

Proposta de monitoramento e automação ambiental com IIoT utilizando sensores de baixo custo e redes sem fio

Rodrigo A. Krauel¹, Charles C. Miers¹

¹Departamento de Ciência da Computação (DCC)
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

rodrigo.krauel@edu.udesc.br,

charles.miers@udesc.br

Resumo. *O uso de soluções IIoT para automação de ambientes industriais é uma forma de aumentar aspectos importantes de um negócio, como produtividade, segurança, eficiência, etc. e para diferentes tipos de aplicações o sistema deve apresentar características distintas, uma delas sendo a rede que realizará a conexão desses dispositivos. Este artigo apresenta uma proposta de análise comparativa das redes sem fio ZigBee e LoRa para monitoramento e automação de processos com ênfase na parte ambiental, para processos não críticos, com densidade de sensores e requisitos de rede variável.*

Abstract. *IIoT usage for automation of industrial environments is a way to increase essential aspects of a company, such as productivity, security, efficiency, etc. For different types of problems, the solution must present distinct characteristics, one of them being the network that will connect these devices. This article proposes a comparative analysis of the LoRa and Zigbee networks for monitoring and process automation in the environmental field, in non-critical processes, with a density of sensors and variable network requirements.*

1. Introdução

A Indústria 4.0 é um conceito que vem sendo abordado no cenário industrial global a mais de uma década, e com isso a indústria tem se transformado numa velocidade nunca antes vista [Coelho 2016]. Nesse ritmo acelerado existe uma necessidade cada vez maior tanto de novas tecnologias quanto de testes que permitam a validação destes recursos. Além de aspectos como robôs autônomos, cibersegurança, computação em nuvem e outros, a Internet das Coisas Industrial (IIoT) é uma das principais características da Indústria 4.0 e pode ser considerada um meio para a transição à essa nova etapa da era industrial [Carvalho and Miers 2023].

Considerando que diversas empresas brasileiras ainda se encontram nos estágios da Indústria 1.0 e Indústria 2.0 [Carvalho and Miers 2023], o uso de recursos IIoT pode ser um fator decisivo para o aprimoramento do cenário industrial nacional. Para realizar a comunicação de dispositivos em um sistema IIoT é comum que se utilize redes sem fio devido às suas características que atendem as necessidades dessas soluções, apresentando baixo custo e consumo energético [Carvalho and Miers 2021].

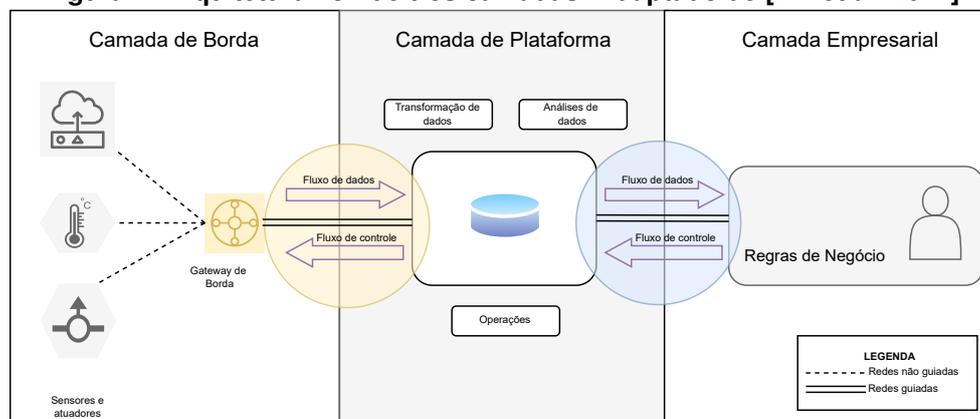
O objetivo desse trabalho é propor uma análise comparativa das redes sem fio ZigBee e LoRa em soluções IIoT voltadas para a automação e monitoramento ambiental em processos não críticos com densidade de sensores em cenários que apresentam requisitos de rede e equipamentos variáveis. O artigo está organizado como segue. A Seção 2 traz a fundamentação de Indústria 4.0, IIoT e monitoramento ambiental. Uma breve explicação e análise comparativa sobre as redes sem fio a serem abordadas na proposta na Seção 3. A proposta do sistema de monitoramento ambiental para a coleta de dados para a comparação e análise de viabilidade, assim como os parâmetros a serem utilizados analisados na Seção 4. A Seção 5 apresenta as considerações e trabalhos futuros.

