



# Ajuste Dinâmico e Automático de Iluminação em Sistemas Industriais e Edifícios Usando Tecnologias de IoT

**Carolina Miller da Silva**

Dissertação apresentada à Escola de Tecnologia e Gestão de Bragança para a obtenção do Mestrado em Engenharia Industrial.

Trabalho realizado sob a orientação de:

Paulo Leitão

José Barbosa

Luciana Faletti

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri.

Bragança

Setembro 2019





# Ajuste Dinâmico e Automático de Iluminação em Sistemas Industriais e Edifícios Usando Tecnologias de IoT

**Carolina Miller da Silva**

Dissertação apresentada à Escola de Tecnologia e Gestão de Bragança para a obtenção do Mestrado em Engenharia Industrial.

Trabalho realizado sob a orientação de:

Paulo Leitão

José Barbosa

Luciana Faletti

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri.

Bragança

Setembro 2019



Dedico este trabalho a minha mãe, que investiu tudo o que podia para proporcionar essa oportunidade na minha vida.

# Agradecimento

Agradeço a minha mãe por todo o sacrifício que proporcionou essa oportunidade e por ser um exemplo de vida para mim. Ao meu namorado, Leonardo, que me deu extremo suporte, confiança, e amor durante essa jornada. Ao professor Paulo Leitão pela oportunidade e inestimável orientação, assim como ao professor José Barbosa e a professora Luciana Faletti por todo o apoio ao longo desse projeto. Além de um enorme agradecimento ao professor José Augusto Almeida Pinheiro de Carvalho pelo suporte com o quadro domótico utilizado na dissertação.

A todos, um sincero obrigada!

# Resumo

A crescente busca por sistemas sustentáveis e de baixo impacto ambiental tem movimentado pesquisas em diversos setores, buscando uma maior eficiência energética e uma atenuação destes impactos, levando-se em conta que os gastos energéticos nesses setores contribuem significativamente com o consumo mundial e com as emissões de gases de efeito estufa. Devido ao alto consumo energético atrelado a edifícios, sendo eles residenciais, comerciais, ou industriais, um dos setores de interesse dessas pesquisas é a área de Automação Residencial, já que esta apresenta sistemas capazes de aprimorar a eficiência energética e aumentar o conforto de seus habitantes. Também por interesses em conforto e acessibilidade, a Internet das Coisas está cada vez mais em evidência, o que pode ser visto com a quantidade de dispositivos conectados a rede, que já ultrapassa a população mundial e não há indicações de que vá parar de crescer. Essa tecnologia vem sendo aplicada em diversas áreas, incluindo a domótica, onde é usada para facilmente resolver problemas de interconexão de dispositivos atrelados a ela. Diante disso, o foco desse projeto é o desenvolvimento de um sistema domótico, para áreas tanto residenciais, quanto industriais, utilizando tecnologias IoT para um controle remoto do sistema. O sistema busca aumentar o conforto de seus usuários, enquanto reduz o consumo energético e se preocupa com a segurança, utilizando para isso a gestão da iluminação do ambiente.

**Palavras-chave:** Sistemas de Automação Residencial, Controle de Iluminação, Internet das Coisas.

# Abstract

The growing search for sustainable and low environmental impact systems has been driving research in various sectors, seeking greater energy efficiency and mitigation of these impacts, taking into account that the energy expenditure in those sectors contributes significantly to world's consumption and greenhouse gas emissions. Due to the high energy consumption linked to buildings, whether residential, commercial, or industrial, one of the sectors of interest of these researches is the area of Building Automation, as it has systems capable of improving energy efficiency and increasing the comfort of its inhabitants. Also because of the interest in comfort and accessibility, the Internet of Things is increasingly in evidence, which can be seen by the number of networked devices that already exceeds the world's population, having no indications that it will stop growing. This technology has been applied in multiple areas, including home automation, where it is used to easily solve interconnection problems between the belonging devices. Given this, the focus of this project is the development of a building automation system for both residential and industrial areas, using IoT technologies for a remote system control. The system seeks to increase the comfort of its users, while reducing energy consumption and caring about safety, using, for that purpose, ambient lighting management.

**Keywords:** Building Automation Systems, Lightning Management, Internet of Things.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	1
1.2	Justificativa . . . . .	3
1.3	Objetivos . . . . .	5
1.4	Metodologia e Trabalho Realizado . . . . .	5
1.5	Organização do Trabalho . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Contextualização</b>	<b>7</b>
2.1	Sistemas de Automação Residencial . . . . .	7
2.2	Arquiteturas para Sistemas de Automação Residencial . . . . .	9
2.3	Tecnologias IoT em Sistemas de Automação Residencial . . . . .	11
2.3.1	Benefícios do uso de Tecnologias IoT em Sistemas de Automação Residencial . . . . .	12
2.3.2	Protocolos de Comunicação IoT . . . . .	13
2.4	Inteligência Artificial . . . . .	16
2.5	Conclusão . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Implementação do Sistema de Automação Residencial</b>	<b>21</b>
3.1	Descrição do Caso de Estudo . . . . .	21
3.2	Implementação da Aplicação em Node RED . . . . .	23
3.2.1	Nós de KNX . . . . .	25
3.2.2	Nó de Meteorologia . . . . .	27

3.2.3	Nó Seletor de Modo . . . . .	30
3.2.4	Subflows . . . . .	31
3.2.5	Nó de MQTT . . . . .	34
3.2.6	Nó de Emulador . . . . .	37
3.2.7	Nó de Controle . . . . .	41
3.2.8	Interface Homem-Máquina . . . . .	45
<b>4</b>	<b>Segurança do Sistema</b>	<b>49</b>
4.1	Vulnerabilidades . . . . .	50
4.1.1	Aplicativo Node RED . . . . .	50
4.1.2	Interface Homem-Máquina . . . . .	51
4.1.3	Comunicação MQTT . . . . .	52
4.1.4	Site Meteorológico . . . . .	53
4.1.5	Módulo KNX . . . . .	54
4.2	Soluções Aplicadas . . . . .	56
4.2.1	Aplicativo Node RED . . . . .	56
4.2.2	Interface Homem-Máquina . . . . .	58
4.2.3	Comunicação MQTT . . . . .	58
4.2.4	Site Meteorológico . . . . .	60
4.2.5	Módulo KNX . . . . .	61
<b>5</b>	<b>Análise de Resultados</b>	<b>63</b>
5.1	Sistema de Automação Residencial . . . . .	63
5.2	Segurança do Sistema . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>71</b>
<b>A</b>	<b>Proposta Original do Projeto</b>	<b>A1</b>
<b>B</b>	<b>Arquivo <i>Group Adresses</i></b>	<b>B1</b>



# Lista de Tabelas

2.1	Arquiteturas de Domótica. . . . .	11
2.2	Protocolos de Comunicação IoT. . . . .	15
3.1	Regras para controle de luz e cortina nas situações NeTIA e SeF. . . . .	44
3.2	Regras para controle de luz e cortina nas situações NeTIB e SeC. . . . .	44
3.3	Regras para controle de luz e cortina na situação NuTEA. . . . .	44
5.1	Resultados obtidos na Sala LCAR para a regra Nublado. . . . .	64
5.2	Resultados obtidos na Sala LCAR para a regra Sol e Frio. . . . .	64
5.3	Resultados obtidos na Sala L2I para a regra Nublado. . . . .	64
5.4	Resultados obtidos na Sala L2I para a regra Sol e Calor. . . . .	65
5.5	Resultados obtidos na Sala L2I para a regra Noite Quente. . . . .	65

# Lista de Figuras

2.1	Objetivos da Domótica. . . . .	8
3.1	Arquitetura de Projeto. . . . .	22
3.2	Quadro de Domótica. . . . .	23
3.3	<i>Main Flow</i> . . . . .	24
3.4	Nó de KNX. . . . .	26
3.5	Mensagem recebido pelo Node RED advinda de um nó de KNX. . . . .	26
3.6	Arquivo de configuração do sistema domótico. . . . .	27
3.7	Nó de Meteorologia. . . . .	27
3.8	Mensagem recebida pelo Node RED através do Nó de Meteorologia. . . . .	28
3.9	Nó de função <i>Meteorological Data</i> . . . . .	28
3.10	Gráficos de Iluminação. . . . .	30
3.11	Nó Seletor de Modo. . . . .	30
3.12	Nós de <i>Subflow</i> . . . . .	31
3.13	<i>Subflows Filter 1</i> LCAR (A), <i>Filter 2</i> LCAR (B), e <i>Filter L2I</i> (C). . . . .	32
3.14	<i>Subflows L2I</i> Manual (A) e LCAR Manual (B). . . . .	32
3.15	<i>Subflows L2I</i> Auto (A) e LCAR Auto (B). . . . .	33
3.16	Nó de MQTT. . . . .	35
3.17	Configuração de conexões MQTT no aplicativo MQTT Spy. . . . .	35
3.18	Configuração de conexões MQTT no aplicativo Node RED. . . . .	36
3.19	Configuração de tópico MQTT no aplicativo Node RED. . . . .	36
3.20	Tela de envio de mensagens no aplicativo MQTT Spy. . . . .	37

3.21	Nó de Emulador. . . . .	37
3.22	Variação do nível de iluminação em relação à abertura da cortina. . . . .	38
3.23	Fragmento de código do nó <i>KNX Emulator</i> responsável pela simulação de cortina . . . . .	39
3.24	Modos de Cortina. . . . .	40
3.25	Fragmento de código do nó <i>KNX Emulator</i> responsável pela simulação de lâmpada na sala LCAR. . . . .	40
3.26	Nó de Controle. . . . .	41
3.27	Fragmento de código do Nó de Controle da Sala L2I. . . . .	43
3.28	Interface Homem-Máquina. . . . .	46
3.29	Nós de <i>Dashboard</i> . . . . .	47
4.1	Pontos vulneráveis do Sistema. . . . .	50
4.2	Aviso do Node RED a modificações sendo realizadas. . . . .	51
4.3	Painel de modificações do Node RED. . . . .	51
4.4	Dados enviados pelo cliente MQTT. . . . .	53
4.5	Informações de comunicação MQTT obtidas pelo WireShark. . . . .	53
4.6	Informações de comunicação entre o Node RED e a Web obtidas pelo WireShark. . . . .	54
4.7	Painel de modificações do Node RED. . . . .	55
4.8	Configuração de Usuário e Senha no Node RED. . . . .	56
4.9	Informações de Usuário e Senha obtidas pelo WireShark. . . . .	57
4.10	Configuração de conexão HTTPS no Node RED. . . . .	57
4.11	Configuração de Usuário e Senha para a IHM. . . . .	58
4.12	Configuração segura de nó MQTT no Node RED. . . . .	59
4.13	Configuração segura MQTT no MQTT Spy. . . . .	59
4.14	Nó de solicitação de conexão HTTP. . . . .	60
4.15	Propriedades do nó de solicitação HTTP. . . . .	60
5.1	IHM em funcionamento para dois <i>Setpoints</i> diferentes na Sala LCAR. . . . .	65

5.2	IHM em funcionamento para dois <i>Setpoints</i> diferentes, em duas regras distintas na Sala L2I. . . . .	66
5.3	IHM em funcionamento. . . . .	67
5.4	Quadro de domótica em funcionamento. . . . .	67
5.5	IHM em funcionamento através de um navegador no celular. . . . .	68
5.6	Resultado obtido após a configuração de segurança no Node RED. . . . .	69
5.7	Resultado obtido após a configuração de segurança no Nó de Meteorologia. . . . .	69
5.8	Caixa de <i>Login</i> obtida ao tentar acessar a IHM. . . . .	70

