradicionais de manufatura, torná-las mais flexíveis, adaptáveis e aprimorar a eficiência de comunicação não apenas de processos, mas também entre produtores e consumidores. Esta conexão se dá ainda como cooperação entre diferentes fábricas situadas em locais remotos e por isso as comunicações e redes industriais possuem um papel importante.

A integração de diversos dispositivos atuantes em um rede industrial para o alcance de um objetivo, como o aprimoramento em uma linha de produção é objeto principal de estudo neste trabalho, e por isso a explanação do conceito de redes industriais e demais conceitos apresentados a seguir se tornam relevantes.

3.1.1 Comunicação sem fio em ambientes industriais

Segundo Park, Lee e Lee (2009) desde a década de 90, instituições acadêmicas e a indústria focaram na pesquisa e desenvolvimento de redes industriais sem fio para a troca de informações entre dispositivos móveis.

Além disso, as tecnologias e padrões de comunicação sem fio também têm sido identificados como opções atrativas para a indústria para aplicações de automação de fábricas, monitoramento (MACEDO; AFONSO, 2009) e sistemas de controle distribuídos ao aliar os seus principais benefícios de mobilidade e redução de custos de cabeamento e instalação. (WILLIG, 2008)

Porém, é preciso levar em conta que a comunicação de dados sem fio precisa satisfazer requisitos de comunicação em ambientes industriais, tais como transmissão em tempo real e sua confiabilidade, pois, de forma contrária, pode resultar na perda de tempo, lucro ou até resultar em danos físicos. (WILLIG, 2008)

Sabe-se o ambiente industrial é propenso a erros e a confiabilidade de canais sem fio é menor que canais cabeados. Sendo assim, é necessário a caracterização da influência do ambiente industrial na confiabilidade da comunicação sem fio. Esta abordagem é trazida por Macedo e Afonso (2009), Valle et al. (2012) e Lu et al. (2016) e contribuirá no desenvolvimento subsequente do trabalho.

