

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

ARTHUR EW DA SILVA

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

Implementação de Internet das coisas na construção cível

**PORTO ALEGRE
2023**

ARTHUR EW DA SILVA

IMPLEMENTAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS NA CONSTRUÇÃO
CÍVIL

Projeto de Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia elétrica do Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia elétrica.

Orientador: Gilson Inacio Wirth,

Porto Alegre
2023

RESUMO

As metas de responsabilidade climática estão cada vez mais desafiadoras e estão exigindo maior empenho de países e empresas de todos os setores. Em especial, o setor de construção civil é um dos maiores emissores de gases de efeito estufa.

Com a necessidade de levantar dados detalhados sobre o consumo de energia elétrica nos canteiros de obras do grupo Bouygues Construction, nasceu o braço de projetos IoT dentro da *Bouygues Construction Matériel*. Dentre os projetos, temos um intitulado de *Armoires Électriques Connectées* (AEC) - "Armários Elétricos Conectados", com o objetivo de captar o consumo de cada canteiro de obras onde a empresa atua, podendo esse consumo ser subdividido por armário conectado e até mesmo por cada equipamento conectado ao armário. Além do consumo energético, o projeto também proporciona a geolocalização desses armários, envio de alertas de saída de zona, alertas de disjunção e alertas de superaquecimento.

Neste projeto de diplomação há o detalhamento de atividades exercidas e dificuldades encontradas no projeto AEC durante um trabalho realizado na equipe de IoT solutions da empresa Bouygues. Até o fim do contrato, foi alcançada uma taxa de 85% de armários em funcionamento nos canteiros de obras, permitindo a captação, envio e estocagem de informações via uma rede IoT LoRaWAN. Como produto final, temos uma plataforma AEC onde todos os dados capturados são tratados e exibidos. Portanto o leitor poderá identificar as etapas necessárias para a implementação de um projeto IoT nesse contexto, bem como quais dificuldades ele poderá encontrar.

Palavras-chave: Armários elétricos conectados. Canteiro de obras. Consumo. Dados. IoT.

ABSTRACT

Climate responsibility targets are becoming more challenging and are demanding greater commitment from countries and companies in all sectors. In particular, the construction industry is one of the largest emitters of greenhouse gases.

With the need to gather detailed data on electrical energy consumption on construction sites of the Bouygues Construction Group, the IoT projects arm within *Bouygues Construction Matériel* was born. Among the projects, we have one entitled *Armoires Électriques Connectées* (AEC) - "Connected Electric Cabinets", with the goal of capturing the consumption of each construction site, and this consumption can be subdivided by cabinet connected and even by each equipment connected to the cabinet. In addition to energy consumption, the project also provides the geolocation of these cabinets, sending exit zone alerts, circuit breaking alerts, and overheating alerts.

This graduation project details the activities performed and difficulties found in the AEC project during a work carried out in the IoT solutions team of the company Bouygues. By the end of the contract, a rate of 85% of cabinets working on construction sites was achieved, allowing the capture, sending and storage of information via an IoT LoRaWAN network. As a final product, we have an AEC platform where all captured data is processed and displayed. Therefore, the readers will be able to identify the steps needed to implement an IoT project in this context, as well as what difficulties they might find.

Keywords: Connected electrical cabinets. Construction site. Data. Electricity consumption. IoT.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo do modelo de comunicação Dispositivo-Dispositivo	13
Figura 2 – Exemplo do modelo de comunicação Dispositivo-Nuvem . . .	14
Figura 3 – Exemplo do modelo de comunicação Dispositivo-Gateway . .	15
Figura 4 – Exemplo do modelo de comunicação de Compartilhamento de Dados	15
Figura 5 – Arquitetura de uma rede LoRaWAN	16
Figura 6 – Foto de perfil do objeto conectado DINDIO16	19
Figura 7 – Estrutura de uma mensagem contendo estados das entradas, temperatura e contadores	20
Figura 8 – Exemplo de uma mensagem enviada	21
Figura 9 – Emissão de gases do efeito estufa por polo de atividade do Grupo Bouygues	23
Figura 10 – Fluxograma geral do projeto	27
Figura 11 – Armário elétrico conectado	28
Figura 12 – Esquema de ligação do objeto conectado	28
Figura 13 – Objeto conectado e contador, com suas respectivas alimen- tações e proteções	29
Figura 14 – Modelo do fluxo dos dados	33
Figura 15 – Página inicial de um utilizador na plataforma AEC	38
Figura 16 – Mapa com os canteiros de obras de um utilizador	38
Figura 17 – <i>Dashboard</i> geral de um canteiro de obras na plataforma AEC	39
Figura 18 – Limites definidos para um canteiro de obras	40
Figura 19 – Consumo de energia elétrica de um canteiro de obras com filtro mensal	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixa de conectividade dos objetos de acordo com o SNR [dB]	18
Tabela 2 – Especificação das entradas do objeto DINDIO16 (ATIM, 2022a)	20
Tabela 3 – Indicadores gerais médios da rede IoT instalada	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	<i>Autonomous Building for Citizens</i>
AEC	Armário Elétrico Conectado
ALG	<i>Aplication Layer Gateway</i>
API	<i>Application Program Interface</i>
COP21	Conferência das Partes
IoT	<i>Internet of Things</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Wide Area Network</i>
LPWAN	<i>Lower Power Wide Area Network</i>
M2M	<i>Machine-to-Machine</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Inidication</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
TCs	Transformadores de Correntes

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	10
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2	CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	INTERNET OF THINGS - IOT	11
2.1.1	IOT EM BLOCOS FUNCIONAIS	11
2.1.2	MODELOS DE COMUNICAÇÃO	12
2.1.2.1	COMUNICAÇÃO DISPOSITIVO-DISPOSITIVO	13
2.1.2.2	COMUNICAÇÃO DISPOSITIVO-NUVEM	13
2.1.2.3	COMUNICAÇÃO DISPOSITIVO-GATEWAY	14
2.1.2.4	MODELO DE COMPARTILHAMENTO DE DADOS	14
2.2	LORAWAN	16
2.3	INDICADORES DE QUALIDADE DE UMA REDE IOT LORAWAN	17
2.4	OBJETOS E SENSORES UTILIZADOS EM IOT	18
2.4.1	ESPECIFICAÇÃO DAS ENTRADAS DO OBJETO	19
2.4.2	ESTRUTURA DAS MENSAGENS ENVIADAS PARA A REDE	20
2.4.2.1	EXEMPLO DE TRADUÇÃO DE UMA MENSAGEM	21
2.5	RESPONSABILIDADE CLIMÁTICA: ACORDO DE PARIS E CONTRIBUIÇÃO DA INTERNET DAS COISAS	21
2.5.1	ESTUDO DE CASO: COMPROMETIMENTO DO GRUPO BOUYGUES COM O ACORDO DE PARIS E O PROJETO AEC	22
2.6	GRUPO BOUYGUES E BOUYGUES CONSTRUCTION	24
3	METODOLOGIA, DESAFIOS E FUNÇÕES DESENVOLVIDAS	25
3.1	CONJUNTO DE DADOS E INFORMAÇÕES UTILIZADAS	25
3.2	MODELO ESTRUTURAL DO PROJETO	26
3.2.1	O ARMÁRIO ELÉTRICO CONECTADO	27
3.2.1.1	FLUXO DO ARMÁRIO ELÉTRICO CONECTADO	29
3.2.2	FLUXO DO OBJETO CONECTADO	30
3.2.3	FLUXO DA PLATAFORMA AEC	31
3.2.4	FLUXO DOS DADOS: DO OBJETO ATÉ A APLICAÇÃO AEC	32
3.3	DESAFIOS ENCONTRADOS E FUNÇÕES DESENVOLVIDAS	33
4	PRODUTO FINAL E RESULTADOS	37
4.1	PLATAFORMA AEC	37

4.2	INDICADORES GERAIS DO PROJETO	41
4.2.1	INDICADORES OPERACIONAIS	41
4.2.2	INDICADORES DE QUALIDADE DA REDE IOT INSTALADA	43
5	CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS	45
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Um dos primeiros exemplos de "Internet das Coisas" (*Internet of Things* - *IoT*) que o mundo obteve foi em 1980 em uma máquina de refrigerantes da Coca Cola localizada na Carnegie Mellon University, mas somente em 1999 durante uma apresentação de Kevin Ashton que a frase "Internet of Things" virou um conceito (GOKHALE; BHAT; BHAT, 2018). De lá para cá, as utilizações e demandas desse conceito vem crescendo cada vez mais, seja para efetuar o levantamento do consumo de energia elétrica, geolocalização, automação industrial e residencial e até mesmo dentro da construção civil.

A Internet das Coisas é um tema emergente de importância técnica, social, econômica (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015), com muito potencial no auxílio em atividades envolvendo mudanças climáticas. Produtos de consumo, bens duráveis, carros e caminhões, componentes industriais e utilitários, sensores e outros objetos do cotidiano estão sendo combinados com a conectividade à internet em conjunto a poderosos recursos analíticos de dados, que prometem transformar a forma como trabalhamos, vivemos e brincamos (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015).

Ao mesmo tempo, porém, a Internet das Coisas levanta desafios significativos que podem retardar a realização de seus benefícios esperados. Manchetes que chamam a atenção sobre o *hacking* de dispositivos conectados à internet, preocupações com a segurança e receios de privacidade já captaram a atenção do público. Os desafios técnicos permanecem e novos desafios políticos, jurídicos e de desenvolvimento estão surgindo (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015).

O estudo de caso apresentado nesse trabalho, demonstrará uma aplicação IoT na construção civil que permite auxiliar empresas a cumprirem suas metas climáticas. O projeto desenvolvido tem como objetivo detalhar o consumo de energia elétrica em construções de grande porte para permitir tomadas de decisões estratégicas para diminuição do consumo de eletricidade, embasadas em dados concretos de centenas de canteiros de obras. Nesse trabalho será detalhada a estrutura do projeto, seu funcionamento, seus pontos chaves, as dificuldades encontradas ao longo da implementação e seu produto final, que além de abranger pontos de consumo de energia elétrica, também conta com geolocalização, alertas de disjunção e de temperatura.

1.1 Objetivos

- Utilização de IoT na rastreabilidade do consumo de energia elétrica em larga escala em canteiro de obras;
- Obter uma taxa de pelo menos 80% de objetos conectados em funcionamento em campo;
- Ter uma plataforma onde os dados são apresentados;
- Demonstrar a estruturação do modelo IoT utilizado no estudo de caso;
- Analisar se a estrutura do modelo é escalável para centenas de canteiros de obras;
- Destacar sobre as dificuldades encontradas na operação do projeto.

1.2 Estrutura do trabalho

Introdução: Aqui é exibido em âmbito geral o que esse projeto de diplomação busca entregar e faz uma contextualização sobre o tema IoT.

Contextualização Teórica: Neste capítulo está uma apresentação dos itens e fundamentos no qual o projeto foi baseado, bem como uma apresentação de um estudo de caso.

Metodologia, Desafios e Funções desenvolvidas: Na metodologia será abordado a origem dos dados utilizados e a estrutura geral do projeto AEC. Após serão abordados desafios encontrados na implementação da estrutura do projeto, bem como as atividades desenvolvidas para sanar/minimizar os problemas encontrados.

Produto final e Resultados: Este capítulo será dedicado à apresentação do produto final e dos resultados obtidos ao final do projeto.

Conclusão e Próximos passos: Na conclusão será feito um desfecho do que foi demonstrado ao decorrer do texto, reforçando os resultados obtidos, lições aprendidas e indicações de próximos passos à serem implementados.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo serão abordados conceitos fundamentais sobre *Internet of Things*, suas utilizações, vantagens e potencial suporte para empresas engajadas em mudanças climáticas. Será realizada também uma contextualização sobre a empresa ligada ao estudo de caso presente nesse projeto de diplomação, bem como um exemplo do seu comprometimento com metas climáticas. A empresa ligada ao estudo de caso se chama Bouygues Construction e pertence ao Grupo Bouygues.

2.1 Internet of Things - IoT

A *International Telecommunication Union - ITU* definiu Internet das Coisas como:

"Uma infra-estrutura global para a sociedade da informação permitindo serviços avançados por interconexão (física e virtual) de coisas baseadas em, existentes e evolutivas, informações interoperáveis e tecnologias de comunicação" (ITU, 2015).

Apesar do movimento global em torno de *Internet of Things*, não há uma definição única e universalmente aceita para o termo. Diferentes definições são usadas por vários grupos para descrever ou promover uma visão particular do que IoT significa e seus atributos mais importantes. Entretanto, o fundamental de um sistema IoT é que os objetos conectados possam ser identificados de forma única nas representações virtuais. Dentro de um sistema IoT, todas as coisas são capazes de trocar dados e, se necessário, processar dados de acordo com esquemas pré-definidos (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015) e (LI; XU; ZHAO, 2014).