# Acronyms

**AMQP** *Advanced Message Queuing Protocol*. 14, 15

**ANN** Redes Neurais Artificiais, *Artificial Neural Networks*. 16, 17

**API** *Application Programming Interface*. 23, 27

**AVAC** Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado. 1, 2, 8, 72

**BAS** Sistema de Automação Residencial, *Building Automation System*. 1, 7, 8, 13, 19, 24, 71

**CI** Inteligência Computacional, *Computational Intelligence*. 16

**CNN** Redes Neurais Convolucionais, *Convolutional Neural Networks*. 17

**CoAP** *Constrained Application Protocol*. 14, 15

**CPS** Sistemas Ciber-Físico, *Cyber-Physical Systems*. 9, 11

**DAI** Inteligência Artificial Distribuída, *Distributed Artificial Intelligence*. 16

**DTLS** *Datagram Transport Layer Security*. 14, 15

**HTTP** Protocolo de Transferência de Hipertexto. 14, 53, 56, 60

**HTTPS** Protocolo de Transferência de Hipertexto Seguro. 56–58, 60

**IA** Inteligência Artificial. 9, 16, 17, 19

**ICT** Tecnologia de Informação e Comunicação, *Information and Communications Technology*. 9

**IEEE** Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos. 10

**IHM** Interface Homem-Máquina. 6, 18, 22, 23, 25, 30, 32, 34, 43, 45, 51, 52, 58, 63, 66, 68, 69

**IoT** Internet das Coisas, *Internet of Things*. 3–5, 7, 11–14, 19, 49, 71

**IPB** Instituto Politécnico de Bragança. 5, 11, 22

**JSON** *JavaScript Object Notation*. 25

**L2I** Laboratório de Inovação e Investigação. 22, 24, 29, 31, 32, 34, 39, 45, 66

**M2M** Máquina-Máquina, *Machine-to-Machine*. 13, 15

**MiTM** *Man in The Middle*. 54, 57

**MQTT** *Message Queuing Telemetry Transport Protocol*. 14, 15, 21, 23, 34–36, 43, 58, 60, 63, 68

**NeTIA** Noite e Temperatura Interna Alta. xii, 41, 44, 63, 64

**NeTIB** Noite e Temperatura Interna Baixa. xii, 41, 44

**NuTEA** Nublado ou Temperaturas Externas Amenas. xii, 42, 44, 63, 64

**nZeBs** *Nearly Zero-Energy Buildings*. 2

**OSI** *Open System Interconnection*. 10

**P&G** *Protect & Gamble*. 4

**PLC** *Power Line Communication*. 10, 11

**Pub/Sub** Publicador/Assinante, *Publisher/Subscriber*. 13–15

**QoS** Qualidade de Serviço, *Quality of Service*. 14, 15

**Req/Res** Solicitação/Resposta, *Request/Response*. 14, 15

**RF** Rádio-Frequência. 10, 11

**RoIs** Regiões de Interesse, *Regions of Interest*. 18

**SeC** Sol e Calor. xii, 42–44, 63

**SeF** Sol e Frio. xii, 42, 44, 63

**SMA** Sistemas Multiagente. 16, 18, 19

**SSL/TLS** *Secure Sockets Layer/Transport Layer Security*. 14, 15, 57, 58, 60

**TCP/IP** *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*. 14, 15

**TI** Tecnologias da Informação. 7, 8

**TP** Par Trançado, *Twisted Pair*. 10, 11

**UDP** *User Datagram Protocol*. 14, 15

**URL** *Uniform Resource Locator*. 27

**XML** *Extensible Markup Language*. 15

**XMPP** *Extensible Messaging and Presence Protocol*. 15

# Capítulo 1

## Introdução

A Automação Residencial, ou Domótica, envolve o controle e monitoramento de eletrodomésticos, em um sistema unificado [1], que têm por objetivo providenciar conforto e segurança aos seus habitantes. Isto é, o mercado desses sistemas são movidos pela promessa da melhoria do bem-estar do usuário a um preço de operação reduzido [2]. Para alcançar esses objetivos, um Sistema de Automação Residencial, *Building Automation System* (BAS), utiliza-se de controle de temperatura, através de sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), luzes, sombreamento, segurança, controle de portas e janelas, além de melhorias na eficiência energética do local. De acordo com Kastner [2], investimentos nessa área resultam em altos custos de construção, no entanto, sua utilização se prova útil quando é levado em consideração o ciclo de vida do prédio, já que usualmente, o custo operacional de um edifício durante sua vida útil é cerca de sete vezes o investimento inicial para a construção, o que torna a decisão de utilização de um sistema domótico uma opção apropriada, levando em conta que pode garantir um custo ótimo de ciclo de vida do mesmo.

### 1.1 Motivação

O número de dispositivos interconectados, em 2013, já alcançava 9 bilhões, valor que ultrapassa a população mundial atual, e está em crescimento desde então [3]. A Internet das

Coisas gera um mercado extramente atraente, por consequência das diversas vantagens atreladas a qualquer área na qual ela esteja inserida. Através dela é possível: automatizar processos que antes requeriam o uso de uma numerosa mão de obra, reduzindo custos de produção; melhorar a segurança de uma fábrica ou prédio a partir de sistemas responsáveis pela mesma, evitando situações de risco e possíveis gastos atrelados a elas; ou até alcançar uma melhor eficiência energética através do controle inteligente de dispositivos como lâmpadas e sistemas de AVAC, diminuindo gastos com eletricidade. Ou seja, sistemas inteligentes são capazes de poupar tempo, energia e gastos para os seres humanos.

O consumo de energia em edifícios é significativo. Segundo Pérez [4], em 2004 o consumo de energia em prédios, tanto residenciais quanto comerciais, nos Estados Unidos, alcançava um valor de 37% do consumo total de energia do país, ultrapassando o de outros grandes setores como indústria (28%) e transporte (32%), essa taxa foi ainda maior no Reino Unido, atingindo um valor de 39%. O consumo de energia residencial em países desenvolvidos é maior do que em países subdesenvolvidos, e tende a crescer ainda mais, devido ao aumento do uso de eletrodomésticos, principalmente sistemas AVAC. Essas residências são responsáveis por 22% da energia consumida nos EUA, enquanto, na União Europeia, representam 26% do consumo total. A nível mundial, o consumo de energia em edifícios, sejam eles comerciais ou residenciais, ocupava, em 2004, um total de 24% da energia consumida no mundo, que cresce a uma taxa de 4,2% ao ano em países como Espanha, e de 1,5% na União Europeia. A previsão de Pérez [4] é de que, em 2030, o consumo residencial será responsável por 67% da energia em edifícios.

Políticas de eficiência energética e sustentabilidade estão em evidência no século XXI, o que tem impulsionado pesquisas na área predial, em virtude de serem uma fonte de poluição e altos consumos energéticos [5]. O controle do consumo de energia elétrica em prédios vêm se tornando prioridade em muitos países, em 2010, por exemplo, o parlamento europeu declarou, na diretriz de performance energética, que todos os novos prédios da união devem ser *Nearly Zero-Energy Buildings* (nZeBs), até o ano de 2020, ou seja, devem possuir um consumo energético próximos a zero [6]. A iluminação engloba 19% do uso mundial de energia elétrica e é responsável por aproximadamente 6% do total da emissão

global de gases de efeito estufa. Poupar 40% da energia gasta com iluminação, equivale a remover metade das emissões de gases lançadas pela produção de eletricidade e calor nos Estados Unidos [7].

A automação residencial prevê um ambiente repleto de sensores e atuadores, que podem ser configurados e operados, tanto in loco, quanto remotamente, e permite uma grande variedade de controle e monitoramento. Esses sistemas vêm sendo utilizados desde os anos 80, no entanto, a falta de conhecimentos técnicos, os problemas de manutenção, e custos altos associados aos mesmos, fizeram com que estes fossem pouco utilizados, o que vem mudando atualmente. Sistemas domóticos são capazes de detectar a presença humana e desligar lâmpadas na sua ausência, ou até controlar o nível de iluminação de uma residência majoritariamente através do controle de cortinas, utilizando-se da iluminação natural que penetra no ambiente através de janelas, além disso, podem inclusive ser controlados remotamente, ajudando em casos no qual um habitante não possa chegar até prédio para desligar algum aparelho que tenha esquecido ligado. Segundo a pesquisa realizada em [8], sistemas de controle de iluminação são capazes de alcançar um valor de economia de energia entre 17 e 34%, em relação a prédios sem esses sistemas. Além disso, o avanço tecnológico tem aumentado a demanda pelo conforto dos habitante de um prédio, fazendo com que esse sistemas sejam ainda mais atraentes, uma vez que são capazes de balancear essa demanda com as exigências de economia de energia. O importante é se ter luz onde, quando, e quanto for necessário [6].

## 1.2 Justificativa

Apesar da Internet das Coisas, *Internet of Things* (IoT), ser um assunto que atrai mais e mais atenção todos os dias, sua definição é vasta e complexa. De acordo com [9], a definição semântica de IoT é:

“Uma rede de alcance mundial, composta de dispositivos interconectados, endereçáveis via protocolos de comunicação padrão.” [9]

No entanto, ela significa muito mais do que isso. Quando Kevin Ashton mencionou esse termo pela primeira vez em 1999 em uma apresentação da *Protect & Gamble* (P&G), ele tinha em mente a importância das "coisas" para sociedade quando postas em comparação com ideias e informações. Ele pensou em como a vida seria mais fácil se computadores pudessem:

“Saber tudo o que se pode saber sobre essas "coisas", se eles pudessem ver, ouvir e cheirar o mundo por conta própria e deixassem de ser tão dependentes das pessoas.” [10]

Com a evolução da tecnologia, a definição de "coisas" vem sendo levemente alterada, porém, o objetivo de fazer computadores serem capazes de coletar informações do ambiente, através de pouca ou nenhuma intervenção humana, se mantém inalterado. A fim de se alcançar esse objetivo, a Internet das Coisas necessita de dispositivos capazes de captar informações (sensores) e de interagir com o ambiente (atuadores), além de tecnologias e protocolos padrão de comunicação.

Soluções de IoT podem oferecer vantagens com relação às atuais em diversas áreas de aplicação, sendo as áreas de qualidade de vida as mais promissoras [11]. De acordo com Miorandi [12], cuidados de saúde, cidades inteligentes, inventário e gerenciamento de produtos, segurança e vigilância, e casas inteligentes são áreas que lideram a adoção de tecnologias IoT, sendo o foco desse projeto a área de soluções para edifícios inteligentes.

Há vários tipos diferentes de automação residencial disponíveis no mercado, sendo designados a propósitos distintos, que podem variar de um simples controle, remoto, de um interruptor de luz, a dispositivos totalmente integrados, controlando equipamentos por todo o edifício [1]. Essa característica, aliada as restrições proprietárias de hardware, e do número de protocolos disponíveis, causa problemas de compatibilidade, gerando situações de problemas de interoperabilidade e de bloqueio, onde o sistema acaba completamente ligado à um fabricante em específico, o que apresenta, então, as tecnologias IoT como uma solução extremamente vantajosa para esses sistemas [13].

“A IoT, na área de automação residencial, visa um ambiente doméstico

futuro em que sensores e atuadores embutidos são auto-configuráveis e podem ser controlados remotamente pela Internet, possibilitando uma variedade de aplicações de monitoramento e controle.” [1]

### **1.3 Objetivos**

O objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema de automação residencial capaz de controlar, de forma automática e dinâmica, o nível de iluminação de sistemas industriais e edifícios, de acordo com a preferência dos usuários do mesmo, utilizando-se, para isso, de tecnologias IoT. Alcançar esse objetivo irá requerer: o uso de elementos de sensorização; o desenvolvimento de uma lógica de controle; a criação de uma aplicação para uso dos clientes; a atuação nos dispositivos atuadores disponíveis; e a utilização de tecnologias IoT.

### **1.4 Metodologia e Trabalho Realizado**

Primeiramente, para a elaboração do presente trabalho, serão definidos os sensores e atuadores a serem utilizados no projeto. A primeira ideia de projeto previa a instalação desses em uma sala de laboratório do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), no entanto, a falta de alguns equipamentos torna necessária a busca de uma outra alternativa, optando-se, então, pelo uso de um quadro de domótica já disponível na instituição.