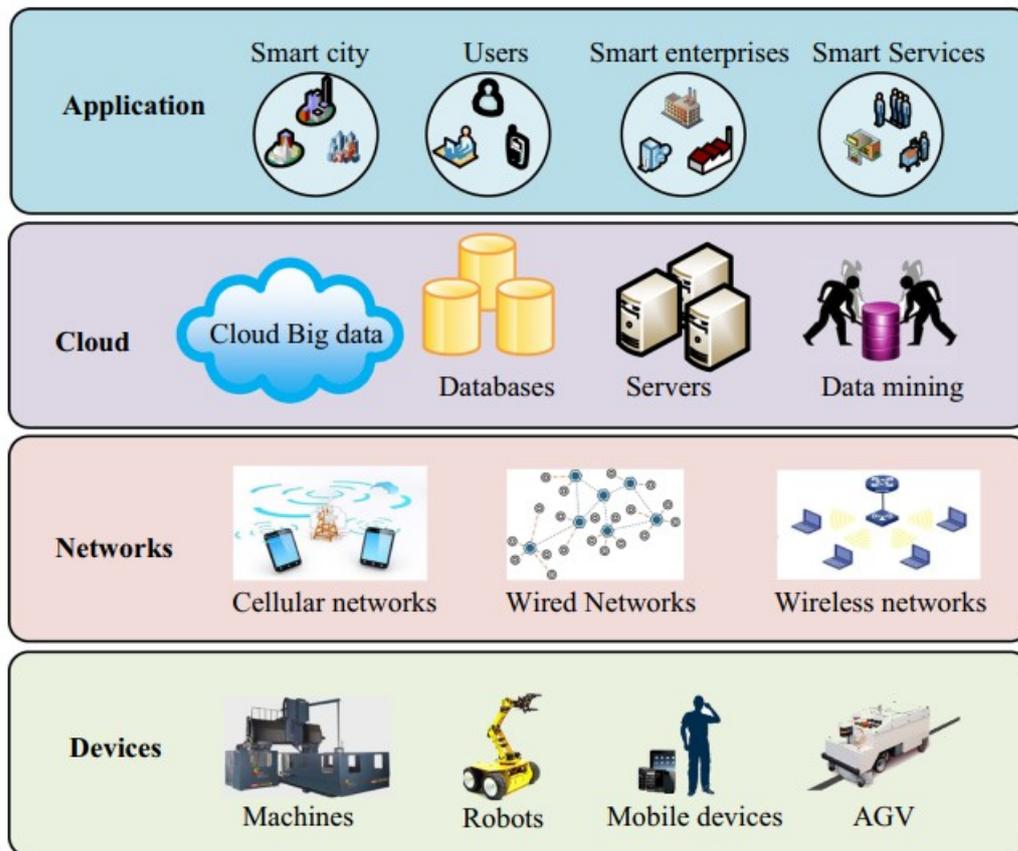


Figura 1 – Layout sobre os conceitos da Indústria 4.0 . Fonte: (LI et al., 2017)

3.1.2 Paradas de Máquinas

As indústrias se utilizam de diversos indicadores-chave de desempenho (*Key Performance Indicator* (KPIs)) para medir o desempenho dos seus processos fabris, dentre outros. Um indicador muito utilizado na indústria de manufatura é o indicador de Eficácia Global de Equipamentos (*Overall Equipment Effectiveness* (OEE)) para calcular, principalmente a eficiência de uma planta industrial e da integração dos seus sistemas e mostrar quais aspectos devem ser intervidos de forma a melhorar a referida eficiência. (LIMA; MOREIRA; SOUSA, 2015)

Segundo Silva (2009), o OEE, além de ser um indicador de desempenho, tem utilidade para quatro finalidades adicionais:

- Planejamento da capacidade;
- Controle do processo;
- Melhoria do processo;
- Cálculo dos custos das perdas de produção;

O OEE é determinado por três fatores: Disponibilidade, Desempenho e Qualidade. A disponibilidade, de crucial análise neste trabalho, é definida pela razão entre o tempo real de operação e o tempo esperado de operação de uma máquina (em horas). Porém, estes tempos de operação são influenciados pela paradas planejadas (como para manutenção) e não planejadas de uma máquina (causadas por falhas).(LIMA; MOREIRA; SOUSA, 2015)

Adicionalmente, de acordo com [Silva \(2009\)](#) as principais perdas de produção em uma indústria de manufatura são devidas a problemas relacionados com equipamentos e têm três origens: perdas causadas pelas paradas não planejadas; perdas resultantes por o equipamento não funcionar à velocidade/cadência nominal; perdas de produto que não cumprem as especificações. Como consequência das paradas, reduz-se o tempo disponível para o equipamento produzir ou operar, interferindo diretamente nos custos de produção e principalmente no cálculo do OEE.

As paradas planejadas podem ainda ser reduzidas com o avanço e introdução de manutenção preditiva na linha de produção. [\(SILVA, 2009\)](#) As paradas não planejadas são, no entanto, mais difíceis de controlar e menos previsíveis e são, portanto, uma das grandes preocupações dos gestores de processos em uma linha de produção. Porém, para se contornar esta situação é possível realizar o monitorando em tempo real da performance das máquinas e poder detectar falhas das mesmas e o tempo de duração da parada, e assim tomar medidas corretivas.

3.1.3 Redes de sensores sem fio industriais

Uma rede de sensores sem fio consiste de nodos sensores simples e um nodo sensor coordenador. Os sensores acoplados ao nodo simples realizam a medição de parâmetros do ambiente e um microcontrolador realiza o processamento de dados. Os dados coletados são então transmitidos ao coordenador através de comunicação sem fio. [\(MEDINA-GARCÍA et al., 2017\)](#)

Segundo [Loureiro et al. \(2003\)](#) as redes de sensores sem fio (**WSNs!**) são diferentes das redes de computadores tradicionais pois possuem um grande número de nodos distribuídos, com restrições de energia e com mecanismos para auto-configuração e adaptação da rede pela possível ocorrência de falhas de comunicação e perda de nodos. Isso confere flexibilidade e modularidade à rede.

As redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks (WSN)*) são portanto implementadas em diversas aplicações e áreas com a ajuda dos avanços significativos de tecnologias de comunicação sem fio e microcontroladores de baixa potência, sensores e softwares embarcados. O escopo das áreas de aplicação é diverso, incluindo agricultura, gestão de desastres, gestão de propriedade cultural, vigilância não tripulada, sistemas de transporte inteligente e controle industrial. [\(YOO et al., 2010\)](#)

Além disso [Macedo e Afonso \(2009\)](#) destacam que as redes de sensores são capazes de coletar grande quantidade de dados do mundo físico, processá-los e tomar decisões baseados nos dados coletados e por este motivo apresentam ainda maior relevância no contexto de ambientes industriais. Dentre as aplicações existentes e com potencial para o uso de redes de sensores industriais sem fio (**IWSNs**) incluem a automação de: construções, processos industriais, utilidades elétricas, metrologia, e gestão de estoque. A Integração destas aplicações junto ao contexto de indústria 4.0 pode ser observado na figura 2

As **IWSNs** têm ainda o potencial de melhorar a produtividade de sistemas industriais provendo o controle e integração de processos [\(GUNGOR; HANCKE, 2009\)](#) e aliados aos seus benefícios de facilidade de instalação e movimento e baixo custo de manutenção têm começado a substituir os sistemas de comunicação convencional com fio. [\(YOO et al., 2010\)](#)

Porém, no contexto industrial, uma das considerações mais importantes ao se implementar redes de sensores é o consumo de energia. [\(CHEN et al., 2008\)](#) Outras preocupações na implementação de **IWSNs** são abordadas por [Kadri \(2012\)](#) e [Gungor e Hancke \(2009\)](#) e serão destacadas durante o desenvolvimento da análise comparativa deste projeto.