2.1.1 IoT em Blocos Funcionais

Um sistema IoT pode ser descrito como sendo composto por uma série de blocos funcionais que facilitam as utilidades ao sistema, como, por exemplo, sensoriamento, identificação, acionamento, comunicação e gerenciamento. Os blocos funcionais podem ser descritos como:

Dispositivo: Um sistema IoT é baseado em dispositivos que fornecem atividades de sensoriamento, acionamento, controle e monitoramento. Os dispositivos IoT podem trocar dados com outros dispositivos e aplicações

conectadas, ou coletar dados de outros dispositivos e processar os dados localmente, ou enviar os dados para servidores centralizados ou *back-ends* de aplicações baseadas em nuvem para processar os dados, ou executar algumas tarefas localmente e outras tarefas dentro da infraestrutura IoT com base em restrições de tempo e espaço (ou seja, memória, capacidades de processamento, latências e velocidades de comunicação e prazos). Quase todos os dispositivos IoT geram dados de alguma forma que, quando processados por sistemas de análise de dados, levam a informações úteis para guiar tomadas de ações locais ou remotas. Como por exemplo em um canteiro de obras que tenha consumo de energia elevado em um domingo (que teoricamente não há trabalhadores em campo) pode indicar que algum ar condicionado tenha sido esquecido ligado e alguma ação para desligá-lo pode ser tomada (RAY, 2016).

Comunicação: O bloco de comunicação realiza a comunicação entre dispositivos e servidores remotos (RAY, 2016). Logo na sequência será comentado sobre alguns modelos de comunicação.

Serviços: Um sistema IoT serve vários tipos de funções, tais como serviços para modelagem de dispositivos, controle de dispositivos, publicação de dados e análise de dados (RAY, 2016).

Gerenciamento: O bloco de gerenciamento oferece diferentes funções para governar um sistema IoT (RAY, 2016).

Segurança: O bloco funcional de segurança protege o sistema IoT, fornecendo funções como autenticação, autorização, privacidade, integridade da mensagem, integridade do conteúdo e dados (RAY, 2016).

Aplicativo: A camada de aplicativo é a mais importante em termos de usuários, pois atua como uma interface que fornece os módulos necessários para controlar e monitorar vários aspectos do sistema IoT. Os aplicativos permitem que os usuários visualizem e analisem o status do sistema no estágio atual de ação, às vezes fazendo previsão de perspectivas futuristas (RAY, 2016).

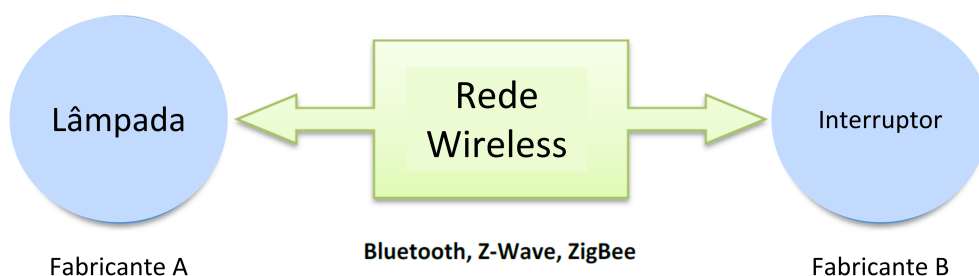
2.1.2 Modelos de Comunicação

Dispositivos de IoT podem se comunicar com diferentes modelos e estruturas, será apresentado aqui quatro modelos de comunicação existentes no mercado, tendo cada um suas vantagens de acordo com o caso de utilização. A próximas linhas irão apresentar cada modelo, explicando e exemplificando as características de cada um.

2.1.2.1 Comunicação Dispositivo-Dispositivo

Como o próprio nome indica, esse modelo representa a conectividade de dois ou mais objetos, que estão diretamente conectados e podem se comunicar entre si, sem a necessidade de um servidor intermediário. Para estabelecer essa conexão direta pode ser usado o protocolo tipo *Bluetooth* (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015), como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo do modelo de comunicação Dispositivo-Dispositivo



Fonte: (TSCHOFENIG et al., 2015)(tradução nossa)

Esse tipo de esquema é amplamente usado em automação residencial, pois os pacotes de informação enviados e recebidos não tem um tamanho considerável e muitas das atividades não necessitam de uma análise muito elaborada de dados. Um exemplo seria um termostato que indica em qual temperatura o ar condicionado da casa deve ligar ou desligar.

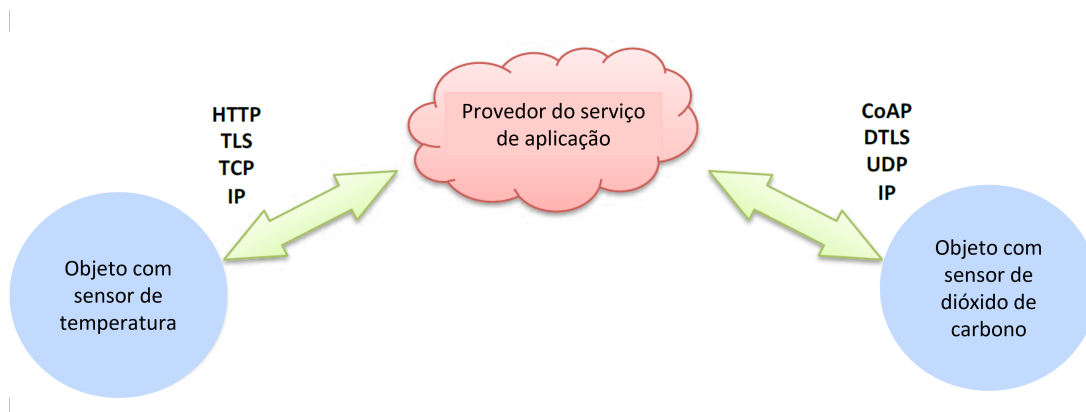
Um dos problemas desse tipo de comunicação é que o cliente pode ficar limitado em relação a marca dos produtos utilizados na automação, muitas vezes tendo que comprar todos os itens de uma mesma marca para garantir que eles se comuniquem entre si (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015).

2.1.2.2 Comunicação Dispositivo-Nuvem

A Figura 2 mostra o modelo de comunicação Dispositivo-Nuvem, nele os objetos estão ligado diretamente a algum serviço/aplicação de *cloud* que permite a coleta de dados e o controle do tráfego de mensagens.

Uma das grandes vantagens desse modo de comunicação é a possibilidade de criar uma base de dados com os dados que são captados pelos sensores, abrindo oportunidade para a realização de análises e relatórios. Outro ponto bastante positivo é o fácil envio de controles/ordens (Ligar o ar de casa antes mesmo de chegar em casa pelo telefone) e agilidade na atualização dos objetos conectados.

Figura 2 – Exemplo do modelo de comunicação Dispositivo-Nuvem



Fonte: (TSCHOFENIG et al., 2015)(tradução nossa)

Um ponto de atenção para esse modelo é a possibilidade de que os objetos possam se conectar diretamente com apenas uma plataforma específica de *cloud*, se tornando obrigatória a adesão de um determinado serviço para ter acesso aos dados coletados (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015).

2.1.2.3 Comunicação Dispositivo-Gateway

Nesse modelo, o dispositivo IoT se conecta através de um serviço de *application layer gateway* (ALG) como um canal para chegar a um serviço de nuvem (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015). Isso significa que há um software aplicativo operando em um dispositivo de *gateway* local, atuando como intermediário entre o dispositivo e o serviço de nuvem. Algumas outras funcionalidades são oferecidas, como segurança, dados e tradução de protocolos. A Figura 3 representa esse modelo de comunicação.

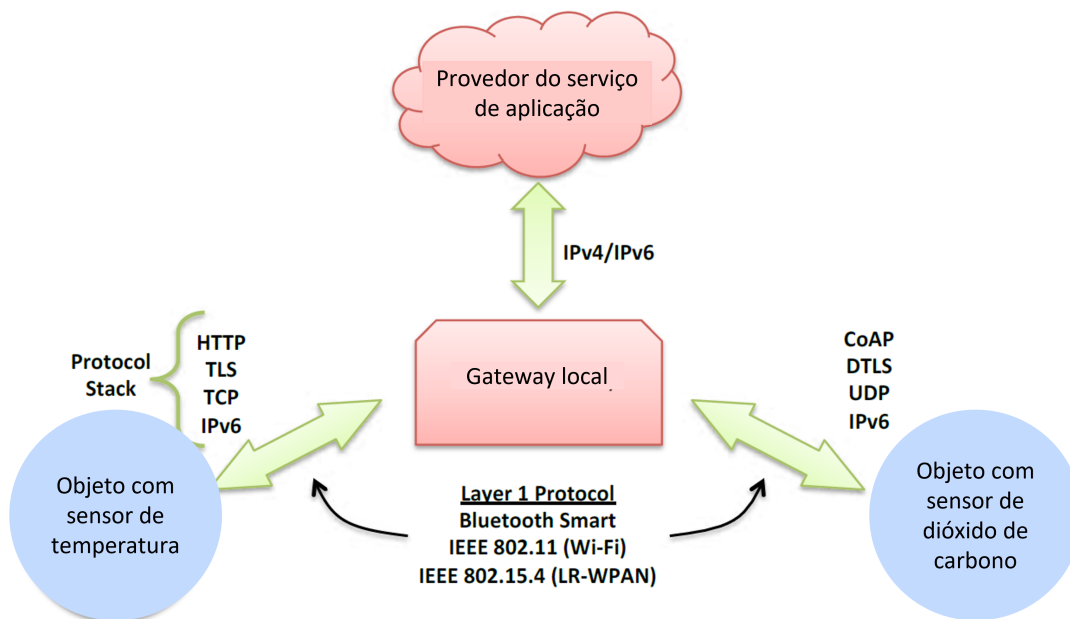
Como será visto nos próximos capítulos, o modelo Dispositivo-Gateway foi o modelo utilizado no projeto exemplo desse trabalho.

2.1.2.4 Modelo de Compartilhamento de Dados

Exemplificado na Figura 4, esse modelo traz uma arquitetura que permite os utilizadores exportarem e analisarem dados de fontes diferentes. Esse modelo pode ser visto como uma extensão da arquitetura Dispositivo-Nuvem, podendo dar acesso a dados captados por sensores de terceiros (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015).

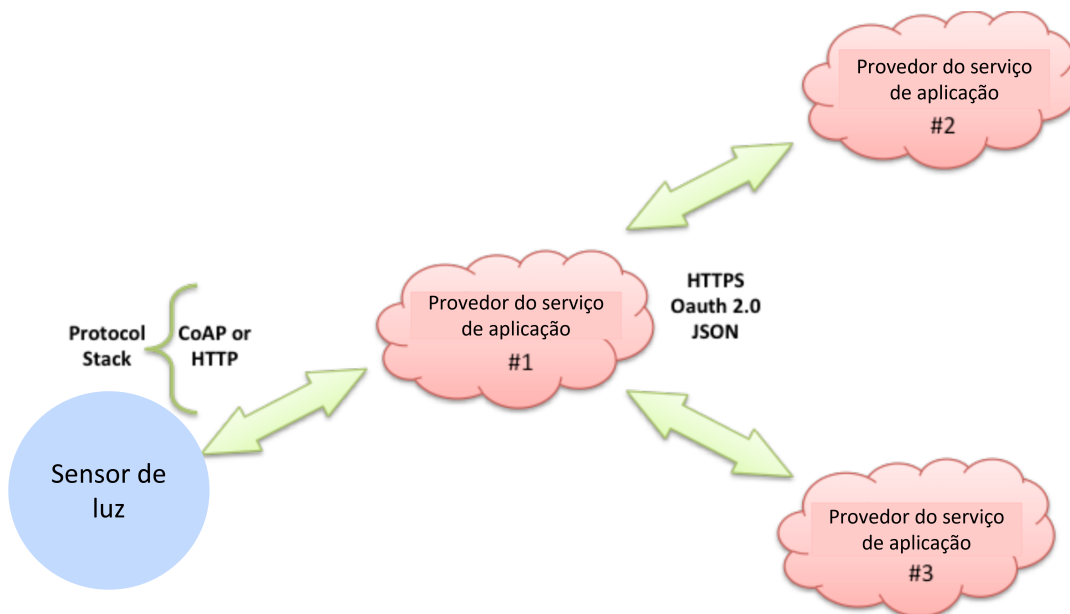
Por exemplo, uma empresa que possui um complexo de escritórios estaria interessada em consolidar e analisar os dados de consumo de energia e utilidades produzidos por variados sensores IoT de diferentes marcas e

Figura 3 – Exemplo do modelo de comunicação Dispositivo-Gateway



Fonte: (TSCHOFENIG et al., 2015)(tradução nossa)