Posteriormente serão analisadas as possíveis regras, assim como os fatores que podem influenciar nas mesmas, para o controle dos dispositivos, que devem levar em consideração não só o conforto do cliente, como também a eficiência energética.

O projeto da lógica de controle será desenvolvido inteiramente sob a plataforma open-source Node RED e utilizará, tanto os nós pré-definidos, quanto os configuráveis, do aplicativo. Serão então elaboradas lógicas para duas salas distintas, com diferenças entre elas no que tange o número de sensores de iluminação e lâmpadas dimerizáveis.

A comunicação entre o programa responsável pela lógica de controle e os sensores e

atuadores ficará a cargo da rede de comunicação KNX, enquanto a comunicação entre o programa e os usuários ocorrerá através do protocolo MQTT, com o uso do aplicativo gratuito MQTT Spy.

Em seguida será elaborada uma Interface Homem-Máquina (IHM) no intuito de promover ao usuário a possibilidade de acompanhar, de modo mais simples, as modificações sendo realizadas no ambiente à sua volta, além de fornecer também, opções de alteração do mesmo.

Por último, serão analisados os pontos vulneráveis do sistema com relação à segurança do mesmo, com ajuda do *software* livre WireShark, e serão, então, buscadas e implementadas soluções contra esses.

## 1.5 Organização do Trabalho

A dissertação está organizado da seguinte forma: no capítulo 2 descrevem-se algumas das tecnologias e ferramentas utilizadas no desenvolvimento de sistemas domóticos, além da apresentação de projetos já previamente desenvolvidos nessa área; no capítulo 3 é apresentada a implementação do sistema de automação residencial, pontuando todos os passos realizados para seu desenvolvimento; o capítulo 4 aborda problemas relacionados a segurança da rede desenvolvida e propõe soluções para os mesmos; já o capítulo 5 desenvolve os resultados obtidos tanto na vertente do sistema domótico, quanto na segurança deste; Finalmente, o capítulo 6 apresenta as conclusões e direções de trabalho futuro.

# Capítulo 2

## Contextualização

### 2.1 Sistemas de Automação Residencial

Os termos 'Casa Inteligente' ou 'Edifício Inteligente' são amplamente usados para se referir a residências e/ou ambientes de escritórios que adotam tecnologias IoT, com o objetivo de aumentar a qualidade de vida e o conforto de seus ocupantes. Um BAS, se refere a um sistema baseado em controle computacional, instalado em um prédio, de modo a controlar e monitorar seus equipamentos mecânicos e elétricos, tendo como objetivo, não somente o conforto de seus habitantes, como também uma gestão eficiente de energia. A crescente demanda pelo conforto do ambiente interno aumenta também a demanda de energia, de acordo com [6], 32% do total de energia consumida na maioria das agências internacionais de energia estão relacionadas a edifícios. Por essa razão, BASs precisam almejar por um balanço adequado entre demanda de energia e requisitos de conforto, além de segurança e comunicação (Figura 2.1).

Existe uma ampla gama de definições para Edifícios Inteligentes, no entanto, o que realmente importa, em termos desse tipo de construção, é como torná-los realmente inteligentes. No ponto de vista de Wang [14], ter sistemas de Tecnologias da Informação (TI), no contexto das construções modernas, é essencial, mas não o suficiente para, sozinho, tornar um edifício inteligente. Em outras palavras, um prédio pode ter sistemas de TI,

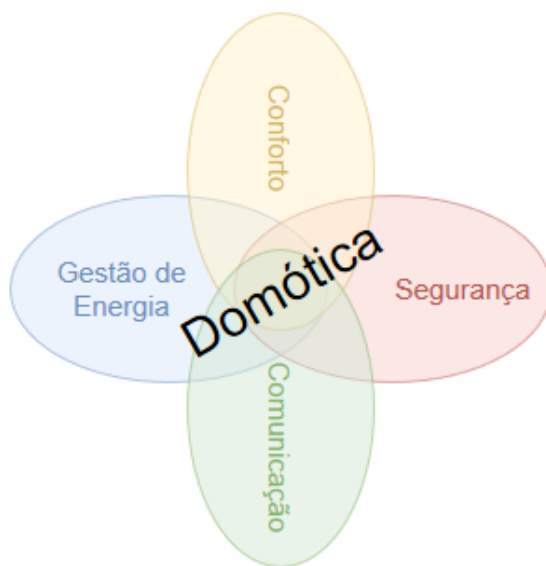


Figura 2.1: Objetivos da Domótica.

porém, se esses não estiverem funcionando de modo adequado, o edifício não será considerado inteligente em sua totalidade. O autor diz, também, que os sistemas tecnológicos, incluindo sua integração, interoperabilidade, hardware e software, precisam ser:

- Configurados corretamente;
- Integrados apropriadamente com as instalações prediais e entre eles;
- Customizados acertadamente para ir de encontro aos requisitos de usuário;
- Bem comissionados e mantidos;

Isto é, para alcançar o status de Edifício Inteligente, é necessária a combinação correta de TI, estrutura, arquitetura, automação, ambiente, serviços prediais e gestão de instalações [14].

As ferramentas de BASs utilizadas para alcançar seus objetivos, incluem, principalmente, o uso de iluminação, o controle de cortinas e os sistemas AVAC. Esse sistema demanda um programa dotado de um algoritmo robusto que leve em consideração todos

os parâmetros de automação, como níveis de iluminação, temperatura interna, temperatura externa, posição do sol, além de outros, de modo a realizar decisões multicritério no controle dos dispositivos atuadores [6].

Um meio tão heterogêneo e complexo, voltado para o alcance da interoperabilidade entre dispositivos distribuídos e sistemas computacionais, requer uma solução complexa. Sistemas Ciber-Físico, *Cyber-Physical Systems* (CPS), são vistos como a espinha dorsal desse meio, e podem ser descritos como:

"A integração entre dispositivos físicos, aplicações computacionais, e infra-estruturas de comunicação." [15]

Sistemas Ciber-Físico, *Cyber-Physical Systems* (CPS), criam uma rede que permite a interação entre elementos físicos e ciber, combinando Tecnologia de Informação e Comunicação, *Information and Communications Technologys* (ICTs), e tecnologias de Inteligência Artificial (IA).

## 2.2 Arquiteturas para Sistemas de Automação Residencial

Sensores e atuadores estão no centro da automação predial inteligente, podendo ser considerados o núcleo do sistema. No entanto, é necessária uma rede de comunicação, no intuito de conectar esses dispositivos, permitindo a eles trabalhar colaborativamente, enquanto oferta um serviço seguro e adequado aos usuários. Essas tecnologias são encontradas no mercado em grande diversidade, cada uma com suas diferenças particulares no que tange a sua infraestrutura, taxa de dados, número máximo de dispositivos interoperáveis, entre outros. Apesar do grande número de ofertas, não há, no entanto, uma comparação disponível que aponte qual arquitetura se encaixa melhor em determinado sistema domótico [16], tornando necessário avaliar as opções disponíveis e decidir-se pela mais conveniente para o caso de estudo em questão.

- **KNX [17]**. É um protocolo de comunicação de rede baseado no padrão aberto *Open System Interconnection* (OSI), projetado para edifícios inteligentes, que conecta seus dispositivos através de Cabos de Par Trançado, *Twisted Pair* (TP) *Cables*, e é o mais usado na Europa. Ele permite as topologias estrela, linha e árvore, e tem um sistema aberto que é compatível com um grande número de fornecedores, possuindo, por outro lado, uma instalação cara e complexa [18], [19].
- **Insteon [20]**. Rede de automação residencial que usa uma tecnologia *dual-mesh* para comunicação, utilizando Rádio-Frequência (RF), *Power Line Communications* (PLCs), ou ambos, para criar um sistema forte e capaz de lidar facilmente com interferências comuns, e.g. wi-fi e bloqueios de sinal. Essa tecnologia não requer dispositivos administradores, já que cada dispositivo tem a capacidade de controlar ou ser controlado um pelo outro, além de ser capaz de endereçar centenas de nós simultaneamente.
- **ZigBee [21]**. É uma rede sem fio, para sistemas domóticos, desenvolvida por um grupo, conhecido como ZigBee Alliance [21], em conjunto com o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE). A plataforma suporta conexões em árvore, estrela e malha, e, apesar de demonstrar similaridades com a tecnologia Bluetooth, é menos complexa, possui uma taxa de dados menor, um menor desgaste de bateria, e foi projetada especificamente para a área de automação residencial [22].
- **Z-wave [23]**. Trata-se de protocolo sem fio desenvolvido para automação residencial. Utiliza uma topologia em malha e é capaz de lidar com até 232 dispositivos em sua rede, sendo eles mestres ou escravos. Escravos são responsáveis por receber e executar os comandos vindos do mestre, enquanto esses, são responsáveis por enviar esses comandos e encontrar o caminho mais eficiente, dentro da rede, para que a mensagem seja enviada ao seu nó de destino. A rede pode ser controlada remotamente, utilizando-se uma aplicação de controle central ou um acesso via internet [24].

- **X10 [25]**. É uma rede de comunicação por PLC, e uma das primeiras usadas na área de domótica. Estando em uso desde os anos 70, o X10 se aproveita da instalação elétrica já existente no prédio para conectar seus dispositivos, que, por sua vez, podem ser plugados às saídas de energia. Essa tecnologia apresenta um processo descomplicado de instalação já que tira vantagem da infraestrutura pré-existente, no entanto, apresenta desvantagens como baixa taxa de dados e baixa imunidade a ruído [18].

<b>Tecnologia</b>	<b>Infraestrutura</b>	<b>Taxa de Dados</b>	<b>Nós</b>
KNX	TP, RF	9.6kbps	65.536
Insteon	RF,PLC	38.4kbps	Ilimitado
Zigbee	RF	250kbps	65.000
Z-Wave	RF	100kbps	232
X10	PLC	20bps	256

Tabela 2.1: Arquiteturas de Domótica.

A tabela 2.1 destaca algumas características das redes discutidas previamente. A escolha, para este trabalho, foi de utilizar a tecnologia KNX como a rede de comunicação do sistema, devido a razões práticas, levando em conta que essa tecnologia já estava disponível para uso no IPB.

## 2.3 Tecnologias IoT em Sistemas de Automação Residencial

Como mencionado previamente, um CPS requer um componente físico, composto, nesse caso, por sensores, atuadores, ferramentas de comunicação, e mais. Em outras palavras, na finalidade de alcançar seus objetivos, um edifício inteligente, requer que um certo número de sensores e atuadores sejam conectados a unidades de controle, através de protocolos e tecnologias de comunicação, sendo, as tecnologias IoT, uma excelente opção para tanto.

### 2.3.1 Benefícios do uso de Tecnologias IoT em Sistemas de Automação Residencial

Há diversos tipos de sistemas de automação residencial disponíveis no mercado, sendo designados para desempenhar propósitos distintos, podendo variar de sistemas simples que têm por objetivo apagar e acender uma luz remotamente, ao controle de diversos dispositivos de uma casa conectados entre si. A comunicação, entre esse dispositivos, é ofertada, por fabricantes de sistemas domóticos, sem compatibilidade com a internet, no entanto, é possível conecta-los a ela através de um IP *gateway* fornecido pelos mesmos. Essa conexão, contudo, providencia um acesso, não a cada dispositivo ou função, mas a toda a rede residencial [26]. Há também o fato de que dificilmente um fabricante poderá oferecer suporte e desenvolver os produtos interminavelmente, requerendo, então, a existência de produtos compatíveis de diversos fabricantes, o que vem sendo investido atualmente, causando dúvidas quanto a necessidade de se usar sistemas IoT para essas aplicações. No entanto, essa interoperabilidade oferecida por esses fabricantes vem com um custo, as vezes não muito evidente, já que a maioria das arquiteturas de automação são ditas abertas, porém, isso não quer dizer que são de graça. Segundo Lilis [27], o desenvolvedor da arquitetura LonWorks solicita taxas de *royalty* para cada dispositivo que use seu *Neuron Chip*, já o BACnet não cobra taxas, mas requer investimentos em seus certificados anuais de compatibilidade, similarmente ao KNX, onde sua ferramenta de comunicação ETS4 requer uma licença para uso. Além disso, esses fabricantes podem incluir taxas extras ao serem solicitados, pelo cliente, por inclusão de mais aplicações, como uma interface padrão, ademais, a tentativa de competição com grandes corporações pode acarretar em fragmentações ainda maiores. Ou seja, fica evidente que não é simples integrar dispositivos diferentes, ou até mesmo iguais, provenientes de múltiplos fabricantes, causando uma grande divergência entre a interoperabilidade que esse sistemas precisam trazer e a que eles realmente trazem. Tudo isso faz com a automação residencial seja uma área extremamente atrativa para a implementação de tecnologias IoT.