2. Indústria 4.0 e IIoT

A Indústria 4.0 é um termo que foi utilizado pela primeira vez na Alemanha em 2011, e que foi apresentado ao governo alemão em 2013 através de um relatório contendo um conjunto de recomendações para a sua implementação [Coelho 2016]. Com o advento dessa nova fase da indústria a área de automação de processos/industrial, conhecida por seu conservadorismo [Wollschlaeger et al. 2017], tem se integrado cada vez mais com tecnologias de Tecnologia da Informação (TI). Essa integração que era vista por vezes de forma reativa tem se tornado mais comum, com um dos fatores responsáveis por essa mudança sendo a crescente utilização de sensores e atuadores mais inteligentes através da Internet das Coisas (IoT) [Carvalho and Miers 2021].

Enquanto isso, IoT Industrial ou IIoT se trata de uma versão voltada à indústria do uso de dispositivos inteligentes como sensores e atuadores, computadores e outros por meio da internet [Carvalho and Miers 2023], diferente da sua contraparte mais genérica a IoT. A IIoT faz parte da Indústria 4.0 e pode até mesmo ser vista como uma ferramenta para auxiliar na sua transição [Carvalho and Miers 2023], trazendo diversos benefícios como um ganho de produtividade, segurança e eficiência [SILVA 2022]. Diversas empresas brasileiras ainda se encontram defasadas e estão na Indústria 1.0 e Indústria 2.0, e devido ao extenso uso de sistemas legado, essa pode ser uma transição demorada [Carvalho and Miers 2023], na qual o uso de soluções IIoT pode trazer um impacto positivo se realizado de forma adequada.

Figura 1. Arquitetura IIoT de três camadas. Adaptado de [Lin et al. 2017]



Na Figura 1 pode-se observar uma arquitetura referencial de IIoT separada em três camadas [Lin et al. 2017, SILVA 2022]: (i) Camada de Borda: Composta pelos sensores e

atuadores, assim como outros dispositivos físicos; (ii) Camada de Plataforma: É o meio de comunicação entre as outras duas camadas; e (iii) Camada Empresarial: Responsável por receber os dados da camada de borda e de plataforma, além de emitir dados de controle as mesmas.

Tratando de IIoT, os dispositivos finais da Camada de Borda estão diretamente atrelados à atividade industrial (chão de fábrica). Logo, é essencial que a arquitetura de rede cumpra certos requisitos para que o funcionamento dos serviços de infraestrutura opere de forma adequada, requisitos esses que podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Principais requisitos de desempenho em serviços de IIoT / automação industrial. Adaptado de [Brown et al. 2018].

Caso de Uso (alto nível)		Disponibilidade	Ciclos de tempo	Tamanho típico do payload	Número de dispositivos	Área típica de serviço
Controle de movimento	Impressora industrial	>99,9999%	<2ms	20 bytes	>100	100mx100mx30m
	Máquina-ferramenta	>99,9999%	<0,5ms	50 bytes	~20	15mx15mx3m
	Máquina de embalagem	>99,9999%	<1ms	40 bytes	~50	10mx5mx3m
Robôs móveis	Controle de movimento cooperativo	>99,9999%	1ms	40-250 bytes	100	<1 km ²
	Controle remoto operado por vídeo	>99,9999%	10-100ms	15-150 bytes	100	<1 km ²
Painéis de controles móveis e com funções de segurança	Robôs de montagem ou fresadoras	>99,9999%	4-8ms	40-250 bytes	4	10m x 10m
	Guindastes móveis	>99,9999%	12ms	40-250 bytes	2	4m x 60m
Automação / Monitoramento de processos		>99,99%	>50ms	vários	10.000 dispositivos por km ²	

O monitoramento ambiental é uma prática implementada através do uso de sensores que captam diversos tipos de variáveis ambientais, e.g., temperatura, umidade, pressão atmosférica, presença de químicos, etc. Esses dispositivos podem ainda ser dispostos nos mais variados locais como reservatórios, chão de fábrica, *racks* de servidores e outros. Dito isso, tem se tornado cada vez mais comum o uso de IoT para a implementação desse tipo de sistemas, que normalmente são implementados para garantir a adequação a algum tipo de norma ou lei, como a ANSI/TIA-942 abordada em [Camargo et al. 2016] ou ISA-95 [Hood 2015]. Uma quantidade expressiva de sensores em um mesmo local pode gerar uma densidade que prejudique o uso de redes guiadas, sendo mais adequado o uso de redes sem fio.