Figura 4 – Exemplo do modelo de comunicação de Compartilhamento de Dados



Fonte: (TSCHOFENIG et al., 2015)(tradução nossa)

sistemas de utilidades habilitados para Internet nas instalações. Muitas vezes, no modelo de Dispositivo-Nuvem, os dados que cada sensor ou sistema IoT produz ficam em um estoque de dados autônomo, limitando o acesso conjunto dos dados. Uma arquitetura de compartilhamento de dados eficaz permitiria à empresa acessar e analisar facilmente os dados na nuvem produzidos por todo o espectro de dispositivos do edifício. Além disso, este

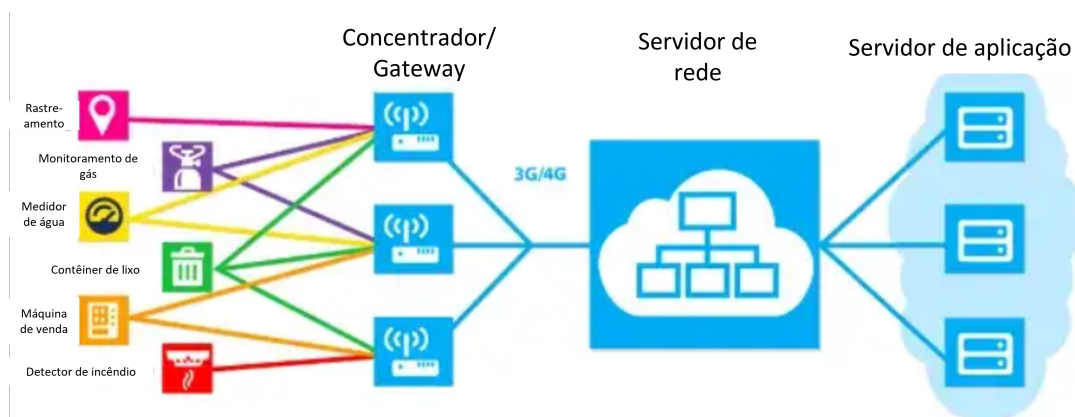
tipo de arquitetura facilita as necessidades de portabilidade de dados (ROSE; ELDRIDGE; CHAPIN, 2015).

2.2 LoRaWAN

Cada vez mais a Internet das Coisas precisa e vai precisar de tecnologias que envolvam pouco consumo de energia para sua operação, que sejam baratas, que não sejam muito complexas e que permitam a comunicação entre longas distâncias. Neste momento, uma das tecnologias que entrega essas características é chamada de LPWAN (*Lower Power Wide Area Network*). Algumas tecnologias LPWAN disponíveis no mercado são: SigFox, NB-IoT e LoRaWAN. Para o projeto exemplo que será apresentado nesse trabalho, a tecnologia utilizada foi a LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*), logo será dada uma atenção especial a ela nesse item.

LoRaWAN é um protocolo *medium access control* (MAC), *open source* e padronizado pela *LoRa Alliance*¹, que roda em cima da camada física da LoRa (a rede LoRa opera entre 863MHz e 870MHz na Europa). A arquitetura da rede tem uma topologia em estrela, os dispositivos (objetos conectados) podem se comunicar apenas com *gateways* LoRaWAN (normalmente antenas de companhias de telecomunicação), e não diretamente entre eles, por sua vez, múltiplos *gateways* estão conectados a um servidor de rede central (Um sistema na nuvem que armazena as informações enviadas pelos objetos). Por fim, a comunicação termina nos servidores de aplicação (Uma página web/aplicativo - normalmente a interface com o cliente final) (HAXHIBEQIRI et al., 2018). Um exemplo dessa arquitetura é apresentado na Figura 5

Figura 5 – Arquitetura de uma rede LoRaWAN



Fonte: (RAM, 2018)(tradução nossa)

¹ A LoRa Alliance® é uma associação aberta, sem fins lucrativos, com a missão de apoiar e promover a adoção global do padrão LoRaWAN®.

2.3 Indicadores de qualidade de uma rede IoT LoRaWAN

Alguns indicadores são utilizados para medirmos performance da conectividade dos objetos conectados à rede, dentre os quais serão explicados a seguir:

RSSI (*Received Signal Strength Indicator*): É a medida da potência presente em um sinal de rádio recebido que foi emitido por uma antena (SAUTER, 2011). Seu objetivo é fornecer uma indicação da intensidade do sinal recebido. O significado da medida, expresso em uma escala logarítmica (frequentemente em dBm) é o seguinte: um valor de 0 dBm corresponde a uma potência recebida de 1 mW e -30 dBm corresponde a 1 microwatt. Com esse dado, se sabe o quão bem um dispositivo consegue "ouvir" um sinal emitido pelos emissores da rede.

Conforme disponível no site da Objenious², o valor mínimo de operação que os objetos devem entregar para termos um bom funcionamento é de -136 dBm.

SNR (Signal-to-Noise): A relação sinal/ruído (SNR ou S/N) é uma medida utilizada em ciência e engenharia que compara o nível de um sinal pretendido com o nível de ruído de fundo. Assumindo o modelo de ruído gaussiano para canais sem fio e sinais complexos, SNR pode ser definido como (SHAFIK; RAHMAN; ISLAM, 2006):

$$SNR = \frac{Signal_Power}{Noise_Power}$$

Os sinais são frequentemente expressos usando a escala logarítmica de decibéis. Com base na definição de decibel, o SNR pode ser expresso em decibéis (dB) como:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_{signal}}{P_{noise}}$$

A faixa de operação recomendada pela Objenious é mostrada na Tabela 1.

² Na página 25 será explicado o papel da Objenious no projeto

Tabela 1 – Faixa de conectividade dos objetos de acordo com o SNR [dB]

SNR [dB]	Conectividade
SNR > -5 dB	Estável
-5 > SNR > -15 dB	Instável
SNR < -15 dB	Sem Conexão

Média de Antenas Comunicantes: É uma média da quantidade de antenas que recebe a informação que um objeto envia para a rede. Por exemplo, se a média de antenas comunicantes de um objeto é 10, significa que, em média, 10 antenas recebem o sinal emitido por esse objeto. Segundo a Objenious, um número médio aceitável está em torno de 5 antenas.

Taxa de Sucesso de Uplinks: Um Uplink é criado para enviar dados em direção ao núcleo da rede (objeto → *gateways* e servidor), é uma mensagem enviada do objeto para o *gateway* (TECHNOPEDIA, 2014). A taxa de sucesso de Uplink pode ser definida então como a taxa de mensagens que foram transmitidas com sucesso do objeto até o *gateway*.

2.4 Objetos e sensores utilizados em IoT

Existem incontáveis tipos de objetos conectados e sensores que podem ser utilizados em aplicações IoT. Para este trabalho, será usado como base os objetos conectados DINDIO8 e DINDIO16 fabricados pela empresa ATIM.

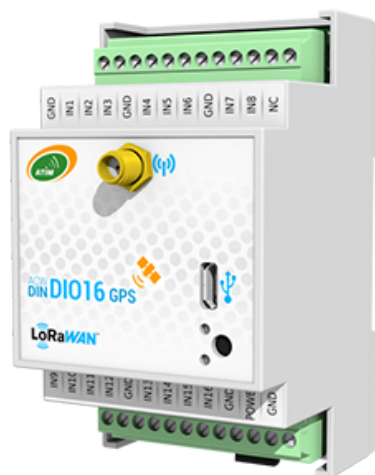
A ATIM³ é uma empresa francesa criada em 1996, baseada em *Villard-des-Lans*, expert em radio comunicação, pioneira do M2M (Machine-to-Machine) e do IoT. A companhia é projetista, designer e fabricante de captadores (objetos conectados) de comunicação sem fio, tendo como sua principal missão fornecer soluções industriais e plug & play para seus clientes (ATIM, 2022b).

Um dos objetos fabricados pela ATIM é o DINDIO, disponível nas versões 16 e 8, a diferença está na quantidade de entradas do objeto, o 16 conta com 16 entradas e o 8 com 8 entradas. O dispositivo pode ser visto na Figura 6, em uma foto de perfil.

O DINDIO foi projetado para monitorar o status das entradas digitais em uma rede IoT (LPWAN: Low Power Wide Area Network), como Sigfox ou LoRaWAN. Suas entradas são configuráveis e podem ser habilitadas/desabilitadas como entradas simples (apenas indicam se o estado é 0

³ Mais informações sobre a empresa: <<https://www.atim.com/>>

Figura 6 – Foto de perfil do objeto conectado DINDIO16



Fonte: (ATIM, 2022b)

ou 1) ou como entradas de contador. Por fim, o objeto também conta com localização GPS e sensor de temperatura (ATIM, 2022a). A quantidade de mensagens enviadas é configurável de acordo com as necessidades, nesse projeto, se o objeto está alimentado (de 10V a 30V) ele envia uma mensagem por hora ou a cada mudança de estado nas suas entradas de *Indicador de Estado*, caso o objeto não esteja alimentado (funcionando apenas com sua bateria interna) uma mensagem por dia é enviada.

2.4.1 Especificação das entradas do objeto

A Tabela 2 descreve os diferentes tipos de entradas disponíveis no objeto conectado (ATIM, 2022a), além das conexões disponíveis na tabela, há a conexão de uma antena rosqueável na parte frontal do objeto. Para que haja um melhor entendimento onde se localizam bornes de entrada do objeto, observe a Figura 6.

Note que a Tabela 2 se refere ao DINDIO16, para o DINDIO8, a mesma configuração é válida, porém as entradas IN9 até IN16 não tem funcionalidade alguma, logo há 4 indicadores de estado e 4 contadores.

Tabela 2 – Especificação das entradas do objeto DINDIO16 (ATIM, 2022a)

Nome	Designação
GND	Massa(-) para IN1, IN2 e IN3
IN1	Indicador de estado 1 (0 ou 1)
IN2	Indicador de estado 2 (0 ou 1)
IN3	Indicador de estado 3 (0 ou 1)
GND	Massa(-) para IN4, IN5 e IN6
IN4	Indicador de estado 4 (0 ou 1)
IN5	Contador 1
IN6	Contador 2
GND	Massa(-) para IN7 e IN8
IN7	Contador 3
IN8	Contador 4
NC	Não utilizado - Não conectar
IN9	Indicador de estado 5 (0 ou 1)
IN10	Indicador de estado 6 (0 ou 1)
IN11	Indicador de estado 7 (0 ou 1)
IN12	Indicador de estado 8 (0 ou 1)
GND	Massa(-) para IN9, IN10, IN11 e IN12
IN13	Contador 5
IN14	Contador 6
IN15	Contador 7
IN16	Contador 8
GND	Massa(-) para IN13, IN14, IN15 e IN16
POWER	Alimentação entre 10V e 30V
GND	Massa (-)

2.4.2 Estrutura das mensagens enviadas para a rede

Os pacotes de mensagens enviados são compostos por octetos representados em bases hexadecimais (ATIM, 2022a), a estrutura do pacote de mensagens pode variar de acordo com a configuração do objeto conectado⁴, tendo seu 'Header' como referência. Um pacote de mensagem que envia os estados das entradas digitais, a temperatura do objeto conectado e seus contadores é mostrada na Figura 7.

Figura 7 – Estrutura de uma mensagem contendo estados das entradas, temperatura e contadores

Octeto 0 (hex)	Octeto 1 (hex)	Octeto 2 (hex)	Octeto 3 (hex)	Octeto 4 (hex)	Octeto 5 (hex)	Octeto 6 (hex)	Octeto 7 (hex)	Octeto 8 (hex)	Octeto 9 (hex)	Octeto 10 (hex)
Header	Estados das entradas digitais		Temperatura (1/10 de °C)	Contador 1			Contador n...			

Fonte: (ATIM, 2022a)

Para o caso do DINDIO16 (mostrado na Figura 7), há um octeto para

⁴ Para mais informações consultar o catálogo do objeto (ATIM, 2022a)

cada oito entradas digitais, dois octetos para representar a temperatura, e cada contador conta com 4 octetos. Para transformar as informações em uma visualização mais usual, os valores das entradas digitais devem ser passados para a base binária, havendo então 16 bits que estarão nos estados 0 ou 1, representando o estado de cada entrada do objeto conectado (*on* ou *off*). A temperatura é passada para a base decimal e depois dividida por 10. E os contadores são passados para a base decimal e depois fatorizados dependendo do fator que foi usado para a medição do consumo, pode haver um fator, por exemplo, que indique que 1 (decimal) corresponda a 1Wh.