Apesar dos inúmeros benefícios trazidos pela IoT, há ainda muitos descrentes quanto

as vantagens atreladas à sua implementação em sistemas domóticos, relacionados ao fato de não haver tantos trabalhos realizados com esse foco. Lilis [27] afirma que a maioria das pesquisas vem sendo feitas apenas em seus respectivos campos, utilizando as arquiteturas tradicionais de BAS, negligenciando o potencial do IoT em Edifícios Inteligentes, e inibindo o interesse na área, já que, por esse fato, os benefícios monetários atrelados a ela não são facilmente estimados. O uso de IoT em BAS traz diversas preocupações, devido ao crescimento rápido das aplicações IoT, causando incertezas na área de segurança do sistema, e dificultando o controle e gerenciamento das mesmas, além disso, há receios quanto a conectividade do sistemas, em razão de sua dependência da internet, e de possíveis problemas de interferência [26].

No entanto, isso não quer dizer que a IoT não tem chance nessa área de mercado, ao contrário, de acordo com [27] muitos apoiadores da tecnologia preveem que ela eventualmente irá introduzir conceitos revolucionários na área de automação residencial, ademais, a medida que essas tecnologias forem sendo aprimoradas as avaliações de investimento nessa área aumentarão. O potencial da IoT será demonstrado, no fim, por companhias dispostas a se arriscar e desenvolver produtos e serviços inovativos.

A pesquisa realizada em [27] apresenta uma lista sistemas IoT voltados para BAS e descreve suas vantagens e desvantagens. Trabalhos nessa área também podem ser encontrados em [28], [29], [30], [31], [32], [33], [13], [34] e [35].

### 2.3.2 Protocolos de Comunicação IoT

As tecnologias IoT apresentam protocolos que têm por finalidade oferecer um modo de habilitar a troca de dados para clientes e servidores, sendo essas, conexões de arquitetura cliente/servidor ou cliente/cliente [36]. A lista a seguir descreve alguns desses protocolos mais usados:

- **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport Protocol)**. É um protocolo de mensagens de padrão Publicador/Assinante, *Publisher/Subscriber* (Pub/Sub), perfeito para comunicações Máquina-Máquina, *Machine-to-Machine* (M2M),

em contextos IoT, devido a sua fácil implementação e leveza. Clientes MQTT publicam mensagens a um endereço, conhecido como Tópico, sendo possível para eles, assinar a múltiplos tópicos e obter todas as mensagens publicadas à cada um. Essas mensagens são enviadas a um MQTT *broker*, ou servidor, via *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP), e possui três níveis de Qualidade de Serviço, *Quality of Service* (QoS), para a entrega de mensagens. O protocolo de segurança do MQTT é o *Secure Sockets Layer/Transport Layer Security* (SSL/TLS). Como consequência de sua simplicidade, o *Message Queuing Telemetry Transport Protocol* (MQTT) é mais conveniente à grandes redes, compostas de pequenos dispositivos controlados via um servidor online [37], [38].

- **CoAP (Constrained Application Protocol).** É um protocolo de arquitetura Solicitação/Resposta, *Request/Response* (Req/Res), que utiliza respostas tanto síncronas, quanto assíncronas, para comunicação entre dois pontos da rede, e foi projetado visando dispositivos e redes restritos. Foi criado para interfacear facilmente com o Protocolo de Transferência de Hipertexto (HTTP), usando, por exemplo, alguns de seus comando, enquanto vai de encontro às exigências de ambientes restritos, como simplicidade e suporte *multicast*. Diferentemente do MQTT, o *Constrained Application Protocol* (CoAP) se baseia em *User Datagram Protocol* (UDP), providenciando uma implementação mais leve, graças a sua menor demanda de largura de banda em relação ao TCP/IP. Este utiliza *Datagram Transport Layer Security* (DTLS) como protocolo de segurança [39], [40].
- **AMQP (Advanced Message Queuing Protocol).** É um protocolo de mensagens corporativas leve, que tem confiabilidade e interoperabilidade como suas características mais importantes. O protocolo suporta tanto o sistema de mensagens Pub/Sub, quanto o sistema Req/Res, além de oferecer uma vasta gama de atributos relativos à mensagens, como roteamento flexível, segurança, transações e publicação-assinatura baseada em tópicos. Similarmente ao MQTT, o *Advanced Message Queuing Protocol* (AMQP), comumente, usa TCP/IP como protocolo de

transporte e SSL/TLS para segurança, ele providencia, também, dois níveis de QoS, 'não confiável' e 'confiável'. Esse protocolo da camada de aplicação se apresenta como uma forte alternativa para o desenvolvimento de uma infraestrutura confiável e resistente, e têm sido amplamente usado pra comunicação dentro das organizações [37], [36].

- **XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol).** Trata-se de um protocolo antigo baseado em *Extensible Markup Language* (XML) que foi projetado para troca de mensagens e bate-papo, sendo amplamente usado na Internet. Utiliza TCP/IP para envio de mensagens e, assim como o AMQP, oferece as arquiteturas Pub/Sub e Req/Res, não oferecendo, no entanto, opções de QoS, tornando-o uma opção ruim para comunicações M2M. O uso de mensagens XML aumenta o consumo de energia como resultado da habilidade computacional adicional necessária à análise XML, porém, mostra vantagens por ser um protocolo bem estabelecido e aceito na internet quando confrontado com os protocolos relativamente novos [40].

<b>Protocolo</b>	<b>Arquitetura</b>	<b>Transporte</b>	<b>Segurança</b>	<b>QoS</b>
MQTT	Pub/Sub	TCP/IP	SSL/TLS	SIM
CoAP	Req/Res	UDP	DTLS	SIM
AMQP	Pub/Sub e Req/Res	TCP/IP	SSL/TLS	SIM
XMPP	Pub/Sub e Req/Res	TCP/IP	SSL/TLS	NÃO

Tabela 2.2: Protocolos de Comunicação IoT.

A tabela 2.2 sumariza algumas das características mais importantes dos protocolos descritos acima, dentre os quais, o MQTT foi o protocolo selecionado para o objeto de estudo dessa tese, tendo em vista que o programa utilizado para implementação das regras de controle, o Node RED, já possuía um nó referente a esse, semi configurado, tornando-o a escolha mais prática.

## 2.4 Inteligência Artificial

Edifícios Inteligentes requerem a integração de um grande número de dispositivos distribuídos, nos quais, cada um deles, pode apresentar diferentes objetivos e comportamentos, resultando em um sistema complexo que exige um método de controle automático robusto, tornando relevante abordagens mais automatizadas e que tenham capacidade de processar e tomar decisões em tempo real. As técnicas de IA, vêm sendo mais e mais utilizada nesse contexto, já que possuem capacidade de aprendizado, podendo identificar tendências e padrões a partir de dados obtidos, e extrair informações importantes que as levem a fazer previsões de estados futuros do sistema, além de ser capaz de identificar cenários anormais que podem causar mal funcionamento do mesmo [41]. Segundo Dounis [42], a inteligência pode ser considerada como o ato de lidar com ações racionais, ou seja, resolver problemas através de raciocínio lógico, portanto, com o uso de sistemas que combinam tecnologia e matemática, as IA são capazes de reproduzir esses aspectos e agir racionalmente.

Existem diversos tipos de tecnologias de IA sendo utilizados atualmente na área de domótica, como: Inteligência Computacional, *Computational Intelligence* (CI), usada para resolver problemas não lineares, e.g. *Fuzzy Logic* e Redes Neurais; *Machine Learning*, que está em grande crescimento atualmente; ou até Inteligência Artificial Distribuída, *Distributed Artificial Intelligence* (DAI), que concerne um sub-campo de IA direcionado à distribuição de conhecimento e ações em ambientes com múltiplos agentes, e.g. Sistemas Multiagente (SMA) [42].

As metodologias de CI procuram imitar a natureza na resolução de problemas, tentando incorporar conhecimento humano, manipular as imprecisões e incertezas, e aprendendo a adaptar-se [42]. Muitas dessas tecnologias são usadas para técnicas de *Machine Learning*, principalmente as Redes Neurais.

Redes Neurais Artificiais, *Artificial Neural Networks* (ANN), são técnicas computacionais de IA que apresentam um modelo matemático baseado nas redes neurais biológicas. O cérebro de um humano possui bilhões de neurônios responsáveis por produzir saídas

relativas a uma soma de variáveis de entradas, e uma rede neural pode ter centenas, ou até milhares, de unidade de processamento, no intuito de imitar esse comportamento. Essas unidades fazem cálculos apenas sobre os dados recebidos por ela, ou seja, recebidos por suas conexões à outras unidades, e, a partir dessa interação, a rede cria seu comportamento inteligente. Essa rede interconectada tem a capacidade de aprender as correlações entre as entradas e a saídas através de um processo iterativo chamado treinamento. Uma ANN bem treinada é capaz de estimar com precisão uma saída a partir de uma entrada que ainda não foi vista pela mesma. Redes Neurais Convolucionais, *Convolutional Neural Networks* (CNN), são tipos especiais de rede neural e são muito usadas em algoritmos de *Deep Learning*, já que elas possuem uma arquitetura em camada, onde cada camada aprende sobre características diferente do dado recebido, o que cria uma habilidade nessas redes de aprender padrões extremamente complexos [41].

De acordo com LeCun [43], por décadas, as técnicas convencionais de *Machine Learning* foram limitadas em sua habilidade de processar dados em sua forma crua, requerendo uma engenharia cuidadosa e precisa pra transformar esses dados em uma representação aquedada, de modo que o sistema pudesse detectar os padrões e aprende-los. No entanto, o advento das técnicas de *Deep Learning* renovou o campo da IA por introduzir algoritmos capazes de lidar com dados complexos, o que vêm revolucionando diversas áreas, como reconhecimento de fala, visão computacional, e inclusive a área de domótica [41]. O *Deep Learning* abrange modelos computacionais compostos de múltiplas camadas de processamento e utiliza a aprendizagem de representação, o que vence as falhas do seu predecessor, ao permitir à maquina descobrir automaticamente as representações necessárias a detecção e classificação, além de usar algoritmos de *backpropagation* de modo a ajustar os parâmetros de aprendizagem e diminuir os erros imbuídos nele. Muitas aplicações de *Deep Learning* utilizam *Feedforward* ANNs atualmente, o que ajuda a acelerar o progresso dessa tecnologia no mercado, além do fato dela requerer pouca engenharia manual já que é capaz de se aproveitar facilmente do aumento da quantidade de dados e cálculos disponíveis [43].

A computação centralizada têm mostrado capacidades limitadas quando comparada

com sistemas distribuídos de larga escala [44], e, por isso, um processo de tomada de decisão semi-centralizado ou descentralizado, como os Sistemas Multiagente (SMA), é visto como uma solução promissora para essas aplicações [45]. Eles são responsáveis pela implementação de nós de controle que agem a um mesmo nível, ou seja, sem um controle central comandando a performance do sistema.