3. Redes sem fio

A utilização de redes sem fio, principalmente aquelas com um baixo consumo energético, é ideal para a implementação de aplicações IoT e IIoT, nas quais pode ser comum o uso de equipamentos que utilizem bateria. Quando emprega-se esse tipo de equipamento com redes de baixo consumo energético pode-se alcançar uma vida útil de bateria que pode chegar a meses ou até mesmo anos [Ergen 2004, Carvalho and Miers 2021]. A Tabela 2 elenca algumas tecnologias de comunicação normalmente utilizadas em conjunto com dispositivos IIoT e suas características, as quais podem ser utilizadas para auxiliar a decidir qual tipo de rede usar dependendo das necessidades existentes.

É possível distinguir dois principais tipos de redes na Tabela 2: redes de longo alcance que trabalham em faixas Sub-GHz (LoraWan, SigFox, NB-IoT e outras) e redes de curto alcance que normalmente trabalham na mesma frequência da rede IEEE

Tabela 2. Características de tecnologias de comunicação para IoT e IIoT.

Padrão	IEEE802.11	BLE	ZigBee Pro	SigFox	LoraWan	LTE	NB-IoT	5G
Usa 3GPP?	Não	Não	Não	Não	Não	Sim (Release 13)	Sim (Release 13)	Sim (Release 15)
Área de cobertura	17–30 m	~1–50 m ²	~1–250 m ²	<12 km ²	<10 km ²	<10 km ²	<15 km ²	<12 km ²
Espectro / largura de banda	2,4 GHz (802.11)	2,4 GHz (802.15.1)	2,4 GHz (802.15.4)	900 MHz	900 MHz	7–900 MHz	8–900 MHz	5–900 MHz (entre outras)
Taxa de comunicação	450 Mbps (802.11n)	1 (Mbps)	250 kbps	~100–600 bps	~200–50 kbps	<1 Mbps	<144 kbps	~10 Gbps
Custo	4,00 USD (2016)	4,00 USD (2016)	3,00 USD (2016)	4,00 USD (2015) 2,64 USD (2020)	4,00 USD (2015) 2,64 USD (2020)	5,00 USD (2015) 3,30 USD (2020)	4,00 USD (2015) 2,00–3,00 USD (2020)	<2,00 USD
Latência	20–40 ms	6 ms	40 ms	1–30 s	61–371 ms	50–100 ms	1,6–10 s	5–50 ms
Segurança	256 bits	128 bits AES	128 bits	16 bits	32 bits AES-128	128–256 bits	128–256 bits	256 bits

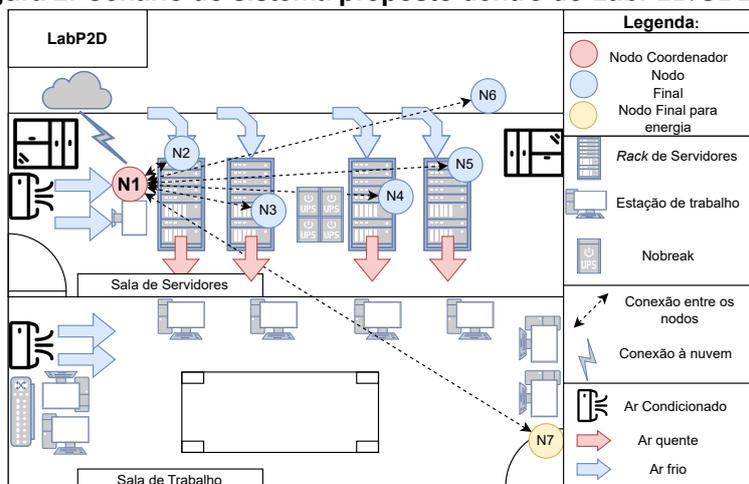
802.11 (BLE, Zigbee e outras). Essa diferença de frequência influencia na capacidade dos equipamentos transmitirem sinais através de obstáculos, o que acaba refletindo em seu alcance. Outro fator importante a se considerar na escolha da rede a ser utilizada é a sua taxa de transmissão, pois há sistemas que necessitam transmitir maior quantidade de dados. Embora existam diversas redes a serem exploradas, nesse artigo foca-se nas redes ZigBee e LoRa, pois essas foram escolhidas devido às suas características para a futura implementação da proposta abordada. A rede ZigBee é caracterizada pela baixa taxa de transmissão de dados, baixo consumo energético e baixo custo, sendo um protocolo de rede sem fio voltado à automação e aplicações de controle remoto [Ergen 2004]. Esse protocolo foi desenvolvido pela *ZigBee alliance*, formada por milhares de empresas, utilizando a infraestrutura da rede IEEE 802.15.4 [Ramya et al. 2011]. A LoraWan, desenvolvida pela *LoRa Alliance*, esse é o nome dado ao protocolo que define a arquitetura e parâmetros utilizando a tecnologia LoRa, podendo ser considerada como a camada lógica da rede e LoRa a camada física [Carvalho and Miers 2021]. Por estar classificada dentro das *Low Power Wide Area Networks* (LPWAN), a LoraWan tem como características o seu baixo consumo energético e grande alcance.