2.4.2.1 Exemplo de tradução de uma mensagem

Um exemplo de um pacote de informações é demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de uma mensagem enviada

Octeto 0 (hex)	Octeto 1 (hex)	Octeto 2 (hex)	Octeto 3 (hex)	Octeto 4 (hex)	Octeto 5 (hex)	Octeto 6 (hex)	Octeto 7 (hex)	Octeto 8 (hex)
Header	Estados das entradas digitais		Temperatura (1/10 de °C)		Contador 1			
0x4E	0xF4	0xD9	0x01	0x2C	0x00	0x00	0x63	0xCE

Fonte: De autoria própria

As informações enviadas nesse pacote de dados são traduzidas como:

Estado das entradas: F4D9 (hex) → 1111010011011001 (bn) → Entradas 1, 4, 5, 7, 8, 11, 13, 14, 15 e 16 estão no estado '1', e entradas 2, 3, 6, 9, 10 e 12 estão no estado '0'. Note que a numeração das entradas é da direita para a esquerda.

Temperatura: 022C (hex) → 300 (dec) → $\frac{300}{10}$ °C = 30°C.

Contador: 63CE (hex) → 25550 (dec) → 25,550 kWh (fator 1:1).

2.5 Responsabilidade climática: Acordo de Paris e contribuição da Internet das Coisas

O Acordo de Paris é um tratado juridicamente oficial que visa estabelecer mudanças climáticas em todo o mundo. Ele foi adotado na COP21 em Paris por 196 partes, em 12 de dezembro de 2015. O acordo propõe combater a ameaça do aquecimento global, tendo como seus principais objetivos:

(a) Manter o aumento de temperatura médio global a menos de 2 graus acima dos níveis pré-industriais e desenvolvendo esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 graus acima dos níveis pré-industriais,

reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e impactos da mudança climática (NATIONS, 2015);

(b) Aumentar a capacidade de adaptação aos impactos adversos da mudança climática e fomentar a resiliência climática e o desenvolvimento de baixas emissões de gases de efeito estufa, de uma forma que não ameace a produção de alimentos (NATIONS, 2015); e

(c) Tornar os fluxos financeiros consistentes com um caminho para missões de baixa emissão de gases de efeito estufa e desenvolvimento resiliente ao clima (NATIONS, 2015).

O Acordo de Paris trabalha em ciclos de cinco anos de ações climáticas cada vez mais ambiciosas realizadas pelos países. A cada cinco anos, cada país deve apresentar um plano nacional de ação climática atualizado - conhecido como Contribuição Determinada Nacional. É um marco no processo de mudança climática porque, pela primeira vez, um acordo vinculante traz todas as nações a uma causa comum para empreender esforços ambiciosos para combater a mudança climática e se adaptar a seus efeitos.

A Internet das coisas tem um grande potencial em auxiliar os países a cumprirem suas promessas climáticas, influenciando diretamente no dia a dia de empresas e pessoas. A energia elétrica consumida globalmente tem um alto impacto no aquecimento global, e uma das aplicações chave para sistemas IoT nesse cenário é o de mapear o consumo de energia elétrica em grandes canteiros de obras. Ao saber exatamente onde estão os gastos energéticos em construções, além de se evitar perdas de modo geral por "esquecimento" e falta de atenção, as empresas saberão exatamente quais deverão ser os pontos focais das estratégias a serem tomadas, facilitando a criação de estratégias de diminuição de consumo energético e permitindo que seus impactos sejam medidos com facilidade.

2.5.1 Estudo de caso: Comprometimento do Grupo Bouygues com o Acordo de Paris e o projeto AEC

Na Europa, as construções (prédios, casas, shoppings, centros comerciais, etc.) e a indústria da construção civil consomem pelo menos 40% da energia total consumida pelo continente (CASALS, 2006). Durante o ciclo de vida de um edifício, a energia gasta para efetuar a construção pode chegar a 60% da energia total consumida (COLA; KERNAN, 1996).

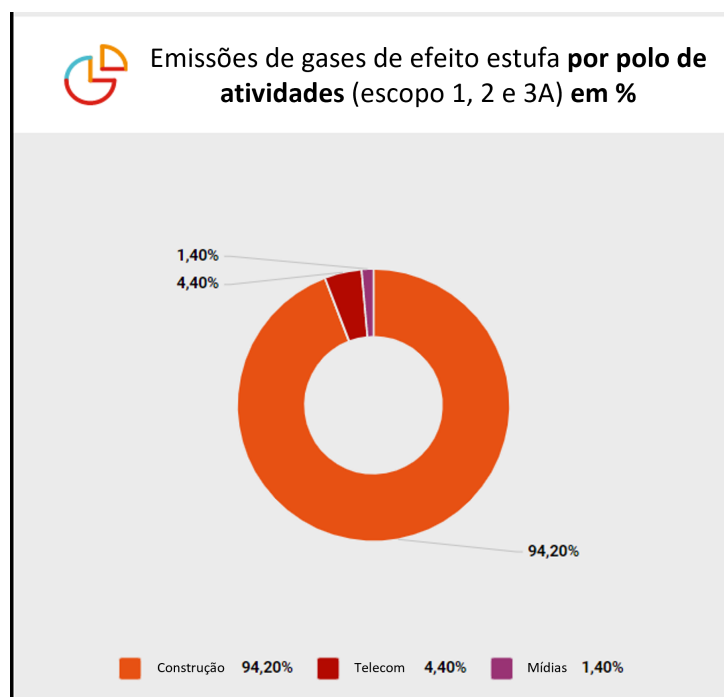
Um dos maiores grupos de construção da Europa, o grupo Bouygues⁵

⁵ Maiores informações sobre o grupo serão dadas a seguir

tem uma política de criar e compartilhar valores ao longo do tempo com todas as pessoas envolvidas nos seus negócios, buscando sempre colaborar com o progresso humano na vida cotidiana, ao benefício do maior número de pessoas. Desde 2020 os objetivos do Grupo está em fase com o Acordo de Paris, o que implica em uma redução na sua pegada de carbono e na de seus clientes.

Como indicado na Figura 9, a emissão de gases de efeito estufa do Grupo está concentrada no setor de construção. O grupo tem a meta de reduzir em 30 % suas emissões até 2030, e para isso, pelo menos 2,2 bilhões de euros do orçamento de 2020 até 2024 será destinado a essa causa (BOUYGUES, 2022).

Figura 9 – Emissão de gases do efeito estufa por polo de atividade do Grupo Bouygues



Fonte: (BOUYGUES, 2022)(tradução nossa)

Muitos desses investimentos estão sendo feitos na área digital, e o projeto dos armários elétricos conectados (projeto AEC) estudado nesse trabalho é um deles. O projeto tem como foco principal mapear o consumo de energia elétrica em canteiros de obras de grande porte. Com isso, dados são gerados e serão analisados, de forma que auxilie na tomada de decisões estratégicas da empresa, visando a eficiência energética e demonstrando onde a empresa deverá focar seus esforços para reduzir seus gastos energéticos.

2.6 Grupo Bouygues e Bouygues Construction

Pertencente ao Grupo Bouygues, a Bouygues Construction é uma das maiores empresas de construção civil da França e da Europa, sua sede responsável pela parte de materiais e equipamentos utilizados nos trabalhos fica situada na cidade Chilly Mazarin, na França. O grupo Bouygues foi fundado em 1952 e em 2021 gerou uma receita de 37,5 bilhões de euros (BOUYGUES, 2022).

A empresa Bouygues Construction conta com mais de 52 mil colaboradores pelo mundo e está presente em pelo menos 60 países, tendo sua maior participação em território francês e grande presença nos demais países da Europa. A empresa projeta, constrói e opera projetos nos setores de construção, engenharia civil, energia, serviços e concessões. É líder em construção sustentável e está comprometida a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 30% até 2030, sempre prezando pelo bem estar e seguranças de seus colaboradores e clientes (CONSTRUCTION, 2022).

Para alcançar seus objetivos energéticos e sociais, o grupo como um todo investe muito em novas tecnologias, se empenha em trazer inovações e busca ser pioneiro em novas soluções e aplicações digitais. Um bom exemplo desse empenho é o projeto residencial ABC⁶ (Autonomos Building for Citizens), que visa autonomia em água e energia, otimização da gestão de dejetos e sua redução, juntamente com o conforto para o dia a dia dos residentes do complexo (CONSTRUCTION, 2020).

Dentro desse contexto, nasce o projeto de armários elétricos conectados da equipe de soluções digitais//IoT dentro da Bouygues Construction Matériel, que é a equipe responsável por elaborar e implementar novas soluções aos problemas existentes e criar melhorias na cadeia de materiais e equipamentos utilizados no canteiro de obras pelas equipes de construção.

⁶ <https://www.bouygues-construction.com/sites/default/files/dp_abc_vf.pdf>

3 METODOLOGIA, DESAFIOS E FUNÇÕES DESENVOLVIDAS

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada nesse trabalho. Nele serão apresentados detalhes sobre a obtenção de dados e informações utilizadas ao longo do texto, bem como detalhes sobre as etapas do trabalho e qual foi o modelo elaborado para atingir os objetivos do projeto.

3.1 Conjunto de dados e informações utilizadas

Em projetos de um modo geral, principalmente nos que envolvem a indústria, é de extrema importância podermos monitorar a sua performance, seja tanto em itens técnicos e práticos quanto na adesão de equipes operacionais e satisfação do cliente com o produto final. Com o número de aparelhos conectados crescendo cada vez mais, criam-se diversas maneiras de obter-se esses dados, surgindo até mesmo produtos específicos de empresas especializadas para monitorar a performance de soluções IoT, fornecendo indicadores de qualidade (*Key Performance Indicators* - KPIs) desde o objeto conectado até a base de dados.

Para esta monografia, todos os dados e informações presentes foram obtidos durante a realização de um projeto realizado na empresa *Bouygues Construction*. As principais fontes de dados foram: As informações sobre os objetos conectados presentes na base de dados da Objenious¹, informações disponíveis na aplicação desenvolvida pela Bouygues em conjunto com a empresa desenvolvedora da plataforma (mais informações sobre a aplicação serão apresentadas no próximo capítulo), e o dia a dia das atividades exercidas durante o decorrer do projeto, como entrevistas e reuniões com as diversas áreas envolvidas, da demanda de um armário elétrico até o uso final da plataforma AEC.

Objenious é a empresa que proporciona a tecnologia LoRaWAN para o projeto armários elétricos conectados, sendo responsável pelos *gateways* espalhados pela França e pelo servidor de rede². Em sua base de dados estavam disponíveis todas as informações enviadas por cada um dos objetos conectados, bem como alguns indicadores de qualidade. As informações mais importantes extraídas via API eram: Taxa de sucesso de Uplinks, Média

¹ <<https://spot.objenious.com/login>>

² Ver Figura 5 para uma melhor visualização das *layers*

de RSSI, Média de SNR e Número médio de Antenas comunicantes. Todas essas informações eram dadas por objeto, e além de poderem ser extraídas via API, era possível realizar consultas diretamente via *website*.

Por sua vez, a aplicação desenvolvida em conjunto com a empresa desenvolvedora da plataforma, fornecia informações ligadas aos canteiros de obras e seus armários conectados, tais como: Em qual canteiro de obras o armário elétrico está alocado, Consumo de Energia, Quantidade de canteiros de obras que tinham armários conectados, quantidade de armários conectados por canteiro de obra, entre outros. Vale mencionar que todas as informações demonstradas na aplicação eram primeiramente coletadas por uma API da Objenious, após tratadas pela aplicação, e por fim exibidas. A escolha por usar os dados já tratados foi pela praticidade na obtenção de dados relevantes.

Por fim, a última forma de coletar informações, foi o dia a dia operacional do projeto. Foram feitas inúmeras visitas técnicas, apresentações sobre a plataforma, apresentações do produto para os clientes, apresentação de resultados internamente, aulas de cadastramento e de cabeamento dos objetos conectados e auxílio na resolução de problemas técnicos e operacionais.