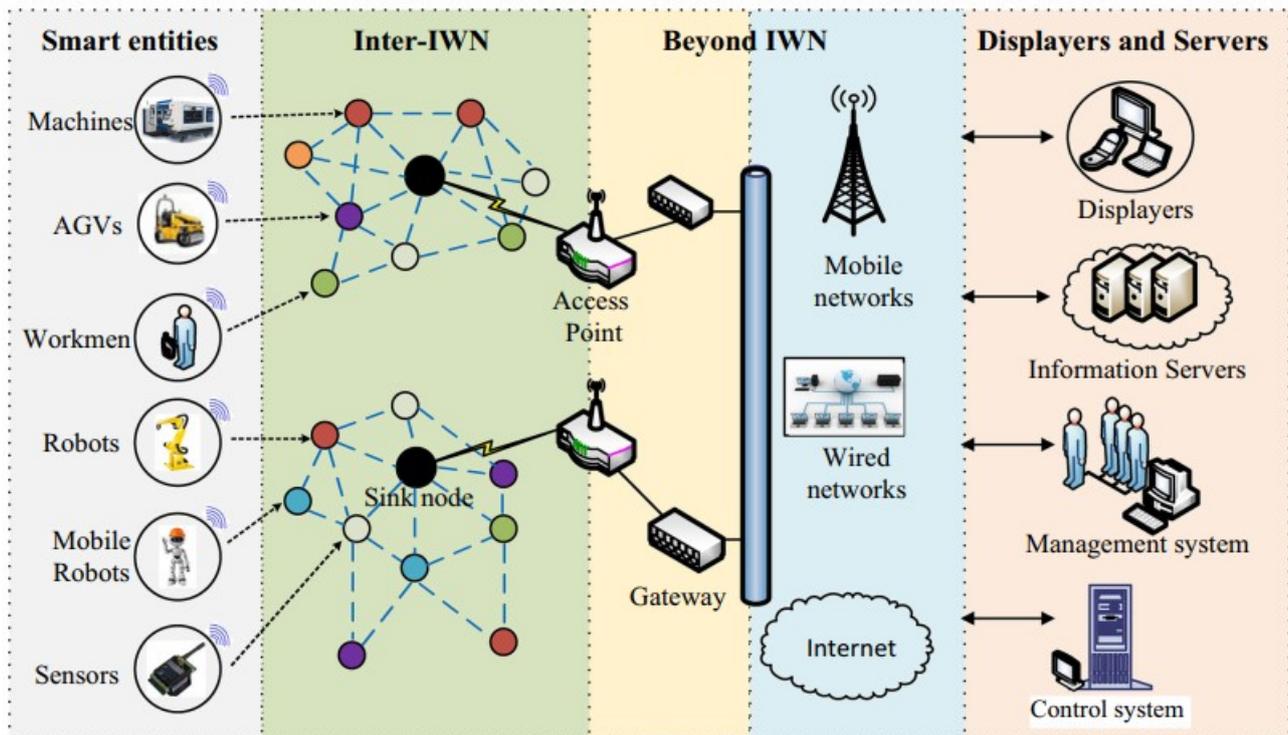


Figura 2 – Diagrama esquemático da nova abordagem de redes industriais no cenário de indústria 4.0 integrando as redes de sensores sem fio. Fonte: (LI et al., 2017)

3.1.4 Monitoramento industrial em tempo real

Segundo Medina-García et al. (2017) o monitoramento de condições de máquinas industriais e desenvolvimento de seus sistemas são tarefas de alta prioridade devido ao seu amplo uso. A manutenção de condições de máquinas se utiliza de dados em tempo real para determinar a saúde do equipamento, otimizar os recursos de manutenção e melhorar a confiabilidade do sistema. Experimentos práticos sugerem que para se prever adequadamente falhas em sistemas é importante coletar o máximo de informações possíveis.

Desta forma, o monitoramento em tempo-real implica na leitura de dados da máquina e sua subsequente representação de forma periódica, independentemente dos passos adicionais que um dispositivo precisa realizar. (MEDINA-GARCÍA et al., 2017)

Segundo Yoo et al. (2010) De acordo com futuras propostas, o padrão IEEE 802.15.4e é suposto por apoiar melhor as aplicações industriais em termos de comunicação em tempo real e confiável. No entanto, ainda requer um algoritmo de escalonamento de mensagens em tempo real para escalar mensagens periódicas em tempo real.

3.2 Os padrões de comunicação sem fio

Os padrões de comunicação sem fio abordados neste trabalho são o IEEE 802.15.4 e IEEE 802.11 e serão brevemente aqui apresentados para serem melhor analisados durante o desenvolvimento do projeto.

Ambos padrões são enquadrados para uso em redes WPAN com foco em enlaces sem fio de curto alcance, e redes locais e metropolitanas WLAN e WMAN, respectivamente. (PETROVA et al., 2006)

A maior parte dos produtos de comunicação sem fio que utilizam tais padrões de comunicação operam na banda de licença livre de 2.4GHz, tornando-os portanto, principais padrões escolhidos para uso

na indústria e demais soluções. Os principais exemplos destes produtos em redes pessoais sem fio (WPAN) são Bluetooth e ZigBee (IEEE 802.15.4), assim como em redes locais (WLAN) o W-Fi (IEEE 802.11). (MACEDO; AFONSO, 2009)

3.2.1 IEEE 802.11

O IEEE 802.11 padroniza as redes sem fio locais (WLAN), sendo comumente conhecido por Wi-Fi (wireless fidelity).

O Wi-Fi, mais especificamente o padrão IEEE 802.11b/g é tipicamente considerado como uma solução de comunicação sem fio com alto consumo energético, porém, como novos avanços de implementação da tecnologia, pode-se conseguir um baixo consumo energético durante estados não ativos de comunicação. (VARGHESE; TANDUR; RAY, 2017)

Mais recentemente, o padrão IEEE 802.11 têm crescido como tecnologia de transmissão sem fio para sistemas de manufatura devido à sua alta taxa de transmissão (dezenas de megabits por segundo) e grande alcance (centenas de metros). (PARK; LEE; LEE, 2009)

Aliando-se um baixo consumo energético à médias ou altas taxas de transmissão, não descartam, mas sim levantam o WiFi como opção para aplicações industriais em casos específicos. (VARGHESE; TANDUR; RAY, 2017)

3.2.2 IEEE 802.15.4

Segundo Petrova et al. (2006) Na última década, diversas tecnologias sem fio de curto alcance foram desenvolvidos como resposta à crescente demanda por conexões flexíveis e portáteis e o padrão IEEE 802.15.4 têm se estabelecido no mercado como habilitador das crescentes redes de sensores (WSNs!).