4. Proposta

A proposta desse artigo é realizar uma análise de desempenho das redes LoRa e ZigBee através de uma solução voltada ao monitoramento ambiental, serão analisados aspectos como (i) taxa de transmissão, (ii) perda de pacotes, (iii) latência e vazão de rede. Esses elementos serão obtidos através do envio de dados ambientais adquiridos através dos sensores distribuídos pelo ambiente, sendo analisados posteriormente em um serviço desenvolvido e disponibilizado em uma Máquina Virtual (MV) na nuvem.

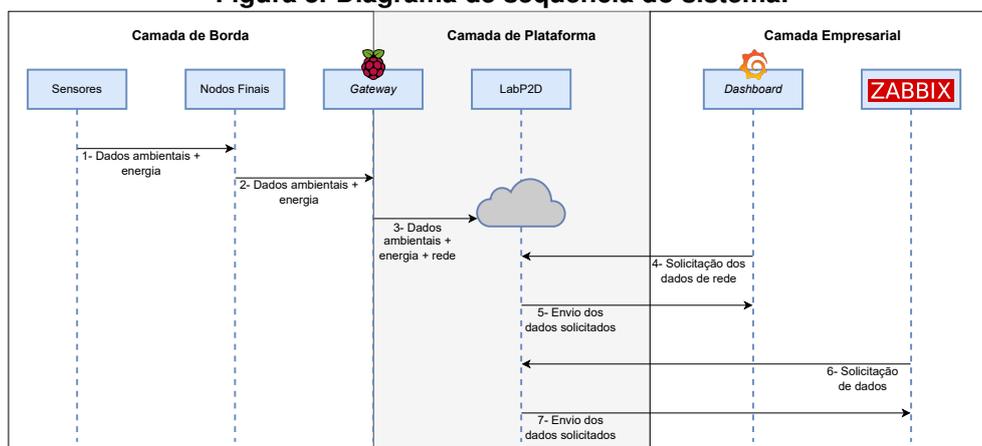
Na Figura 2 é detalhado o cenário da solução proposta, temos um nodo coordenador (em cor vermelha) conectado a um Raspberry Pi 4 responsável por se conectar ao serviço disponibilizado em nuvem, seis nodos finais, cinco com sensores de temperatura e umidade (em cor azul) e um com medidores de energia (em cor amarela), será ainda feita a coleta dos dados de consumo de energia através dos *nobreaks* acessados via LAN. Os sensores utilizados serão os mesmo utilizados em [Camargo et al. 2016] por já estarem disponíveis no laboratório. A *Proof of Concept* (PoC) terá duas etapas: (i) utilizando uma rede ZigBee e (ii) utilizando uma rede LoRa/LoraWan. Essas etapas tem previsão de duração de pelo menos seis meses. A coleta do consumo de energia será realizada com o intuito de deixar a base de dados mais completa, e auxiliar em trabalhos futuros que precisem calcular o *Power Usage Effectiveness* (PUE) do laboratório, visando a redução de gastos desnecessários por parte dos aparelhos de climatização ou outros fins.

Figura 2. Cenário do sistema proposto dentro do LabP2D/UEDESC.