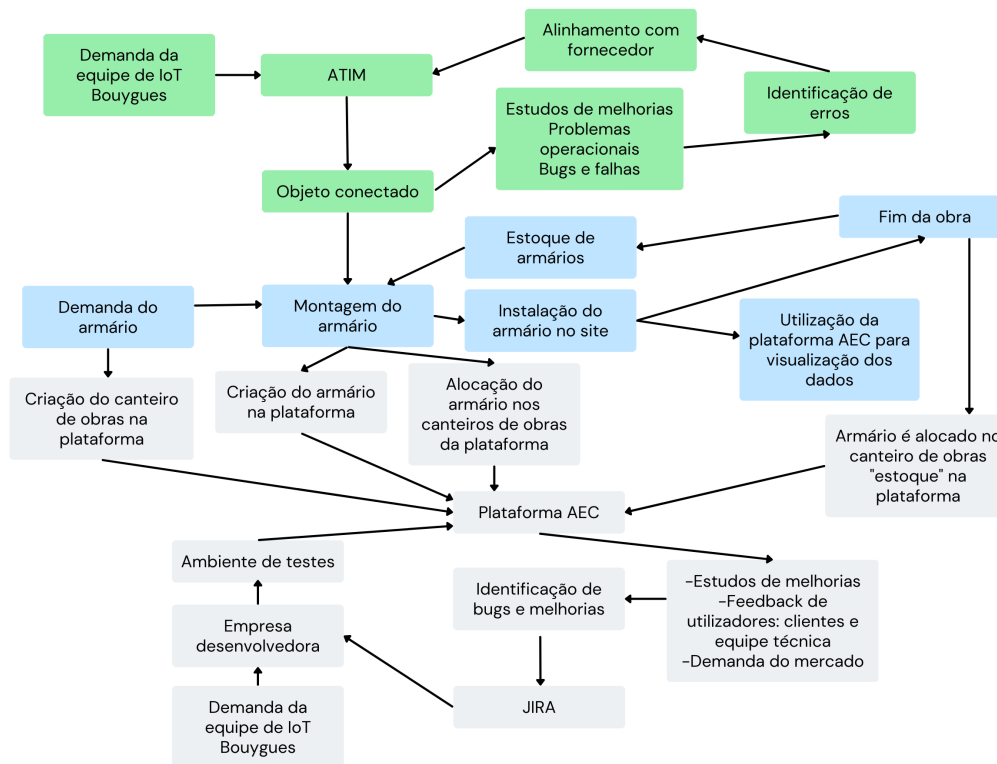
3.2 Modelo estrutural do projeto

A fim de atender a demanda de ter todo o consumo de energia elétrica mapeado nos canteiros de obras, além de alertas quando o armário elétrico sair de uma determinada área delimitada e alertas de temperatura e desarme de disjuntores, o projeto foi estruturado como mostra a Figura 10, podendo ser dividido em três frentes operacionais e uma estrutura de comunicação. Uma das frentes operacionais é o ciclo do armário elétrico, outra frente é a do objeto conectado e, por fim a frente da plataforma AEC. Tanto os fluxos operacionais quanto a estrutura de comunicação serão apresentados a seguir.

Importante ressaltar que a expressão "armário elétrico conectado" é utilizada quando há um objeto conectado (DINDO8 ou DINDO16 para esse estudo de caso) instalado dentro de um armário elétrico.

A estrutura do projeto foi executada primeiramente em canteiros de obras testes, ainda quando o aluno não fazia parte do projeto. Após alguns meses de validações e o ingresso do aluno a equipe de IoT Solutions, todo armário montado na companhia era necessariamente conectado, ou seja, todo novo canteiro de obras será conectado o projeto tomou grande escala

Figura 10 – Fluxograma geral do projeto, em azul representando o ciclo do armário, em branco da plataforma AEC e verde do objeto conectado.



Fonte: De autoria própria

na França.

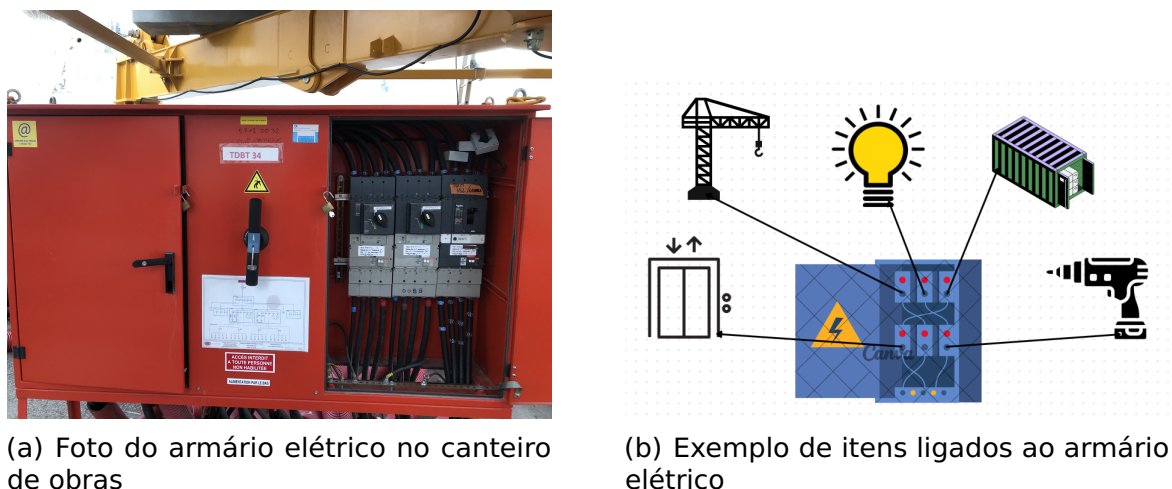
3.2.1 O armário elétrico conectado

Um dos atores principais do projeto é o armário elétrico conectado, ele é mostrado na 11 e é o ponto que liga o canteiro de obras com o universo IoT. Consiste num armário com disjuntores padrão utilizado em obras de grande porte. No armário são ligadas guias, guindastes, elevadores, liftings, escritórios, totens de tomadas diversas, máquinas de concreto, iluminação, entre outros. Seu esquema de ligação é mostrado na Figura 12.

Como ilustrado na Figura 12, o DINDIO16 recebe, além da alimentação, cabos provenientes dos contatos secos dos disjuntores e também cabos oriundos do medidor de energia elétrica. No medidor, além do circuito de alimentação, são ligados cabos que vem dos TCs (transformadores de correntes), que estão ligados um em cada fase do ponto que está sendo medido.

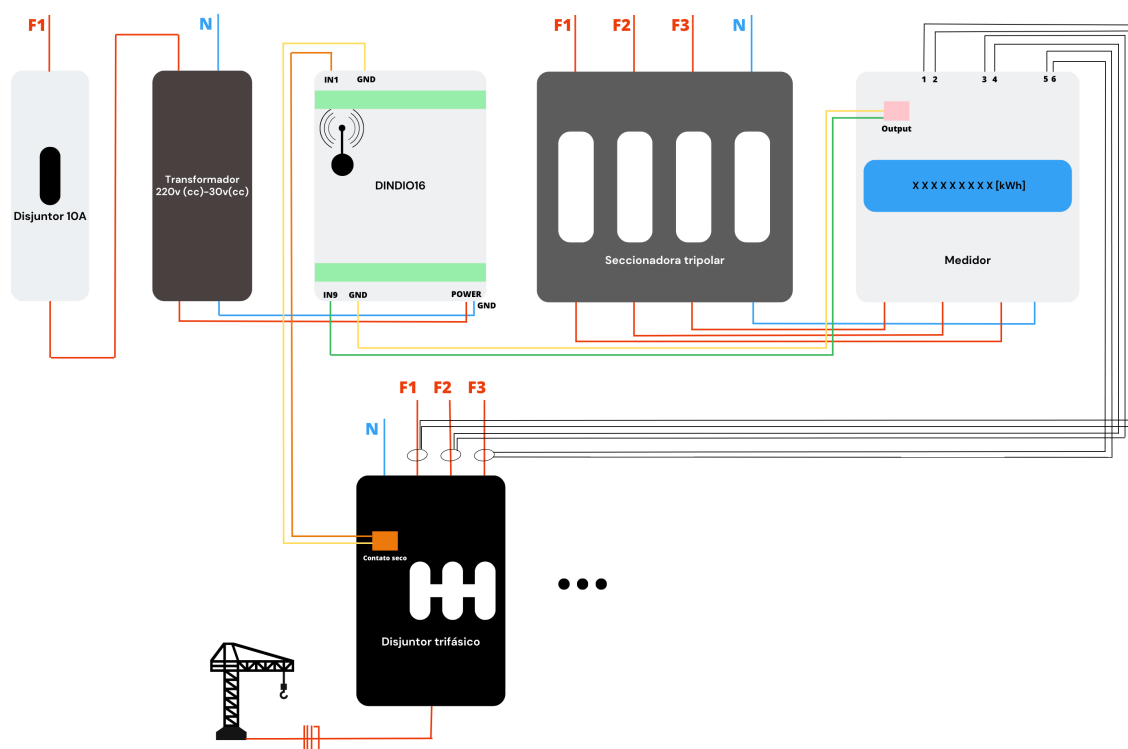
A Figura 13 mostra uma foto mais detalhada do objeto conectado insta-

Figura 11 – Armário elétrico conectado



Fonte: De autoria própria

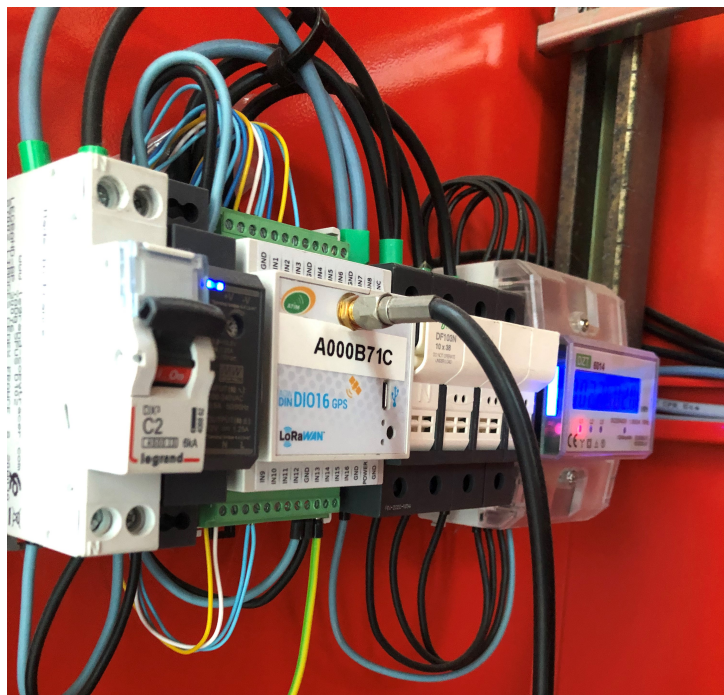
Figura 12 – Esquema de ligação do objeto conectado



Fonte: De autoria própria

lado dentro do armário elétrico, é importante salientar que sua alimentação é separada do circuito de força. Os dois primeiros itens são a proteção do objeto conectado e um transformador $220V_{CA} - 30V_{CC}$, após aparece o objeto DINDIO16, na sequência um porta fusível que protege o medidor e por fim o próprio medidor.

Figura 13 – Objeto conectado e contador, com suas respectivas alimentações e proteções



Fonte: De autoria própria

3.2.1.1 Fluxo do armário elétrico conectado

Uma maneira de descrever o fluxo do armário elétrico conectado é com as seguintes etapas:

Demanda do armário elétrico conectado: A demanda de um armário elétrico conectado é criada após o time de vendas entender os problemas e necessidades do cliente e alinhar a melhor forma de atender as suas expectativas. Para isso, um formulário de demanda de armário elétrico é preenchido e enviado para o time de montagem, juntamente com a criação do canteiro de obras virtual referente àquela obra na plataforma AEC³. Essa é uma etapa muito importante do processo, pois nela será definido em quais pontos serão feitas as medições de consumo de energia, logo, o circuito unifilar do canteiro de obras deve estar bem detalhado com as corretas indicações de onde a equipe da oficina de montagem deve colocar os medidores de energia.

Cabeamento do armário elétrico conectado: Uma vez recebido o diagrama unifilar do canteiro de obras com a demanda de armários elétricos, e em quais pontos devem ser ligados os medidores de energia, o time da oficina de montagem prepara o armário elétrico conectado. Essa etapa exige

³ A plataforma AEC é o produto final que o cliente tem acesso, e que será explicada com detalhes no capítulo de "Produto final e Resultados".

extrema atenção pois é o responsável da oficina que adiciona na plataforma AEC cada armário elétrico conectado em seu respectivo canteiro de obras, indicando o que estará sendo ligado e medido em cada disjuntor. É importante salientar que todo armário elétrico que sai da oficina é equipado com um objeto conectado.

Instalação do armário elétrico conectado no canteiro de obras: Essa é uma etapa simples mas exige uma certa atenção. Os armários já estão todos cabeados e com indicação em cada disjuntor de o que deve ser ligado em cada um, e em quais disjuntores devem ser instalados os TCs para a medição do consumo de energia, basta ao técnico responsável ligar os pontos.

Utilização da plataforma AEC: Nessa etapa o cliente vai ter acesso a todas as informações emitidas pelos captadores que estão instalados no seu canteiro de obras, informações sobre consumo de energia, identificação e quantidade de disjunções por aparelho, temperatura de cada armário e localização GPS.

Retorno do armário elétrico para o estoque da oficina de montagem: Quando chega ao fim das obras, o armário elétrico conectado é retornado para o estoque da oficina de montagem. Uma vez que ele chega no parque de estocagem, o responsável da oficina deve efetuar, dentro da plataforma AEC, a mudança de localização do armário elétrico, mudando do canteiro de obras para o parque de estocagem da Bouygues Construction.