Agentes são sistemas computacionais, envolvendo tanto hardware quanto software, que tem por característica a flexibilidade, a auto-reconfiguração, e ações autônomas na busca dos seus objetivos. Em outras palavras, eles são entidades resolvidoras de problemas, com percepção e controle sobre o ambiente em que estão situados, projetados para atingir um objetivo específico, autonomamente, através de um comportamento flexível, que permite a eles, não somente responder rápido a mudanças no ambiente, como também tomar a iniciativa de adotar objetivos diferentes [46]. O modelo baseado em agentes compreende três tipos diferentes deles: usuários; sensores; e atuadores. O número de agentes pode variar de acordo com a preferência dos usuários, e suas interações ocorrem através da troca de serviços mútuos, a fim de alcançar um conjunto de condições definidos pelo mesmo, que se comunica com o agente via uma Interface Homem-Máquina (IHM).

A percepção do cenário em que cada agente está inserido, é alcançada através da comunicação entre os agentes distribuídos, na qual, cada um contribui com suas respectivas habilidades e conhecimentos. Agentes também possuem uma biblioteca de comportamentos (i.e. *yellow pages service*) que armazena cenários previamente gravados, permitindo a eles localizarem Regiões de Interesse, *Regions of Interest* (RoIs) [45]. Isto é, quando um usuário deseja modificar algum parâmetro no edifício, seu objetivo é comunicado através do agente usuário, que, por sua vez, procurará por um agente atuador disponível através de uma busca na biblioteca. Uma vez que o agente de usuário informa ao agente atuador das intenções do usuário, ele envia uma mensagem ao agente sensor requisitando informações sobre o parâmetro em questão, processa a informação recebida, e age de modo a produzir uma mudança no ambiente que vá de encontro aos desejos do agente usuário, e, portanto, dos ocupantes do local.

Trabalhos na área de IA, direcionados a aplicações no domínio da automação residencial, podem ser vistos: utilizando algoritmos baseados em *Fuzzy Logic* em [6], [47], [48] e [49]; na área de Redes Neurais em [50]; nas áreas de *Deep Learning* e *Machine Learning* em [51] e [52]; e na área de SMA em [44], [45], [53], [54] e [55]. A utilização de SMA em domótica, pode ser vista também em [56].

## 2.5 Conclusão

A análise realizada nesse capítulo aborda as características de um sistema de automação residencial e suas tecnologias. Posteriormente, apresentou-se argumentos com relação ao uso da IoT nesses sistemas, que se prova promissor ao ser capaz de resolver os problemas de interoperabilidade e interconexão trazidos pelas arquiteturas padrão de BAS, e por isso foram apresentadas também algumas tecnologias IoT que se mostram favoráveis à essa área.



# Capítulo 3

## Implementação do Sistema de Automação Residencial

Este capítulo aborda a implementação de um sistema de automação residencial, capaz de controlar o nível de iluminação de uma sala através do uso de cortinas e lâmpadas dimerizáveis. Será descrito, então, o caso de estudo em questão e as etapas de elaboração da lógica de controle.

### 3.1 Descrição do Caso de Estudo

O objetivo principal desse trabalho é controlar o nível de iluminação de uma sala de acordo com a preferência dos usuários, aumentando assim seu conforto. Para isso, é necessária a implementação de uma lógica de controle, o uso de uma arquitetura capaz de se comunicar com os dispositivos inteligentes, e interfaces para o cliente poder transmitir seus objetivos à lógica. A escolha foi de utilizar cortinas e lâmpadas como atuadores, e sensores de iluminação para a obtenção dos dados referentes aos níveis da mesma. Como previamente mencionado, a arquitetura estabelecida para a comunicação no caso de estudo, foi o KNX. O programa utilizado na implementação da lógica controle foi o aplicativo *open-source* Node RED, enquanto que, para a comunicação entre o mesmo e o usuário, optou-se pelo uso do protocolo MQTT. Além disso, foi utilizada uma conexão a um site meteorológico

de modo a obter dados do ambiente externo, e uma IHM foi desenvolvida para o usuário ser capaz de acompanhar, e realizar, modificações na sala. A arquitetura do projeto está melhor exemplificada na Figura 3.1.

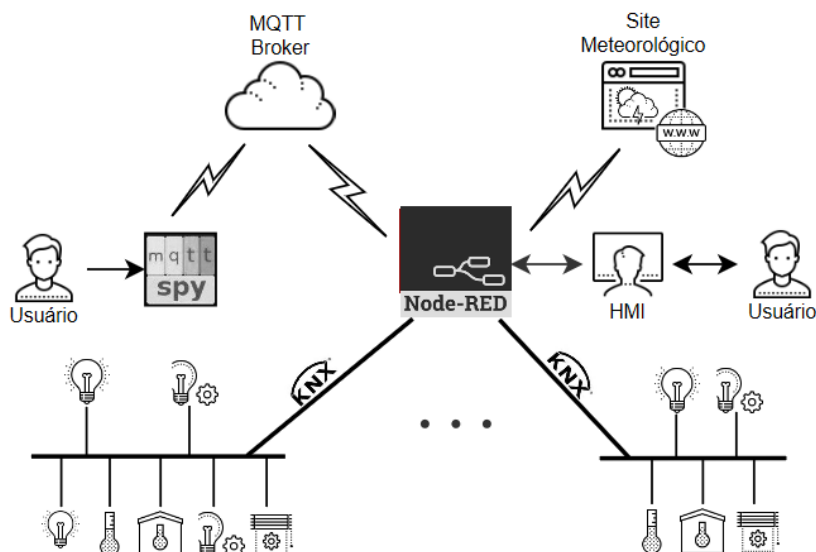


Figura 3.1: Arquitetura de Projeto.

A implementação do sistema é iniciada pela a instalação dos sensores e atuadores desejados nos locais escolhidos. A princípio, o controle de iluminação se daria na sala do Laboratório de Inovação e Investigação (L2I) do IPB, no entanto, devido ao fato das tecnologias necessárias para a implementação desse cenário não estarem disponíveis, optou-se pela utilização de um quadro de domótica, desenvolvido no IPB para aulas na instituição. O quadro, que pode ser visto na Figura 3.2, é composto por vários dispositivos, sendo os mais relevantes ao caso de estudo, os seguintes:

- 4 lâmpadas;
- 4 sensores de temperatura;
- 1 motor de cortina;
- 1 sensor de iluminação;
- Módulos KNX.

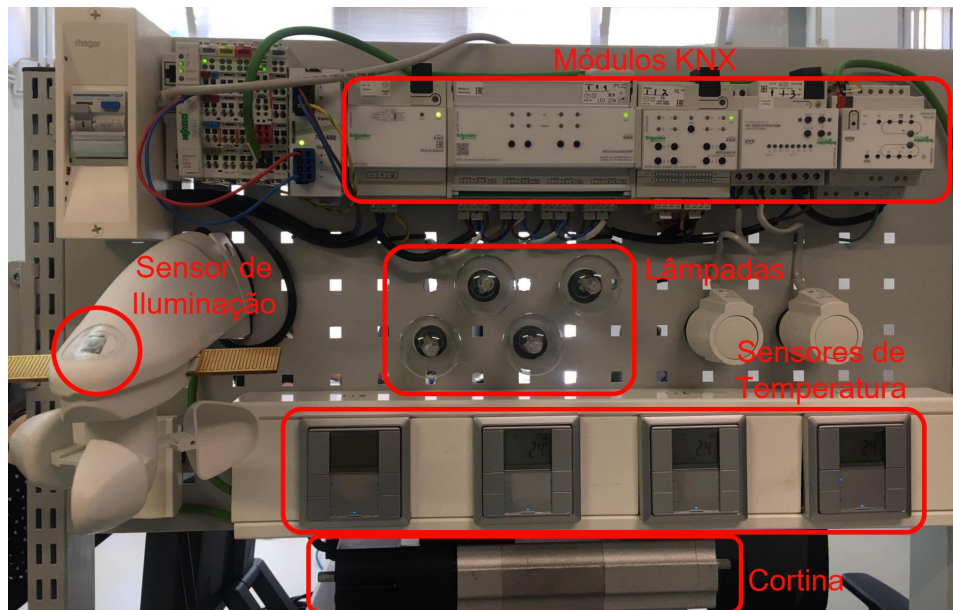


Figura 3.2: Quadro de Domótica.

Os módulos KNX, nesse quadro, já estão conectados aos dispositivos necessários para o controle, portanto, posteriormente, é feita a implementação da lógica de controle no Aplicativo Node RED, configurando-se também as conexões MQTT, a IHM, e a conexão com a Web.

## 3.2 Implementação da Aplicação em Node RED

De acordo com o site oficial do aplicativo [57], o Node RED é uma ferramenta utilizada para conectar dispositivos, *Application Programming Interfaces* (APIs), e serviços online, de modo simples e dinâmico. Ele é baseado na plataforma Node.js e dispõe de um editor em forma de navegador, que proporciona um espaço de fácil utilização para a composição dos fluxos de programa, ou *flows*. Esses *flows* são compostos por uma gama de nós, que possuem funções variadas, e podem ser fornecidos por padrão do Node RED, ou implementados por usuários do mesmo. O aplicativo, fornece, também, editores de texto que possibilitam a criação de funções JavaScript.

Com o objetivo de melhor explorar as capacidades do aplicativo, optou-se pela criação

de lógicas de controle para duas salas diferentes. Devido ao fato de haver apenas 1 quadro de domótica, tomou-se a decisão de implementar, em uma das salas, uma lógica de KNX virtual. A sala denominada LCAR utiliza essa lógica, enquanto a sala denominada de L2I se comunica diretamente com os módulos KNX do quadro. Além disso, de modo a avaliar a flexibilidade do programa, foi optado por utilizar, na sala LCAR, 2 sensores de iluminação e 2 lâmpadas, enquanto, na sala L2I, se utilizará apenas 1 sensor e 1 lâmpada.

O projeto da lógica de controle do BAS começa com a criação de um *flow* principal no Node RED, denominado *Main Flow*, que pode ser visto na Figura 3.3. Dentro desse *flow*, se encontram diversos nós, responsáveis por executar funções específicas dentro do programa, dentre esses, nós conhecidos como *subflows*, que tratam-se de páginas de editor distintas, que englobam um fluxo de nós diferentes.

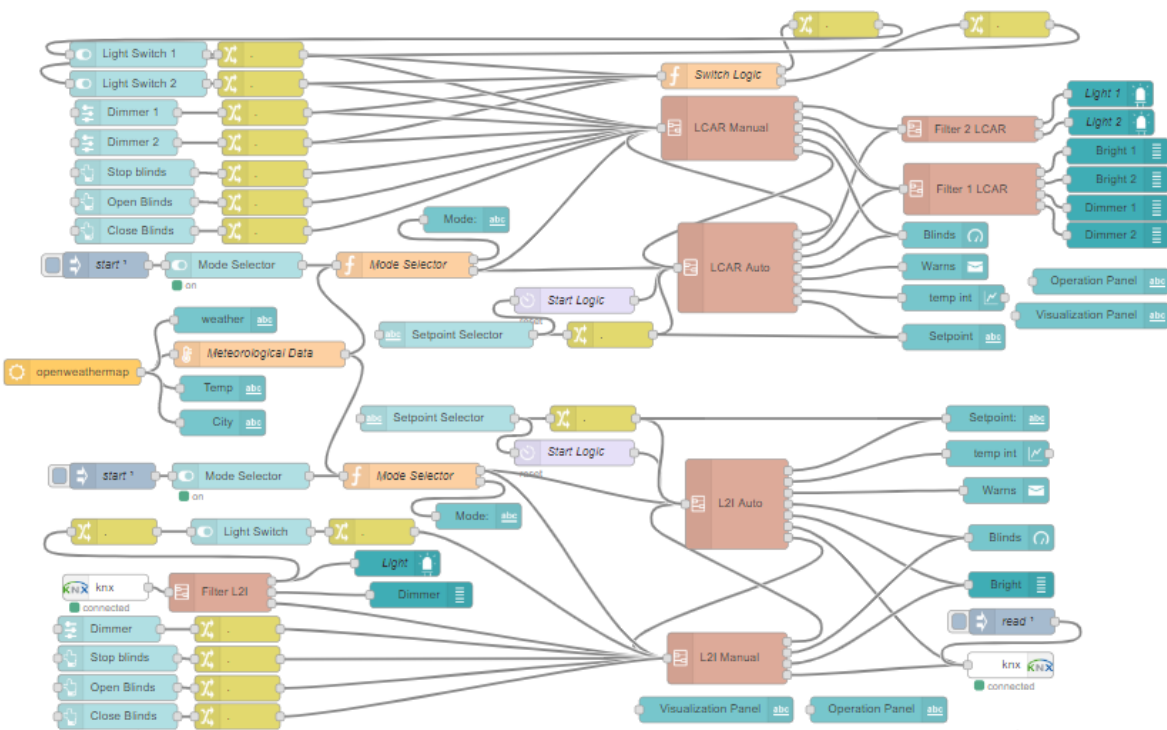


Figura 3.3: *Main Flow*.