O nodo N6 servirá como um ponto de controle, coletando dados de temperatura e umidade do ambiente externo. Será utilizada a norma TIA-942 como base para a regulação ambiental da sala de servidores, assim como no trabalho de [Camargo et al. 2016], que servirá de base para o sistema a ser implementado, além disso a arquitetura do sistema será dividida segundo o modelo ISA-95 como na solução apresentada em [Carvalho and Miers 2023]. Na Figura 3 é possível acompanhar o fluxo de dados normal do sistema, no qual primeiro é feita a captação das variáveis ambientais e de energia pelos sensores, esses então são enviados para os nodos finais, os quais redirecionam esses dados ao *gateway* (Raspberry Pi) que os envia juntos do consumo de energia dos servidores obtidos através de conexão LAN com os nobreaks ao sistema disponibilizado em nuvem, por fim tem-se o pedido dos dados de rede por parte do *Dashboard*, nesse caso será utilizado a solução Grafana, para visualização e análise, esses mesmos dados em conjunto com os ambientais também são enviados ao Zabbix para análise em trabalhos futuros.

Figura 3. Diagrama de sequência do sistema.



O objetivo dessa solução está na obtenção dos dados de rede através do envio dos dados ambientais obtidos pelos sensores, com o bônus da obtenção dos mesmos para futura análise, não sendo o foco deste trabalho. Como mostrado na Figura 2 a PoC será aplicada no LabP2D/UEDESC, ainda existindo a possibilidade de uma parceria com a ArcelorMittal Vega para a realização de uma segunda PoC em suas instalações.

5. Considerações

A Indústria 4.0 e IIoT promovem um ganho considerável às empresas com relação à redução de custos, eficiência e produtividade. Mais estudos e casos de uso que comprovem a sua eficácia são essenciais para instigar as indústrias nacionais a utilizar essas novas tecnologias que vem surgindo. A escolha de recursos de baixo custo é fundamental para tornar esse tipo de soluções atrativa ao mercado. As redes que serão utilizadas se adequam bem aos requisitos de número de nodos, taxa de transmissão e segurança, e são tecnologias atuais com diversos trabalhos relacionados, tanto na área de automação e monitoramento quanto em outras. Os trabalhos futuros envolvem a implementação da solução proposta, a sua expansão com o uso de outras redes, e.g. SigFox, e ainda trabalhos como [Camargo et al. 2016] mais voltados para a análise dos dados ambientais e adequação as suas normas, reduzido ainda gastos desnecessários de energia.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio do LabP2D/UDESC e a FAPESC.

Referências

- Brown, G., Analyst, P., and Reading, H. (2018). Ultra-reliable low-latency 5g for industrial automation. *Technol. Rep. Qualcomm*, 2:52065394.
- Camargo, D. S., Miers, C. C., Koslovski, G. P., and Pillon, M. A. (2016). Greenhop: Open source environmental monitoring for small and medium data centers. In *35th International Conference of the Chilean Computer Science Society*, pages 1–12.
- Carvalho, D. F. d. and Miers, C. C. (2021). Uma proposta de estudo comparativo de nb-iot vs lorawan para aplicação em redes iiot privadas para automação e monitoramento de processos. In *Anais da XIX Escola Regional de Redes de Computadores*, pages 19–24.
- Carvalho, D. F. d. and Miers, C. C. (2023). Process automation and monitoring systems based on iiot using private lorawan networks: A case study of arcelormittal vega facilities. In *IoTBDS*, pages 243–254.
- Coelho, P. M. N. (2016). *Rumo à indústria 4.0*. Phd thesis, Universidade de Coimbra.
- Ergen, S. C. (2004). Zigbee/ieee 802.15. 4 summary. *UC Berkeley, September*, 10(17):11.
- Hood, G. W. (2015). Industry standard models for design/discussion of manufacturing systems. In *2015 5th Australian Control Conference (AUCC)*, pages 12–15. IEEE.
- Lin, S., Miller, B., Durand, J., Bleakley, G., Chigani, A., Martin, R., Murphy, B., and Crawford, M. (2017). The industrial internet of things reference architecture. *The Industrial Internet Consortium (IIC)*.
- Ramya, C. M., Shanmugaraj, M., and Prabakaran, R. (2011). Study on zigbee technology. In *2011 3rd international conference on electronics computer technology*, volume 6, pages 297–301. IEEE.
- SILVA, S. H. (2022). Análise do ciclo de vida de credenciais em redes lorawan privadas para iiot. Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC.
- Wollschlaeger, M., Sauter, T., and Jasperneite, J. (2017). The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. *IEEE industrial electronics magazine*, 11(1):17–27.