3.2.2 Fluxo do objeto conectado

O fluxo do objeto conectado consiste nas seguintes etapas:

Demanda dos objetos pela Bouygues: De acordo com a quantidade de armários elétricos que a empresa já possui, e dependendo da demanda futura em canteiros de obras, a empresa procura deixar um estoque de objetos conectados compatível para poder atender toda sua demanda e transformar todos seus armários elétricos em armários elétricos conectados.

Fornecimento do objeto pela ATIM: A ATIM é a principal fornecedora de objetos conectados, tendo um porte adequado para suprir as necessidades da Bouygues.

Instalação do objeto conectado no armário elétrico: Todo armário elétrico que é demandado para a oficina de montagem é equipado com um objeto conectado que permite enviar suas informações na rede. As entradas do objeto conectado estão especificadas na Tabela 2 e seu esquema de ligação pode ser visto na Figura 12.

Envio das informações coletadas para uma base de dados: As informações coletadas e informadas pelo o objeto conectado são enviadas por meio da tecnologia LoRaWAN através dos *gateways*, e são armazenadas em base de dados. Ambos são geridos e disponibilizados pela mesma empresa, responsável pelos serviços de servidor de rede e *gateway*.

A todo momento a equipe Bouygues de soluções IoT está em contato com a equipe técnica da ATIM, e no caso de problemas encontrados ou melhorias propostas, é preciso por vezes intervir fisicamente no objeto conectado. Questões de mudanças de parâmetros podem ser feitas via downlink.

3.2.3 Fluxo da plataforma AEC

O fluxo da plataforma AEC é resumido em:

Criação de um canteiro de obras na plataforma: Após compreender as necessidades do cliente e desenvolver um diagrama elétrico para todo o canteiro de obras, o responsável por fazer a demanda do armário elétrico conectado, deve criar na plataforma AEC o canteiro de obras virtual que representará essa obra, bem como cadastrar o cliente e dar acesso a plataforma AEC e a esse canteiro de obras virtual, de forma que o cliente tenha acesso aos dados referentes à sua obra.

Criação do armário elétrico conectado dentro da plataforma: Quando a oficina de montagem recebe a demanda de um armário elétrico, ele deve ser criado/reformulado também dentro da plataforma AEC, indicando qual é o objeto conectado instalado e quais serão seus respectivos disjuntores, onde serão ligados os equipamentos no canteiro de obras e indicado onde será/serão instalados os medidores do consumo de energia elétrica.

Alocação dos armários elétricos conectados ao seu respectivo canteiro de obras na plataforma: Uma vez que o armário elétrico é cabeado pela oficina de montagem e está pronto para partir para o canteiro de obras, ele deve ser alocado ao seu respectivo canteiro de obras na plataforma (ao qual vai ser enviado fisicamente). A partir daí, toda vez que o canteiro de obras é acessado na plataforma AEC, o armário elétrico alocado estará disponível para consulta, e seu consumo de energia elétrica fará parte do consumo de energia elétrica total desse canteiro de obras.

Alocação dos armários elétricos conectados no estoque da oficina de montagem: Ao fim da obra, o armário elétrico conectado retorna para o estoque da oficina, logo ele deve ser realocado também na plataforma AEC,

para um local chamado "Parc Chilly-Mazarin", que representa o estoque da oficina de montagem dentro da plataforma.

Identificação de bugs e melhorias: Como todo produto, a plataforma está sujeita a atualizações, são realizados estudos de melhorias pela equipe de *IoT*, bem como são recebidos *feedbacks* de todos os utilizadores da plataforma, como os técnicos que montam o armário elétrico conectado e os inserem na plataforma, os responsáveis internos pelos canteiros de obras e os clientes finais. Erros, bugs e melhorias devem ser geridos pelo software JIRA⁴, que é uma ferramenta de desenvolvimento onde se acompanha toda a trajetória e evolução da plataforma AEC. O software funciona com a criação e atualização de cartas que descrevem as atividades a serem realizadas, bem como seu estado de desenvolvimento e atualizações. O Product Owner é o time de soluções de *IoT* da Bouygues.

Ambiente de testes: Antes de ser inserida na versão corrente, toda e qualquer alteração na plataforma passa por um ambiente de testes que são realizados pelos próprios membros do time de soluções *IoT* da Bouygues.

3.2.4 Fluxo dos dados: do objeto até a aplicação AEC

O fluxo dos dados é apresentado na Figura 14. Onde as etapas são:

Coleta de dados e Objeto conectado: Duas informações são coletadas diretamente dentro do objeto conectado, a sua localização via GPS e sua temperatura. Os outros dois dados, consumo de energia e estado dos disjuntores, são coletados com sensores externos e ligados ao DINDIO16, como indicado na Tabela 2. Os estados dos disjuntores são coletados via contato seco dos disjuntores, e o consumo é incrementado de acordo com o medidor de energia, que por sua vez recebe informações de TCs instalados nos cabos de energia que alimentam os disjuntores.

Comunicação LoRaWAN e Base de dados: Uma vez que se tem todos os inputs conectados ao objeto, chega a hora de enviar essas informações para a rede. Quando o objeto está alimentado entre $10V_{CC}$ e $30V_{CC}$, ele envia uma mensagem⁵ por hora ou imediatamente após uma disjunção, caso o objeto não esteja alimentado (quando está no estoque por exemplo) o envio de mensagem é feito uma vez ao dia.

A tecnologia de comunicação utilizada é a LoRaWAN, e os *gateways* utilizados são de uma empresa terceira especializada, bem como a base de

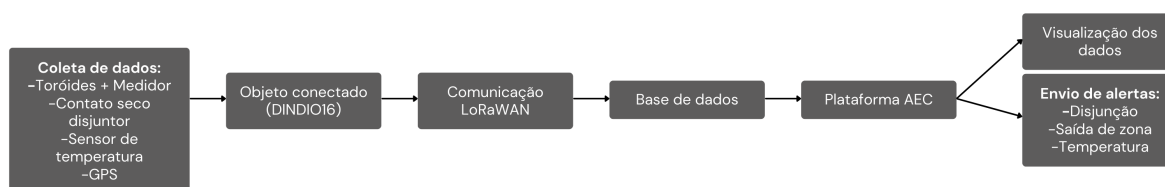
⁴ Mais informações sobre o software em: <<https://www.atlassian.com/br/software/jira>>

⁵ Cada mensagem contém informações completas dos estados e sensores do objeto conectado, para mais detalhes ver item 2.6.2

dados. É importante mencionar que a empresa ATIM⁶ é parceira da empresa que fornece os serviços de *gateway* e base de dados, e todos os objetos conectados utilizados já vêm de fábrica alinhados com a respectiva rede LoRaWAN, tendo sua própria identificação no sistema de comunicação e base de dados.

Plataforma AEC e Alertas: A plataforma AEC busca as informações de cada objeto conectado diretamente na base de dados da fornecedora e as informações são exibidas visualmente na plataforma. Em certas situações uma mensagem de alerta será enviada via SMS para telefones que estão cadastrados como responsáveis pelo respectivo canteiro de obras.

Figura 14 – Modelo fluxo dos dados



Fonte: De autoria própria

3.3 Desafios encontrados e Funções desenvolvidas

Durante o desenvolvimento e aplicação das estruturas do projeto AEC apresentadas nos itens anteriores, vários desafios foram sendo encontrados e ações foram tomadas para solucionar/mitigar esses problemas encontrados. Esse capítulo visa expor os desafios encontrados e quais foram as ações implementadas para que o projeto conseguisse seguir a estrutura que foi previamente estabelecida.

Equipe de montagem do armário não recebia a demanda completa: Na plataforma AEC começaram a aparecer medidas de energia sem uma nomenclatura específica, o que gerava medições nos canteiros de obras onde não se sabia de qual item exatamente se tratava. Após o contato feito com a equipe de montagem do armário elétrico, foi constatado que a equipe que fazia a demanda do armário elétrico para a equipe de montagem não estava fornecendo o diagrama unifilar completo do canteiro de obras, não indicando onde exatamente o medidor de energia deveria ser alocado, por sua vez, a equipe de montagem deixava aquele medidor na plataforma com alguma nomenclatura padrão ("Disjuntor 1") e não com alguma específica ("Grua 3").

⁶ Empresa responsável pelo fornecimento dos objetos conectados

Para mitigar esse problema na passagem de informações, foram feitos treinamentos individuais com cada integrante do time que demandava os armários. O objetivo de cada encontro era explicar todo o projeto AEC e reforçar quais eram as suas obrigações no fluxo do processo (explicar para o cliente sobre a plataforma AEC, suas vantagens e alinhar com ele sobre quais itens o consumo devem ser medido, criar o canteiro de obras na plataforma AEC, e enviar o diagrama unifilar completo para a equipe de montagem, indicando quais itens/armários serão medidos) e deixando claro o impacto que eles tem no projeto, que além de fazer a primeira interface do cliente com o produto, indicando quais os itens chaves que devem ser medidos nos canteiros de obras.

Limitação da plataforma AEC: Quando um canteiro de obras finaliza suas construções, os armários elétricos conectados começam a retornar para o estoque da oficina, o que gera um grande fluxo de devolução (dependendo do porte do canteiro de obras, o número de armários pode passar de 50). Cada vez que um armário elétrico conectado retorna para o estoque, o responsável da oficina deve mudar a alocação do armário elétrico dentro da plataforma AEC, do canteiro de obras virtual, para o estoque virtual, e essa alocação não podia ser feita em vários armários simultaneamente. A alocação no estoque virtual dentro da plataforma AEC deveria ser feita armário por armário, o que demandava muito tempo da pessoa encarregada.

A criação dessa funcionalidade foi gerenciada utilizando a plataforma JIRA. Como *product owner* a equipe IoT foi responsável por criar essa tarefa na plataforma, explicando as limitações atuais para essa atividade, deixando claro qual era a demanda do usuário, colocando as especificações da nova funcionalidade, como ela deveria funcionar e por fim uma ideia de design. Após a implementação dessa funcionalidade pela equipe desenvolvedora em um ambiente secundário, testes de validação foram feitos a fim de cobrir todas as possibilidades de utilização da nova ferramenta antes de implantá-la na versão principal da plataforma AEC.

Falha no objeto conectado: Alguns objetos conectados que nunca tinham sido usados, ao serem instalados nos armários elétricos, não se conectavam à rede. O problema normalmente era a falta de bateria, porém, Segundo o fabricante, os objetos conectados deveriam durar pelo menos 3 anos com a sua bateria de fábrica.

O defeito foi reportado para o fabricante e a causa foi descoberta. A bateria que alimenta o objeto conectado é de 5V ⁷, e quando essa bateria

⁷ Como vimos na parte do referencial teórico, o objeto conectado tem uma bateria de 5V

chegava a um nível próximo da 2,5V, o objeto conectado entrava em um *looping* do modo "reiniciar" o sistema, que se repetia até que a bateria se esgotasse.

Esse defeito foi bem desafiador pois era um problema no software do objeto que só podia ser corrigido com uma intervenção física. Uma força tarefa foi montada em conjunto com a fornecedora para que a correção no sistema pudesse ser feita. Eram aproximadamente 5 mil objetos conectados que precisariam dessa atualização física, entre os que estavam no estoque e também todos aqueles já instalados no canteiro de obras.

Falta de suporte técnico no canteiro de obras: Ao visualizar os dados na plataforma AEC, por vezes inconsistências foram encontradas, as mais comuns eram: consumo de energia elétrica não computado, consumo de energia elétrica muito destoante da realidade, objeto não se conectava à rede e alertas de disjunções intermitentes. Todos esses problemas na grande parte das vezes está relacionado por algum erro no cabeamento do objeto conectado, e deve ser resolvido pela equipe técnica de manutenção, que muitas vezes ainda não estava qualificada para tal.

Como a empresa tem canteiros de obras espalhados por toda a França, viagens a fim de formar esses técnicos foram programadas. A formação consistia primeiramente em apresentar todo o esquema de cabeamento dos objetos conectados e quais eram os principais pontos a serem revisados caso algum chamado de manutenção fosse aberto. Após a formação teórica, o técnico era acompanhado no canteiro de obras para solucionar problemas nos principais canteiros de obras daquela região.

Pouca comunicação entre os responsáveis regionais dos armários elétricos e o cliente final: Quando questionados se usavam de fato a plataforma AEC para seguir o consumo de energia elétrica em seus canteiros de obras, muitos clientes nem sabiam que tinham essa possibilidade ou já tinham ouvido falar na plataforma AEC mas nunca lhe apresentaram de fato.

Esta ocasião é gerada pela falta de comunicação entre os profissionais da Bouygues que são responsáveis por fornecer o armário elétrico e o cliente final. Em muitos casos os responsáveis não explicam para o cliente como acessar a plataforma AEC e quais são os seus benefícios.