Para entender a lógica do projeto, é necessário compreender o que os nós representam dentro do *flow*, as cores de cada um deles diferenciam as funções que eles executam, sendo:

- **Nós de cor azul:** Realizam a função gráfica do programa e são responsáveis pelo

painel de visualização, ou seja, a Interface Homem-Máquina (IHM).

- **Nós de cor amarela:** Responsáveis por funções de gerenciamento de mensagens, sendo capazes de filtrar, modificar, tanto o conteúdo, quanto o tipo da mensagem, de forma a tornar mais simples a troca das mesmas entre os nós.
- **Nós de cor branca:** Tratam-se dos nós de KNX. São nós que não são fornecidos por padrão pelo Node RED, sendo necessário baixá-los separadamente, e são responsáveis pela comunicação com o módulo KNX, podendo tanto enviar comandos de leitura de dados quanto de escrita.
- **Nós de cor salmão:** Denominados nós de função, tratam-se de editores de texto em JavaScript que possibilitam ao programador programá-los, de modo a executarem as funções desejadas.
- **Nó de cor laranja:** Nó responsável pela comunicação com um site meteorológico para a obtenção de dados de uma cidade específica.
- **Nós de cor rosa:** Correspondem aos *subflows*.

### 3.2.1 Nós de KNX

Para que seja possível compreender o modo, pela qual o programa responsável pela lógica de controle, os sensores e os atuadores se comunicam, é necessário entender que tipo de mensagens são trocadas entre os mesmos. O programa Node RED possui nós responsáveis pela comunicação entre o programa e o módulo KNX (Figura 3.4), e esses são utilizados de modo a obter ou enviar mensagens ao mesmo. Os nós são configurados com o endereço de IP do módulo, e as mensagens trocadas estão em formato *JavaScript Object Notation* (JSON). Essas mensagens podem ser configuradas como modo 'leitura' ou 'escrita', onde a primeira apenas solicita o status de um dispositivo específico, enquanto a segunda o modifica. O conteúdo dos telegramas está apresentado na Figura 3.5 e seus elementos descritos abaixo:



Figura 3.4: Nó de KNX.

- **dstgad:** Trata-se do *Group Adress*, que representa o endereço do dispositivo destino da mensagem (e.g. "1/2/3").
- **value:** Referente ao valor que é desejado obter no dispositivo destino. Só é relevante nos casos de escrita de telegrama (e.g. "1").
- **dpt:** Tipo de *datapoint*, que trata-se de um valor padronizado que define o tipo de dado, de modo que o dispositivo seja capaz de compreender o valor lido (e.g. "1").

```
knx:event : msg.payload : Object
  ▼ object
    dstgad: "0/0/13"
    dpt: "no_dpt"
    value: "255"
```

Figura 3.5: Mensagem recebido pelo Node RED advinda de um nó de KNX.

A lista de *datapoints* pode ser encontrada no site oficial da KNX Association [17], já, o modo como eles serão conferidos a cada dispositivo na rede, e como se dará a atribuição dos endereços de grupos, dependerá da configuração de instalação do sistema. As informações referentes ao sistema utilizado foram obtidas através de um arquivo, disponível no Apêndice B, criado após a sua instalação, onde parte de seus dados pode ser visto na Figura 3.6. Na imagem, é possível observar, em destaque, as informações de *datapoint* e *group adress* configurados para uma das lâmpadas do quadro de domótica. Tanto as mensagens recebidas quanto as enviadas seguem o mesmo padrão, e, após as definições dos conteúdos desejados, elas tomarão a seguinte forma: {"dstgad": "1/2/3", "value": "1", "dpt": "1"}.

Group Addresses Detail <a href="#">kit_knx_projeto</a>							
Main group	Name	Description	Comment	F (Passthrough Line Coupler)			
Middle group	Name	Type	Description	Comment	C (Central) / P (*)		
Group Address	Name	Type	Description	Comment			
0	LCAR						
0/0	Sala Aula						
0/0/1	Iluminação On Off	1 Bit					
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
<input type="checkbox"/> 01.00.001	IP-Controller	Functionblock type: DPT_Bool	Quadro Domótica	KNX_PRG.sala_aula_iluminacao	boolean	0/0/1S	Low C-WTU-
<input type="checkbox"/> 01.01.001	KNX uni.dim.actuat.LL REG-K/4x230/250 W Channel 4, general		Switch object		0/0/1S 0/2/9	Low	C-W--
<input type="checkbox"/> 01.01.005	Push-button, 2-gang plus, room temp. control		Sala Aulas LCAR		0/0/1S	Low	C-WT-

Figura 3.6: Arquivo de configuração do sistema domótico.

### 3.2.2 Nó de Meteorologia

O nó de meteorologia, em destaque na Figura 3.7, é responsável pela obtenção de dados meteorológicos atuais, do local desejado. Através do uso de uma chave API, obtida ao criar uma conta de usuário no site OpenWeatherMap [58], em conjunto com as definições da cidade e país desejados, o nó se comunica com a internet, acessando a *Uniform Resource Locator* (URL) referente ao local escolhido e retorna as informações pretendidas. Essas informações carregam diversos elementos que podem ser vistos na Figura 3.8, sendo os mais importantes os listados abaixo:

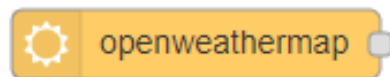


Figura 3.7: Nó de Meteorologia.

- **Descrição:** Fornece uma breve descrição verbal do tempo no momento da solicitação;
- **Clima:** Breve descrição do clima atual, e.g. Ensolarado;
- **Temperatura C:** Temperatura do local em graus Celsius.
- **Localização:** Nome do local referente ao qual os dados foram obtidos;

```
msg: Object
  object
    payload: object
      weather: "Rain"
      detail: "light rain"
      icon: "10d"
      tempk: 293.211
      tempc: 20
      temp_maxc: 20
      temp_minc: 20
      humidity: 82
      pressure: 1011.5
      maxtemp: 293.211
      mintemp: 293.211
      windspeed: 4.27
      winddirection: 219.842
      location: "Braganca"
      sunrise: 1565242058
      sunset: 1565293073
      clouds: 100
      location: object
        lon: -6.76
        lat: 41.81
        city: "Braganca"
        country: "PT"
      data: object
        time: "2019-08-08T15:42:35.000Z"
        title: "Current Weather Information"
        description: "Current weather information at coordinates: 41.81, -6.76"
        _msgid: "87c15444.7511d8"
```

Figura 3.8: Mensagem recebida pelo Node RED através do Nó de Meterologia.

- **Nascer do Sol:** Horário do nascer do sol no dia em questão;
- **Pôr do Sol:** Horário do pôr do sol no dia em questão;
- **Hora:** Horário em que os dados foram recebidos.

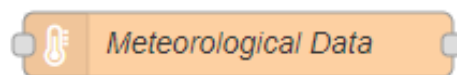


Figura 3.9: Nó de função *Meteorological Data*.

Muitas outros elementos são fornecidos pelo nó, não sendo, no entanto, relevantes para esse caso de estudo. A quantidade de informação recebida torna necessária uma lógica que seja capaz de as filtrar, obtendo somente as relevantes para as regras de controle. A função *Meteorological Data* (Figura 3.9) é a responsável por realizar esse filtro.

Os horários de nascer e pôr do sol são utilizados para ter conhecimento sobre a presença de iluminação natural, ou seja, se está dia ou noite. A temperatura exterior é utilizada nas regras da lógica de controle, que serão apresentadas posteriormente nesse capítulo. Já o clima do local indica a quantidade de iluminação natural máxima alcançada no dia, e é

utilizada no cálculo que obtém a iluminação máxima, alcançada em dois pontos diferentes dentro de uma sala, em função do horário atual.

A utilização dessas equações tornou-se necessária devido ao fato do experimento não ocorrer em uma situação real, dado que não há sensores de iluminação instalado no laboratório L2I. Com o objetivo de alcançar uma situação o mais próxima da realidade, com a simulação, quanto possível, os gráficos de variação de iluminação em função tanto das horas do dia, quanto da época do ano, foram obtidos através de [59], e os parâmetros escolhidos, por mais se aproximarem ao caso da sala L2I, foram:

- Modelo de sala 2:1;
- Altas refletâncias (sala branca);
- Solstício de Inverno para dias nublados;
- Equinócio para dias ensolarados;
- Programa Energy Plus;
- Sensor 1 a uma distância de 1,25 metros da janela;
- Sensor 2 a uma distância de 3,75 metros da janela;

Após a definição dos gráficos que melhor se adequam a cada situação em questão, os dados dos mesmos foram transferidos ao programa MS Excel para a obtenção de curvas aproximadas, que podem ser vistas na Figura 3.10, e de suas equações equivalentes, posteriormente implementadas no nó *Meteorological Data*. O cálculo da duração de sol, em porcentagem, foi realizado considerando o valor de 0% como o horário de nascer do sol, e o valor de 100% como o horário de pôr do sol. Ao final de tudo, a função envia todos os dados mencionados aos nós aos quais está conectada.

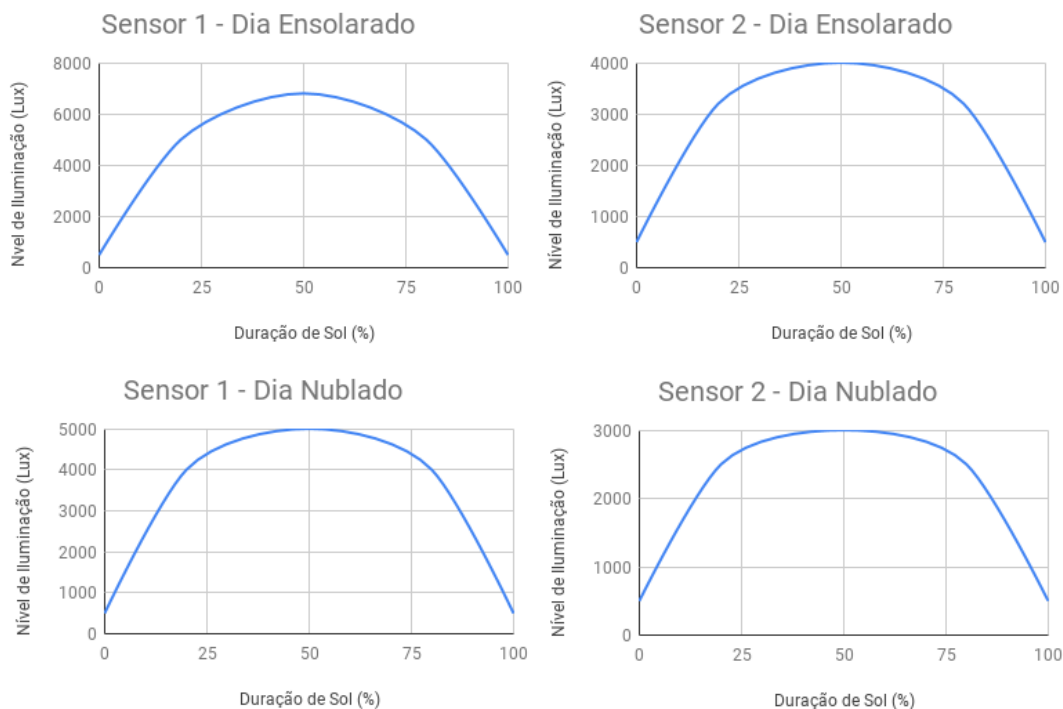


Figura 3.10: Gráficos de Iluminação.