O padrão IEEE 802.15.4 faz parte da família IEEE com foco em redes pessoais sem fio (WPAN), mais especificamente com baixa taxa de transmissão (*Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN)*) e define as especificações da camada física (PHY) e da subcamada de controle de acesso ao meio (MAC). (PETROVA et al., 2006)

Em contraste com as redes locais (*Wireless Local Area Network (WLAN)*), e o padrão IEEE 802.11, o IEEE 802.15.4 tem ênfase na operação a curto alcance, baixa taxa de transmissão entre pequenos dispositivos embarcados (cerca de 250 kb/s em 2,4 GHz), redes com baixa complexidade, eficiência energética (baixo consumo de energia) e baixo custo. (CHEN et al., 2008)

Algumas características do IEEE 802.15.4 são importantes para a comparação do mesmo com o Wi-Fi como um padrão viável à aplicação industrial. Dentre as principais, destacam-se a comunicação com uso de Beacon para troca de mensagens em tempo real, trazida na abordagem de Yoo et al. (2010) e, em contraponto, Valle et al. (2012) levanta as questões de perda de pacote independentemente dos modos de operação do padrão (com ou sem Beacon) e Park, Lee e Lee (2009) destaca a incerteza do *Carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA)* implementado no padrão convencional IEEE 802.15.4 não favorável à comunicação em tempo real.

3.3 Estudos similares

Alguns estudos similares ao trabalho em questão já vêm sendo realizados, porém diferem da abordagem deste projeto que propõe a análise comparativa dos padrões de comunicação sem fio mais aceitos para aplicações industriais no cenário específico de monitoramento de parada de máquinas.

Um exemplo de similaridade encontra-se em [Macedo e Afonso \(2009\)](#), que avalia o desempenho de uma rede de controle sem fio industrial baseada em IEEE 802.15.4 através de simulação.

[Willig \(2008\)](#) contribui com uma análise comparativa de mais de uma década, concluindo que os padrões Wi-Fi (IEEE 802.11) e IEEE802.15.4 são padrões de comunicação mais viáveis no cenário industrial, levando em conta os problemas de cada padrão a ser resolvido e possíveis melhorias para sua implementação.

[Medina-García et al. \(2017\)](#) apresenta em seu trabalho a criação de um sistema sem fio para detecção de falha de motores industriais combinado ao sensoriamento de demais características do mesmos. O monitoramento em tempo real da condição da máquina foi realizado por [IWSNs](#) e padrão IEEE 802.15.4 no modo de transmissão com Beacon e comprovado sua viabilidade em laboratório e testes de campo.

Destaca-se ainda o estudo de [Affi et al. \(2016\)](#) que apresenta maior similaridade com este projeto. O pesquisador avalia a performance de redes de controle industrial sem fio com os protocolos ZigBee e Wi-Fi através de simulação pela ferramenta OMNeT++.

Vale frisar que outros estudos similares podem contribuir para a construção deste projeto como os apresentados por [Kadri \(2012\)](#), [Varghese, Tandur e Ray \(2017\)](#).

4 CONCLUSÕES

O Pré-projeto atual apresentou a proposta de Trabalho de Conclusão de Curso que deverá ser apresentada como monografia e submetida à Coordenação do Curso de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Telecomunicações.

No [Capítulo 1](#) foi realizada uma introdução com a problematização do tema, motivação, justificativa e definição dos principais objetivos deste trabalho. No [Capítulo 2](#) foi apresentada a metodologia a ser utilizada para o decorrer do desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso, para por fim, apresentar um referencial teórico e revisão bibliográfica no [Capítulo 3](#) dos principais conceitos abordados no trabalho.

Contudo, espera-se alcançar a conclusão da análise dos padrões de acordo com o cenário abordado, disponibilizar os dados comparativos como base para novos cenários de sensoriamento e aplicações industriais, além da análise de desempenho dos padrões por simulação. Através dos resultados obtidos com a execução deste pré-projeto, propõe-se concluir-se qual padrão será o mais viável para o cenário levantado.