Aproveitando as viagens para formação de técnicos para manutenção, reuniões foram marcadas com os responsáveis por equipamentos elétricos em cada região da França. Essas reuniões tiveram como objetivo apresentar

para emitir mensagens quando não está sendo alimentado diretamente por uma fonte CC

o projeto AEC desenvolvido, apresentar a plataforma AEC e suas formas de navegação, ensinar o passo a passo de como dar acesso aos clientes, e deixar claro quais eram os papéis esperados por eles dentro do projeto. Dentre os papéis esperados: apresentar a plataforma AEC para o cliente, indicar como os clientes deveriam acessar a plataforma, quais eram os benefícios trazidos por essa tecnologia e reforçar o auxílio na tomada de ações para diminuição do consumo de energia elétrica.

Dificuldade em encontrar os pontos focais de manutenção: Como a adesão dos clientes ainda não era massiva, não chegavam reclamações e *feedbacks* de todos os canteiros de obras para a equipe de IoT, e o time de manutenção tinha dificuldade para guiar o seu foco na manutenção dos armários em campo.

Com o intuito de maximizar o aproveitando dos técnicos responsáveis pela manutenção, foi elaborado um *dashboard*, que ordenava quais eram os canteiros de obras que precisavam de maior apoio da equipe de manutenção, a depender de quantos armários elétricos não estavam se conectando com a rede, e se esse armário elétrico era essencial para a medida do consumo total de energia do canteiro de obras.

Ao utilizar o *dashboard*, os técnicos sabiam exatamente qual armário estava com problemas, quais tipos de materiais deveriam ser levados para efetuar as manutenções, e com um mapa indicando onde os canteiros que precisam de manutenção se situam, o deslocamento dos técnicos poderia ser melhor aproveitado e atender outro canteiro de obras que fosse no caminho ou perto do canteiro alvo.

4 PRODUTO FINAL E RESULTADOS

Este capítulo será dedicado para a demonstração do produto final entregue aos clientes e também utilizado pela Bouygues para medir seu consumo total em canteiro de obras. Além do produto final, serão apresentados índices de transformação dos armários elétricos em armários elétricos conectados, quantidade de canteiro de obras conectados, indicadores gerais dos objetos conectados instalados e informações sobre a formação de pessoal tanto técnico quanto administrativo que está envolvido no projeto.

4.1 Plataforma AEC

A plataforma AEC é o "produto final" entregue ao cliente, surgindo da colaboração do time da Bouygues (fazendo o papel de *product owner*) em conjunto com uma empresa desenvolvedora de aplicativos, e pode ser considerado como o ponto de ligação de todo o projeto, transformando as informações coletadas em canteiro de obras em *dashboards* dinâmicos e relatórios informativos individualizados. Diferentes tipos de perfis podem ser cadastrados na plataforma, são eles: moderadores gerais, moderadores de áreas específicas e visualizadores. Cada perfil ganha acesso a determinados canteiros de obras virtuais, um cliente responsável por 5 canteiros de obras, por exemplo, receberá acesso às informações apenas daqueles canteiros em específico, já os superiores do departamento de IoT *Solutions* terão acesso a todos os canteiros de obras virtuais, para além de monitorá-los, terem a possibilidade de criar relatórios gerais para a companhia. Um exemplo seria relatar a comparação do consumo anual de energia elétrica que os canteiros de obras tiveram em dois anos subsequentes.

Ao acessar a plataforma, o utilizador tem disponível para consulta os canteiros de obras em que foi cadastrado, com algumas informações básicas como: quantidade de armários instalados e consumo total de cada canteiro. A Figura 15 ilustra essa página inicial.

disjuntores e alertas de saída de zona, consumo de energia elétrica (consumos de água e gás estão em fases de teste), quantidade de armários elétricos alocados, opção de abrir o mapa e um guia rápido de navegação pelo *dashboard*.

Figura 17 – *Dashboard* geral de um canteiro de obras na plataforma AEC

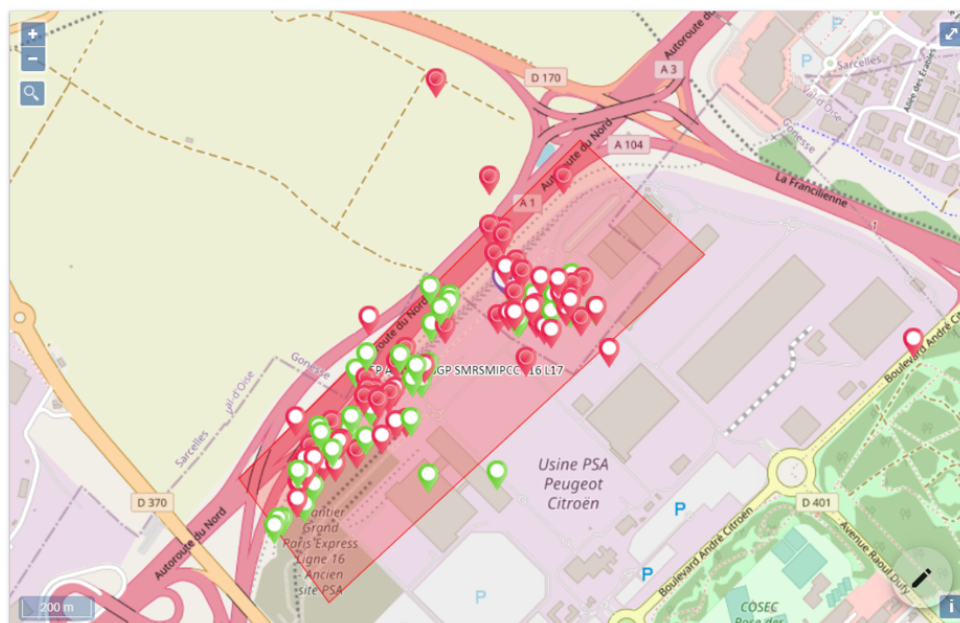


Fonte: Plataforma AEC (acesso interno restrito)

Os alertas são enviados também por SMS além de ficarem mapeados na plataforma AEC. O envio dos SMSs são práticos pois permitem que alguma ação seja tomada rapidamente, evitando problemas maiores no caso de alerta de temperatura e poupando tempo com o alerta de disjunção, mostrando exatamente qual disjuntor foi desativado.

Para a temperatura, um valor máximo é pré definido e caso o objeto conectado envie uma temperatura acima do estabelecido, um alerta é enviado via SMS. O alerta de disjunção é simples, cada vez que um disjuntor é desarmado o contato seco envia a informação de estado para o objeto conectado, que por sua vez dispara uma mensagem para a rede, indicando todos os estados de suas saídas e o valor dos seus contadores. Por fim, o alerta de saída de zona é emitido quando um armário sai da zona pré definida para o canteiro de obras, a Figura 18 apresenta a zona delimitada para um canteiro de obras, caso algum armário que esteja alocado nesse canteiro de obras saia dessa zona, um alerta via SMS é enviado.

Figura 18 – Em vermelho, limites definidos para um canteiro de obras



Fonte: Plataforma AEC (acesso interno restrito)

Ao acessar o consumo de energia elétrica do canteiro de obras, o utilizador terá acesso a todo o consumo desde que esse armário esteve alocado nesse canteiro de obras. O consumo é mostrado em gráficos de barras e é colorido com três cores distintas, o verde está relacionado ao consumo durante a jornada de trabalho diurna, o azul está relacionado ao consumo de energia no período noturno e o roxo está ligado ao consumo em finais de semana. As diferentes cores auxiliam na detecção de possíveis anomalias em aparelhos, esquecimentos de aparelhos de climatização ligados, entre outros.

Figura 19 – Consumo de energia elétrica de um canteiro de obras com filtro mensal



Fonte: Plataforma AEC (acesso interno restrito)

A Figura 19 mostra a página de consumo de energia elétrica de um canteiro de obras. O consumo pode ser visto em intervalos de anos, meses e dias. Além do consumo total do canteiro, o consumo de cada medidor é demonstrado logo abaixo, podendo também ser selecionado, mostrando assim o gráfico em barras específico do medidor selecionado.

Como uma forma de condensar as informações disponíveis na plataforma e deixá-las de um jeito mais acessível aos clientes, relatórios semanais são enviados todas as segundas feiras e relatórios mensais são gerados e enviados todo dia primeiro do mês, ambos enviados por e-mail para os utilizadores cadastrados. Nos relatórios mensais estão presentes gráficos de consumo semanal e mensal, quantidade de consumo total do canteiro de obras, consumo durante o dia, noite e finais de semana, top 3 itens que mais consomem durante o dia, noite e final de semana e top 3 itens com número de alertas enviadas e sua natureza (disjunção, saída de zona ou temperatura).

4.2 Indicadores gerais do projeto

Neste item serão apresentados indicadores gerais do projeto. Índices operacionais alcançados, quantidade de pessoas treinadas e habilitadas para exercerem suas funções, qualidade do sinal que está sendo entregue nas instalações dos objetos conectados nos armários elétricos, entre outros.

4.2.1 Indicadores operacionais

A empresa conta com milhares de armários elétricos em canteiros de construção espalhados pela França e em estoque na base técnica. Segundo o último levantamento feito no fim de 2021, a empresa possuía aproximadamente 7000 armários elétricos, e desses foram contabilizados pelo menos 4700 armários "transformados", ou seja, foram instalados objetos conectados em 4700 armários que agora são armários elétricos conectados. Portanto, até o fim do contrato, foi alcançado um índice de transformação de armários elétricos em armários elétricos conectados de pelo menos 67%. Além disso, após o fim da fase de testes do projeto, todo e qualquer armário que é montado/reformado na oficina de montagem é obrigatoriamente transformado em um dispositivo IoT.

Dos 4700 armários prontos para uso da rede IoT, a grande maioria (cerca de 4090) estava em canteiro de obras. A taxa de armários elétricos conectados em canteiros de obras que tinham seu objeto efetivamente

trocando informações (que estavam "online") com a rede passou de 70% para 85% durante o desenvolvimento dos trabalhos, segundo informações colhidas via API da empresa fornecedora da rede LoRaWAN. Além disso, a falta de conexão dos demais objetos com a rede foi mapeada (mas podem ocorrer por outros diferentes motivos). Para esse projeto em específico, os motivos observados com maior frequência para a falta de conectividade foram: 1) Perda de conexão com os *gateways* pois os armários elétricos estavam no subsolo (muitas obras envolviam estacionamentos subterrâneos e a partir do primeiro piso subterrâneo a conexão já era prejudicada); 2) Antenas dos objetos conectados danificadas: No transporte e/ou instalação dos armários nos canteiros de obras, as antenas do objeto conectado eram muitas vezes quebradas ou desencaixadas, o que impedia o envio de mensagens para os *gateways*; e 3) Problemas na alimentação do objeto conectado: Danos no sistema de proteção que alimenta o objeto (fusíveis queimados e/ou disjuntores queimados ou desarmados).

Durante a realização deste trabalho a empresa estava envolvida em aproximadamente 350 canteiros de construção espalhados pela França. Dentre esses canteiros, 77% (aproximadamente 300 canteiros) continham armários conectados à rede IoT, captando, transmitindo e exibindo informações dos canteiros de obras.

A fim de qualificar profissionais técnicos para a realizar manutenções dos armários elétricos conectados, um plano de treinamento foi montado para atender todas as regiões francesas onde a empresa tinha concentração de canteiros de obras, no total foram 7 bases visitadas e mais de 25 canteiros de obras, as bases são: Base técnica de Chilly-Mazarin, base técnica de Nantes, base técnica de Lyon, base técnica de Bordeaux, base técnica de Lille, base técnica de Aix en Provence e base técnica de Tourville-la-Rivière. Durante as visitas, foram treinados teoricamente e praticamente 10 técnicos para efetuarem instalações/manutenções de armários elétricos conectados em canteiros de obras.

Aproveitando as visitas para os treinamentos do pessoal técnico de manutenção e instalação, também ocorreram apresentações e treinamentos para os responsáveis pelos armários elétricos que faziam interface com o cliente. Ao todo foram 15 responsáveis treinados e instruídos sobre suas ações na plataforma e de como apresentar a plataforma AEC aos clientes, mostrando os benefícios disponíveis na ferramenta e seu papel fundamental no rastreamento de consumo de energia elétrica e possível auxílio em estratégias para diminuição do consumo de energia elétrica.

4.2.2 Indicadores de qualidade da rede IoT instalada

No item 2.3 foram apresentados alguns indicadores de qualidade comumente usados em redes IoT LoRaWAN para medir a qualidade da rede. Nesta seção serão apresentados quais indicadores gerais médios¹ resultaram das instalações dos armários elétricos conectados instalados nos canteiros de obras. É importante se atentar que esses indicadores são de objetos que estão conectados à rede (equivalente a 85% dos objetos instalados nos canteiros de obras), uma vez que não é possível obtermos os indicadores de um objeto que não está conectado.