### 3.2.3 Nó Seletor de Modo

No intuito de proporcionar um maior controle dos parâmetros do ambiente, por parte dos usuários, foi optado por viabilizar, aos mesmos, dois modos de controle, **Automático** e **Manual**.

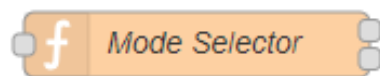


Figura 3.11: Nó Seletor de Modo.

O modo manual permite ao utilizador ajustar o nível de iluminação do local manualmente, utilizando os dispositivos desejados pelo mesmo. Isso quer dizer que o usuário tem a possibilidade de alterar o nível de abertura das cortinas e *dimmer* das luzes, à sua preferência, através da Interface Homem-Máquina (IHM) que será demonstrada posteriormente nesse capítulo.

Com relação ao modo automático, a responsabilidade de tomar as decisões, relacionadas aos status dos dispositivos, fica a cargo do programa, contrariamente ao modo manual. Essas decisões ocorrem de acordo com as regras pré configuradas no nó de controle, que serão apresentadas com mais detalhes na Subseção '**Nó de Controle**'. Desta forma, o usuário necessita informar ao programa apenas o nível de iluminação desejado (*setpoint*), deixando o programa encarregado de avaliar a regra que melhor se enquadra na situação atual do ambiente, e executar os comandos referentes, de modo a alcançar o nível pretendido.

O nó seletor de modo, ou *Mode Selector*, foi criado com o objetivo de realizar o direcionamento das informações advindas da função meteorológica ao *subflow* correto, de acordo com o modo escolhido.

### 3.2.4 Subflows

Como previamente mencionado, dentro de cada *subflow* há uma nova cadeia de nós responsáveis por executar uma dada função. No *flow* principal existem 7 *subflows* em uso (Figura 3.12), sendo 4 deles os responsáveis pela execução da lógica principal de controle de iluminação, o *subflow* 'L2I Manual', o 'L2I Auto', o 'LCAR Auto', e o 'LCAR Manual'. Os outros três tratam-se de *subflows* responsáveis por desempenhar papéis parecidos com os vistos nos nós em amarelo, ou seja, facilitar a troca de mensagem entre nós mais importantes através da manipulação das mesmas. Eles foram criados no intuito de descongestionar o *flow* principal e podem ser vistos na Figura 3.13, sendo a letra 'A' correspondente ao *subflow* denominado 'Filter 1 LCAR', a letra 'B' ao *subflow* 'Filter 2 LCAR', e a letra 'C' ao *subflow* 'Filter L2I'.

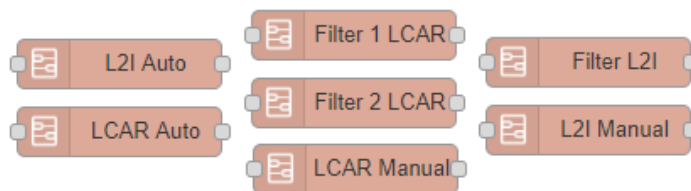


Figura 3.12: Nós de *Subflow*.

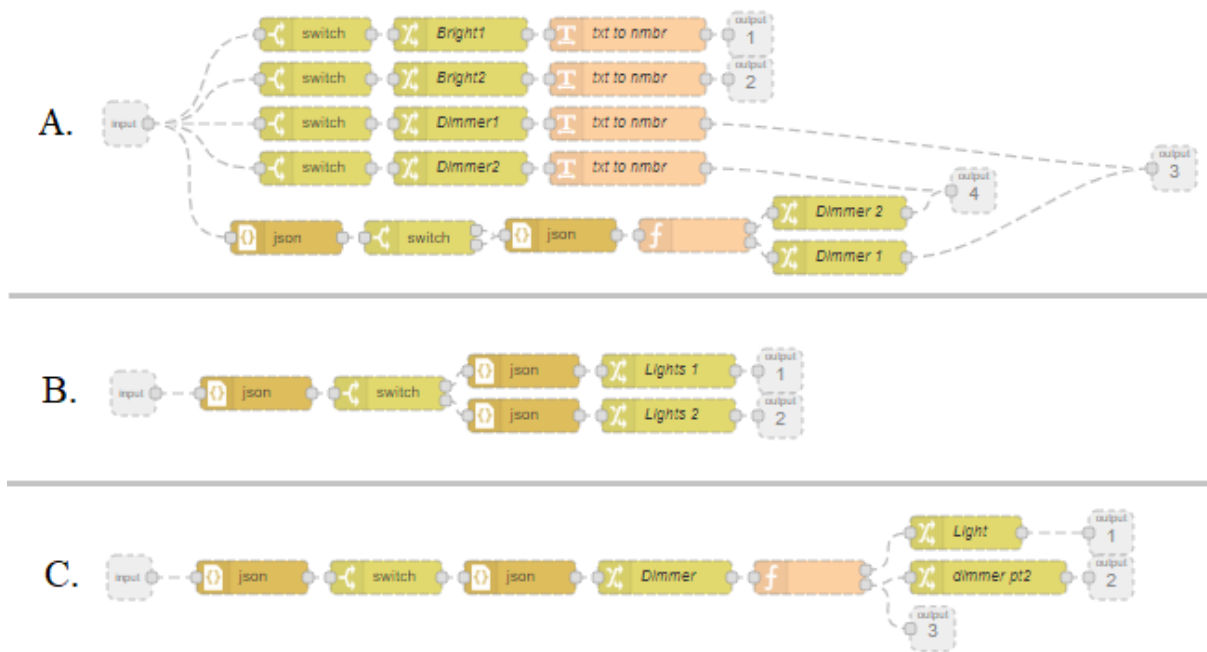


Figura 3.13: *Subflows Filter 1 LCAR (A), Filter 2 LCAR (B), e Filter L2I (C).*

Os *inputs* e *outputs* de cada *subflow* representam as portas com as quais eles podem se conectar ao *flow* principal e seus nós. Como mencionado anteriormente, o programa fornece aos usuários as opções de controle manual e automático. Os *subflows* 'L2I manual' e 'LCAR manual', em destaque na Figura 3.14 possuem uma função denominada *Manual Logic* que é responsável por receber os comandos impostos pelo usuário, e.g liga/desliga luz, analisá-los, e enviar os status correspondentes aos nós de *dashboard*, de modo a executar esses comandos na IHM. No caso da sala L2I, os comandos são enviados também, ao nó de KNX, para visualização no quadro de domótica.

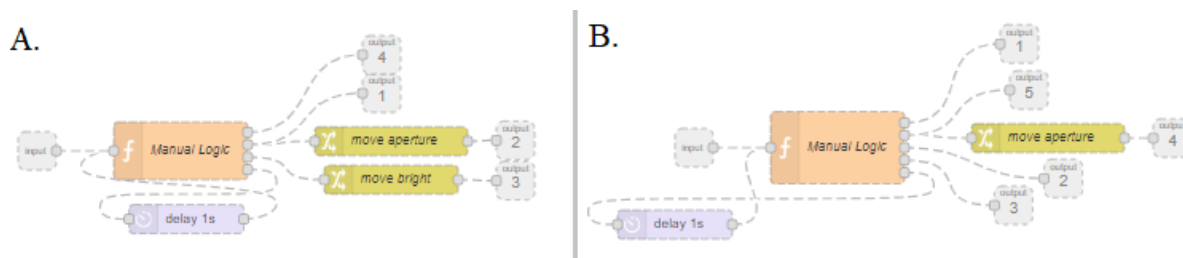


Figura 3.14: *Subflows L2I Manual (A) e LCAR Manual (B).*

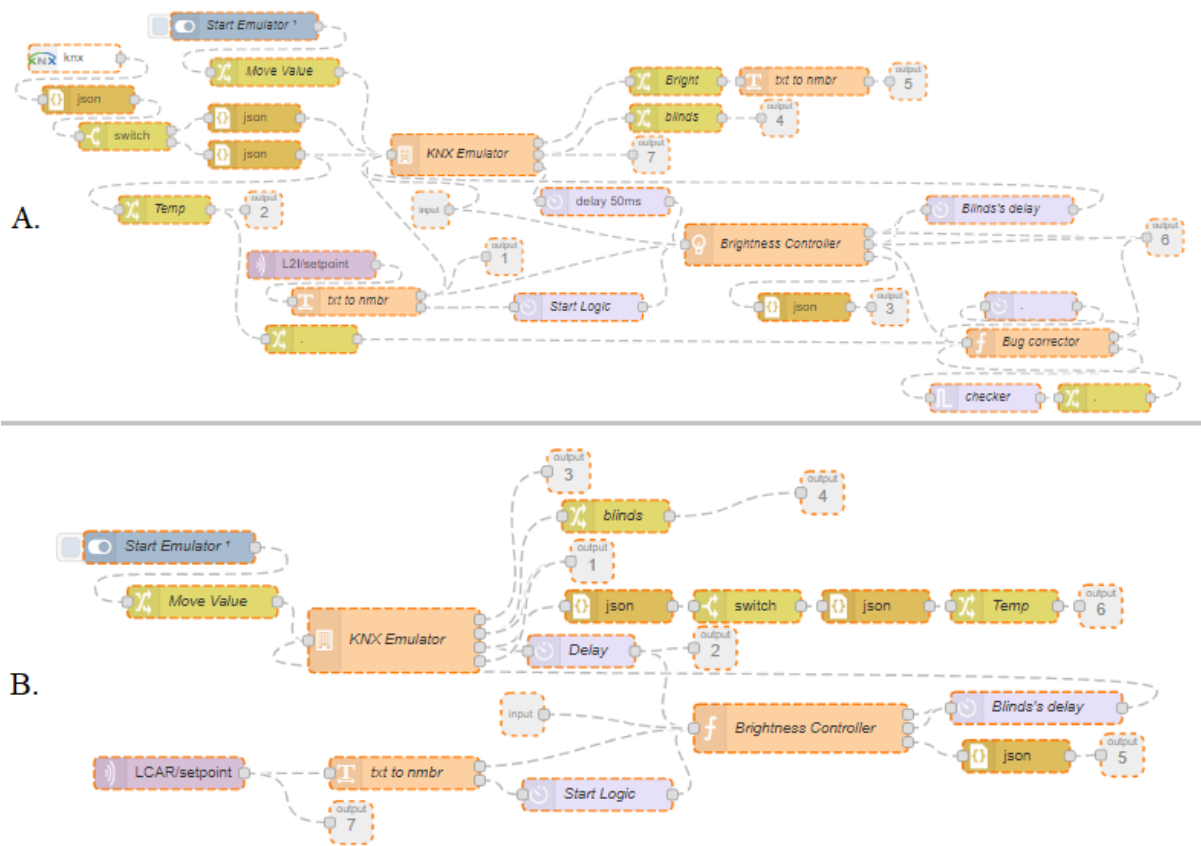


Figura 3.15: *Subflows* L2I Auto (A) e LCAR Auto (B).