REFERÊNCIAS

- AFIFI, G. et al. Dual protocol performance using wifi and zigbee for industrial wlan. In: IEEE. *Control and Automation (MED), 2016 24th Mediterranean Conference on*. [S.l.], 2016. p. 749–754.
- AL-YAMI, A.; ABU-AL-SAUD, W.; SHAHZAD, F. On industrial wireless sensor network (iwsn) and its simulation using castalia. In: IEEE. *Computer Modelling and Simulation (UKSim), 2016 UKSim-AMSS 18th International Conference on*. [S.l.], 2016. p. 293–298.
- CHEN, F. et al. Performance evaluation of ieee 802.15. 4 lr-wpan for industrial applications. In: IEEE. *Wireless on Demand Network Systems and Services, 2008. WONS 2008. Fifth Annual Conference on*. [S.l.], 2008. p. 89–96.
- GUNGOR, V. C.; HANCKE, G. P. Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches. *IEEE Transactions on industrial electronics*, IEEE, v. 56, n. 10, p. 4258–4265, 2009.
- KADRI, A. Performance of ieee 802.15. 4-based wireless sensors in harsh environments. In: IEEE. *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2012 8th International*. [S.l.], 2012. p. 526–530.
- LEE, J.-S.; SU, Y.-W.; SHEN, C.-C. A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In: IEEE. *Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE*. [S.l.], 2007. p. 46–51.
- LI, X. et al. A review of industrial wireless networks in the context of industry 4.0. *Wireless Networks*, v. 23, n. 1, p. 23–41, Jan 2017. ISSN 1572-8196. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11276-015-1133-7>>.
- LIMA, J.; MOREIRA, J.; SOUSA, R. M. Remote supervision of production processes in the food industry. In: IEEE. *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2015 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 1123–1127.
- LOUREIRO, A. A. et al. Redes de sensores sem fio. In: SN. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*. [S.l.], 2003. p. 179–226.
- LU, C. et al. Real-time wireless sensor-actuator networks for industrial cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, IEEE, v. 104, n. 5, p. 1013–1024, 2016.
- MACEDO, P.; AFONSO, J. A. Simulation analysis of ieee 802.15. 4 for wireless networked control systems. In: IEEE. *Industrial Electronics, 2009. IECON'09. 35th Annual Conference of IEEE*. [S.l.], 2009. p. 2482–2487.
- MEDINA-GARCÍA, J. et al. A wireless sensor system for real-time monitoring and fault detection of motor arrays. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 3, p. 469, 2017.
- PARK, J. H.; LEE, S.; LEE, K. C. Performance evaluation of time-triggered ieee 802.15. 4 for wireless industrial network. *IFAC Proceedings Volumes*, Elsevier, v. 42, n. 3, p. 118–122, 2009.
- PETROVA, M. et al. Performance study of ieee 802.15. 4 using measurements and simulations. In: IEEE. *Wireless communications and networking conference, 2006. WCNC 2006. IEEE*. [S.l.], 2006. v. 1, p. 487–492.
- PRETE, L. R. Análise e desempenho de redes de acesso sem fio. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2011.
- SILVA, J. P. D. *OEE—A forma de medir a eficácia dos equipamentos*. 2009.
- VALLE, O. T. et al. Expansion of the available use classes in ieee 802.15. 4 networks for usage in the industrial environment. In: IEEE. *Wireless Communication Systems (ISWCS), 2012 International Symposium on*. [S.l.], 2012. p. 131–135.
- VALLE, O. T. et al. Codificação de rede na retransmissão oportunista de mensagens em redes de sensores sem fio ieee 802.15. 4. 2014.

VARGHESE, A.; TANDUR, D.; RAY, A. Suitability of wifi based communication devices in low power industrial applications. In: IEEE. *Industrial Technology (ICIT), 2017 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2017. p. 1307–1312.

WILLIG, A. Recent and emerging topics in wireless industrial communications: A selection. *IEEE Transactions on industrial informatics*, IEEE, v. 4, n. 2, p. 102–124, 2008.

YOO, S.-e. et al. Guaranteeing real-time services for industrial wireless sensor networks with ieee 802.15.4. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 57, n. 11, p. 3868–3876, 2010.