Os indicadores médios dos objetos conectados instalados em armários elétricos que estão em canteiros de obras em estado ativo são apresentados na Tabela 3, o significado pode ser medido como excelente, satisfatório e insuficiente.

Tabela 3 – Indicadores gerais médios da rede IoT instalada

Nome do indicador	Valor	Significado
RSSI	-106,83 [dBm]	Excelente
SNR	-2,29 [dB]	Excelente
Antenas comunicantes	7,28 [Antenas]	Excelente
Taxa de uplinks	88,18 [%]	Satisfatório

Como mostrado na Tabela 3, os indicadores são todos satisfatórios. O valor médio de RSSI de -106,83 dBm está dentro da faixa de potência de sinal recebido necessária para garantir uma transmissão segura e efetiva da mensagem, garantindo que a mensagem chegue até o receptor. Essa faixa de um funcionamento ideal vai de -136 dBm até -80 dBm, sendo -80 dBm o valor máximo de recepção.

A relação $\frac{\text{Sinal}}{\text{Ruído}}$ média de -2,29 dB também se encontra numa faixa que garante que a comunicação seja estável, sendo assim, o ruído que chega com o sinal não afeta o conteúdo principal da mensagem. Conforme visto anteriormente, a faixa de valores de SNR necessária para que uma mensagem seja recebida e traduzida de uma forma completa sem haver perdas é acima de -5 dB.

Como visto no capítulo de contextualização teórica, o número médio de antenas comunicantes para garantirmos que o ciclo de uma mensagem seja completado com sucesso, ou seja, que a mensagem seja recebida por um *gateway* e após transmitida para a base de dados, é de cinco antenas.

¹ Esses indicadores gerais da rede são calculados a partir da média aritmética dos indicadores de cada objeto conectado

Sendo assim, o número médio encontrado de aproximadamente 7,2 antenas comunicantes para cada objeto conectado atende os requisitos estabelecidos e as chances de uma mensagem não ser recebida por um *gateway* e transmitida para a rede é baixa.

Por sua vez, a taxa de sucesso de Uplink, que mede a taxa de sucesso de mensagens que foram enviadas por um objeto conectado e foram recebidas por algum *gateway*, foi de 88%. Para esse indicador ser considerado excelente ele deveria estar acima de 90%, mas em conjunto com os demais indicadores (principalmente com a média de antenas comunicantes) a taxa de Uplinks estando em um nível satisfatório já é o suficiente para não comprometer o funcionamento da rede IoT.

5 CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS

Este projeto de diplomação descreveu a implementação de uma solução IoT (utilizando a tecnologia LoRaWAN) com o intuito de mapear o consumo elétrico em canteiros de obras civis de grande porte.

Partindo do problema geral de auxiliar empresas envolvidas em construções civis a mapearem seu consumo elétrico em canteiro de obras, a fim de buscar uma maior eficiência energética, foram discutidos nessa monografia detalhes sobre o estudo de caso do projeto "Armários Elétricos Conectados", que foi realizado durante um período de estágio na empresa Bouygues Construction Matériel. Validando que uma estrutura IoT, em conjunto com a tecnologia LoRaWAN, é operacionalmente viável e escalável na construção civil. Também foram indicados pontos de atenção para projeto semelhantes, juntamente com a exposição de desafios encontrados na implementação dessa estrutura, onde a maioria das barreiras encontradas foram de origem operacional.

Dos objetivos específicos estabelecidos para o trabalho, todos foram alcançados. Foi obtida uma taxa satisfatória de objetos conectados ativos na rede IoT, foi também alcançado um alto índice de canteiros de obras conectados, e a plataforma foi aprimorada como produto final, a fim de concentrar e entregar uma visualização clara e objetiva de todas as informações coletadas nos canteiros de obras.

Os resultados obtidos foram majoritariamente pertinentes, o produto final, chamado de "plataforma AEC", oferece uma visualização personalizada de cada canteiro de obras, detalhando os dados obtidos em campo e sintetizando-os em consumos anuais, mensais, semanais e até mesmo diários, indo do consumo geral do site até o consumo detalhado de um certo equipamento específico utilizado, sendo atualizado pelo menos uma vez a cada hora. Os indicadores operacionais mostram que o projeto até então obteve sucesso na transformação de armários elétricos em armários elétricos conectados, chegando a uma taxa de 67% de transformação em relação ao número de armários elétricos da empresa, o que permitiu cobrir 77% dos canteiros de obras em andamento, e alcançando uma taxa de conectividade de 85% de objetos instalados em canteiros de obras e conectados à rede IoT.

Com base nos objetos que estavam instalados em canteiros de obras e que estavam se comunicando ativamente com os gateways, a Tabela 3

apresenta satisfatórios indicadores da qualidade da rede IoT. A potência do sinal recebido (RSSI) e a relação sinal-ruído (SNR) apresentaram valores dentro da faixa recomendada para garantir a estabilidade e a efetividade da transmissão de mensagens. Além disso, o número médio de antenas comunicantes por objeto conectado foi maior do que o mínimo recomendado, o que reduz as chances de uma mensagem não chegar até algum gateway. Embora a taxa de uplinks tenha ficado abaixo do ideal, a combinação com os demais indicadores mostra que a rede IoT está operando de forma adequada.

Já sobre os desafios encontrados na implementação do projeto, foram expostos alguns pontos sensíveis (técnicos e operacionais) que essa estrutura pode encontrar. Dos operacionais, os desafios encontrados foram majoritariamente na interação entre as diferentes áreas envolvidas no projeto, causando alguns ruídos na comunicação e dúvidas sobre de quem era a responsabilidade de certas tarefas. Já na parte técnica, a exposição a somente um fornecedor foi crítica pois a equipe de manutenção dos fornecedores era pequena, trazendo lentidão em atualizações necessárias para a correção de erros nos objetos. Por fim, a plataforma AEC apresentou algumas limitações para atividades operacionais, o que era esperado, uma vez que uma ferramenta operacional está sempre em constante evolução, buscando melhor atender as demandas dos seus utilizadores.

Um fator limitante que deve ser levado em consideração na utilização da tecnologia LoRaWAN para esse tipo de aplicação é a comunicação de baixa qualidade quando os objetos conectados se encontravam em subsolos. Essa limitação foi a maior contribuinte para uma taxa de conectividade de 85% dos objetos que estavam em canteiro de obras e deve ser um ponto de melhoria e de futuros estudos de viabilização. Uma possível solução seria usar cabos de antenas mais longos até que a instalação pudesse ser feita fora do subsolo, porém é uma solução extremamente custosa e não seria viável em larga escala. Uma outra solução poderia ser a instalação de objetos conectados que usam outro tipo de comunicação, como por exemplo 3G/4G, visto que no subsolo esses sinais eram melhores do que o da rede LoRa, porém os custos e esquema operacional devem ser estudados para que a viabilidade seja confirmada.

Com o intuito de aprimorar os resultados atingidos nesse trabalho de diplomação, uma próxima etapa para um trabalho futuro seria a implementação de uma análise aprofundada de todas as informações obtidas em canteiros de obras. Além de apenas fazer a exposição em dashboards e relatórios dos dados coletados, esses dados podem ser tratados e analisados

com o intuito de identificar padrões ou anomalias, auxiliando empresas e clientes nas suas tomadas de decisões em relação a diminuição do consumo de energia e podendo até dar uma previsão de demanda de energia. Em termos de produto, dois itens importantes que poderiam ser trabalhados seriam: a implementação de comandos autônomos e telecomandos enviados aos armários elétricos, e o mapeamento do consumo de água e gás, que já podem se aproveitar da estrutura digital do mapeamento da consumação elétrica.

É notória a grande contribuição que a utilização da IoT em conjunto com o protocolo de comunicação LoRaWAN podem trazer na rastreabilidade do consumo elétrico na construção civil. A implementação da estrutura apresentada nesse texto se mostrou escalável, operacionalmente viável, e entregou uma excelente ferramenta para a visualização dos dados, com a finalidade de servir como embasamento para futuras ações em prol da diminuição do consumo de energia nesse setor, contribuindo na redução do impacto ambiental causado pela construção civil. O projeto, além de entregar seu resultado principal de mapeamento do consumo elétrico, também trouxe outros benefícios como a geolocalização dos armários, alertas de disjunção, alertas de saída de zona e alertas de temperatura, permitindo que ações corretivas fossem tomadas mais rapidamente, contribuindo para a eficiência operacional e a tomada de decisões informadas no canteiro de obras.

REFERÊNCIAS

- ATIM. *Comptage et ToR DINDxxx - Guide d'utilisation*. 2022. Disponível em: <[https://www.atim.com/wp-content/uploads/documentation/ACW/ACW-DIND%20\(80,44,160,88\)/FRANCAIS/ATIM_ACW-DINDxxx_UG_FR.pdf](https://www.atim.com/wp-content/uploads/documentation/ACW/ACW-DIND%20(80,44,160,88)/FRANCAIS/ATIM_ACW-DINDxxx_UG_FR.pdf)>. Acesso em: 09/12/2022.
- ATIM. *Site Oficial ATIM*. 2022. Disponível em: <<https://www.atim.com/>>. Acesso em: 10/12/2022.
- BOUYGUES. *Site Oficial do Grupo Bouygues*. 2022. Disponível em: <<https://www.bouygues.com/>>. Acesso em: 02/12/2022.
- CASALS, X. G. *Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences*. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778805000824>>. Acesso em: 04/12/2022.
- COLA, R. J.; KERNAN, P. C. *Life-cycle energy use in office buildings*. 1996. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132396000170>>. Acesso em: 04/12/2022.
- CONSTRUCTION, B. *Projeto ABC*. 2020. Disponível em: <https://www.bouygues-construction.com/sites/default/files/dp_abc_vf.pdf>. Acesso em: 02/12/2022.
- CONSTRUCTION, B. *Site Oficial da Bouygues Construction*. 2022. Disponível em: <<https://www.bouygues-construction.com/>>. Acesso em: 02/12/2022.
- GOKHALE, P.; BHAT, O.; BHAT, S. *Introduction to IOT*. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Omkar-Bhat/publication/330114646_Introduction_to_IOT/links/5c2e31cf299bf12be3ab21eb/Introduction-to-IOT.pdf>. Acesso em: 12/02/2023.
- HAXHIBEQIRI, J.; POORTER, E. D.; MOERMAN, I.; HOEBEKE, J. *A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application*. 2018. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/18/11/3995>>. Acesso em: 06/12/2022.
- ITU. *ITU Work on Internet of Things*. 2015. Disponível em: <http://wireless.ictp.it/school_2015/presentations/secondweek/ITU-WORK-ON-IOT.pdf>. Acesso em: 04/12/2022.
- LI, S.; XU, L. D.; ZHAO, S. *The internet of things: a survey*. 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10796-014-9492-7.pdf?pdf=button>>. Acesso em: 04/12/2022.
- NATIONS, U. *Acordo de Paris*. 2015. Disponível em: <http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf>. Acesso em: 02/12/2022.

RAM, P. *LPWAN, LoRa, LoRaWAN and the Internet of Things*. 2018. Disponível em: <<https://medium.com/coinmonks/lpwan-lora-lorawan-and-the-internet-of-things-aed7d5975d5d>>. Acesso em: 07/12/2022.

RAY, P. *A survey on Internet of Things architectures*. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157816300799>>. Acesso em: 05/12/2022.

ROSE, K.; ELDRIDGE, S.; CHAPIN, L. *The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World*. 2015. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48790442/ISOC-IoT-Overview-20151014_0-libre.pdf?1473746977=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DThe_Internet_of_Things_An_Overview_Under.pdf&Expires=1683001974&Signature=CFFMJxJld7DREz6xt58li-usivsY6b7LfUqzzDIXt5075vzi8oXUOxjkC3R0vkK2Ep4ILfKgDyRR_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Acesso em: 11/02/2023.

SAUTER, M. In: _____. *From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*. United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd., 2011. p. 160.

SHAFIK, R. A.; RAHMAN, M. S.; ISLAM, A. R. *2006 International Conference on Electrical and Computer Engineering*. 2006. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4178493>>. Acesso em: 17/12/2022.

TECHNOPEDIA. *Up Link*. 2014. Disponível em: <<https://www.techopedia.com/definition/5094/uplink>>. Acesso em: 17/12/2022.

TSCHOFENIG, H.; LTD., A.; ARKKO, J.; THALER, D.; MCPHERSON, D. *Architectural Considerations in Smart Object Networking*. 2015. Disponível em: <<https://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc/rfc7452.txt.pdf>>. Acesso em: 05/12/2022.