As lógicas de controle se dividem em dois blocos principais, os *subflows* 'L2I Auto' e 'LCAR Auto', representados na Figura 3.15, sendo cada um correspondente a uma sala diferente, L2I e LCAR, respectivamente. Juntos, esses *subflows* podem ser considerados os mais importantes do programa, tendo em vista que ambos possuem o nó responsável pela lógica principal de controle de iluminação. Considerando a natureza dos testes, e o fato de não ocorrerem em uma sala real, tornou-se necessário, além do programa de lógica de controle, o desenvolvimento de um simulador de iluminação, que será explicado posteriormente nesse capítulo, e que na Figura 3.15, está representado como *KNX Emulator*. A cadeia de comandos desses *subflows* funciona do seguinte modo:

- O usuário envia o *setpoint* desejado via MQTT, ou através da IHM.
- O programa que possui a lógica principal, representado neste caso como *Brightness Controller*, solicita ao emulador, os status dos dispositivos utilizados.
- O emulador, por sua vez, envia esses status de volta ao nó de controle.
- O controlador então, em posse das informações solicitadas, busca, dentre suas regras, a que melhor se encaixa à situação em questão, enviando o comando correspondente à IHM e/ou ao KNX.

### 3.2.5 Nó de MQTT

Como mencionado no Capítulo 2, a comunicação por MQTT ocorre através de uma arquitetura cliente/servidor seguindo um padrão publicador/assinante. Tanto o publicador, quanto o assinante, são considerados clientes MQTT, sendo a diferença entre eles relacionada a quem está publicando a mensagem (publicador), e quem a está recebendo (assinante). O servidor, por sua vez, pode ser apontado como a alma desse tipo de protocolo, já que é responsável por receber, filtrar, e determinar quem deve receber cada mensagem, para posteriormente enviá-las. Para o estudo de caso em questão, um MQTT *broker*, configurado em Raspberry Pi, atua como o servidor, já o Node RED e o usuário atuam como clientes, sendo eles, respectivamente, assinante e publicador.

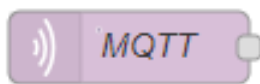


Figura 3.16: Nó de MQTT.

Para que o usuário tenha a possibilidade de enviar mensagens ao *broker*, é fundamental a utilização de um aplicativo que permita essa comunicação. O aplicativo escolhido, e utilizado neste desenvolvimento, é chamado MQTT Spy. Pertencente à organização *Eclipse Foundation*, trata-se de uma ferramenta *open-source* baseada em Java, que, de acordo com o site do mesmo [60], foi criada com o objetivo de ajudar a monitorar atividades em tópicos MQTT e possui a capacidade de lidar com grandes volumes de mensagens.

A screenshot of the MQTT Spy application's configuration window. The window has a title bar and several tabs: 'Connectivity' (selected), 'Security', 'Last Will', 'Publications', 'Subscriptions', 'Log', and 'Other'. Under the 'Connectivity' tab, there are several fields and controls: 'Connection name' with a text box containing 'Carol021294@10.20.38.33:12345' and a small note '[auto-generated if = client ID@server URI]'; 'Configuration mode (perspective)' with a dropdown menu set to 'Default - simplified properties'; 'Protocol version' with a dropdown menu set to 'MQTT (auto-resolve)'; 'Server URI(s)' with a text box containing '10.20.38.33:12345' and a dropdown menu set to 'Default', with a small note '[e.g. localhost or mybroker:1883]'; 'Client ID' with a text box containing 'Carol021294' and a 'Generate' button, with a small note '[keep it unique to avoid disconnections]' and 'Length = 11/23'; 'Clean session' with a checked checkbox; and 'Reconnect on failure' with an unchecked checkbox. At the bottom, there are three buttons: 'Apply' (with a green checkmark), 'Undo' (with a yellow arrow), and 'Open connection' (with a yellow lightning bolt).

Figura 3.17: Configuração de conexões MQTT no aplicativo MQTT Spy.

Para que a comunicação se estabeleça de modo correto entre o Node RED e o MQTT Spy, é necessário que ambos estejam configurados com os mesmos parâmetros. Esses parâmetros tratam-se principalmente do endereço de IP do *broker*, ao qual deseja conectar-se, e o tópico MQTT, que atua como uma espécie de pasta ou arquivo que permite aos clientes compartilharem informação. Tanto o nó responsável pela comunicação MQTT (Figura 3.16) no Node RED, quanto o aplicativo MQTT Spy, exigem configurações relativas ao *broker* que será utilizado, como podem ser vistas, respectivamente, nas Figuras 3.17 e

3.18.

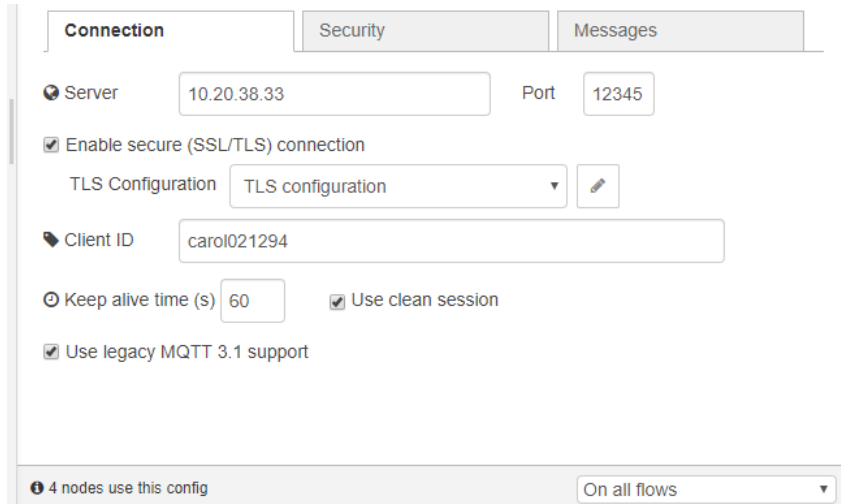


Figura 3.18: Configuração de conexões MQTT no aplicativo Node RED.

No que concerne ao tópico MQTT, sua configuração é feita pelo assinante, nesse caso, o Node RED. Esse tópico é escolhido de acordo com a preferência do programador, e, para que o assinante possa receber as mensagens enviadas pelo publicador, este último precisa endereça-las por esse mesmo tópico. A Figura 3.19, mostra, em destaque, a configuração de tópico feita no Node RED, enquanto a Figura 3.20, mostra como o telegrama, a ser enviado ao mesmo, é configurado no MQTT Spy.

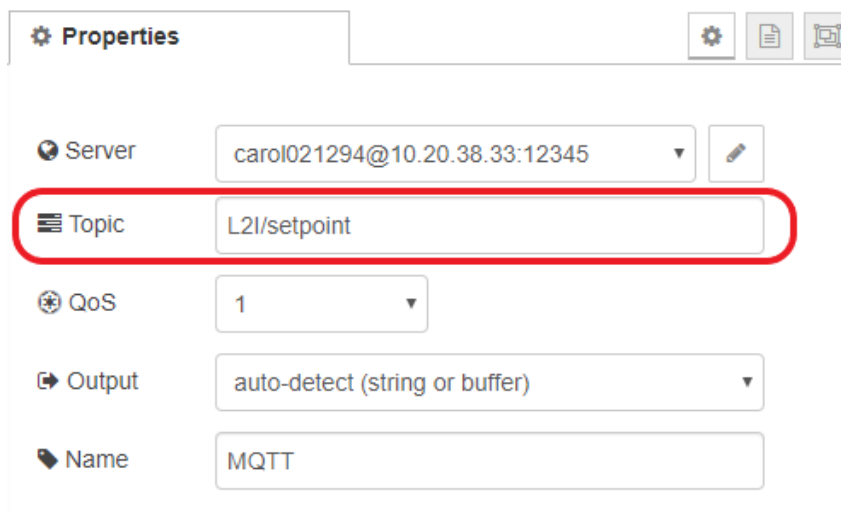


Figura 3.19: Configuração de tópico MQTT no aplicativo Node RED.

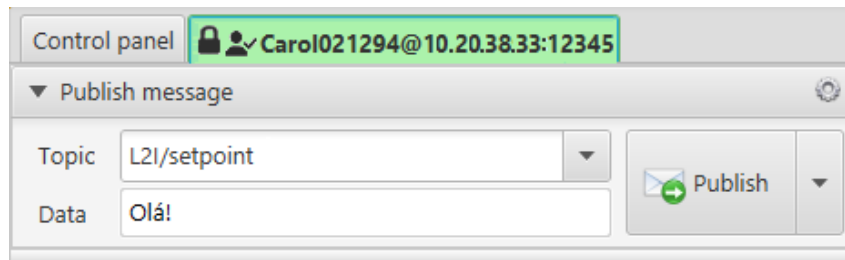


Figura 3.20: Tela de envio de mensagens no aplicativo MQTT Spy.

### 3.2.6 Nó de Emulador

Como mencionado anteriormente, o nó denominado *KNX Emulador* (Figura 3.21), é responsável por executar uma lógica que simula a variação do nível de iluminação de uma sala, de acordo com o nível de abertura da cortina.

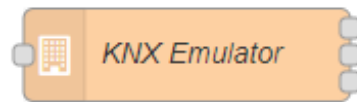


Figura 3.21: Nó de Emulador.

Essa lógica é realizada a partir da obtenção dos valores máximo e mínimo de iluminação alcançáveis àquela hora do dia, advindos do nó de função meteorológica, e do valor do nível de abertura da cortina. A relação entre esses valores pode ser observada através da Figura 3.22, que mostra o comportamento do nível de iluminação de uma sala, de acordo com a porcentagem de abertura da cortina. **L<sub>máx</sub>** representa o valor máximo de iluminação que pode penetrar no ambiente através de uma janela descoberta, já **L<sub>mín</sub>** retrata o menor valor de iluminação que pode ser alcançado numa sala com janelas completamente cobertas. A partir desse gráfico, foram obtidas as equações de iluminação a serem implementadas no código do nó. A velocidade com a qual a cortina abre e fecha é controlada pelo um nó de *delay* localizado entre o nó de emulador e o nó de controle. A obtenção dos valores de iluminação ocorrem do seguinte modo:

- Por padrão, o valor de abertura é iniciado como zero, ou seja, cortina completamente fechada, para os casos nos quais nenhum valor lhe for previamente atribuído;

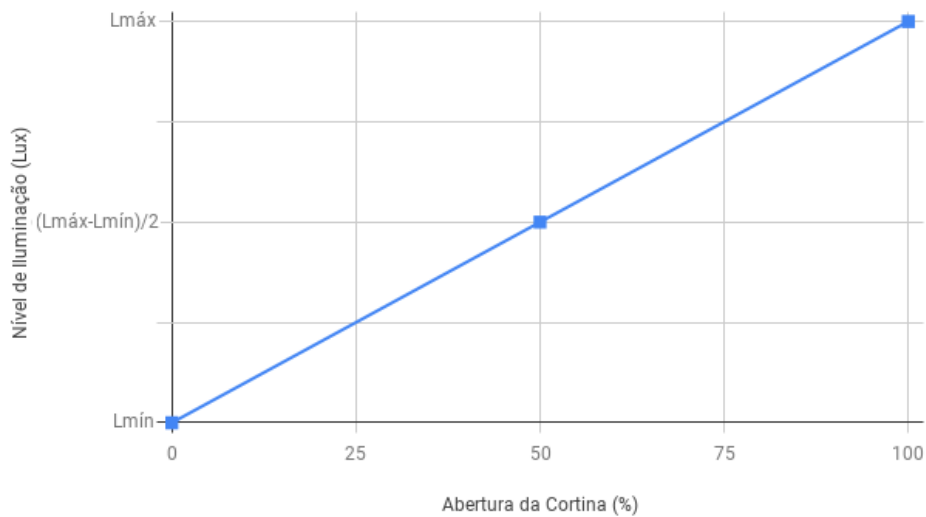


Figura 3.22: Variação do nível de iluminação em relação à abertura da cortina.

- Os valores de abertura são salvos em uma variável dentro do programa, e serão recorridos todas as vezes em que instruções de abertura ou fechamento de cortina chegarem até ele;
- Ao receber um comando de abertura ou fechamento de cortina, o programa obtém o valor salvo de abertura e os outros parâmetros necessários a equação de iluminação, calculando, assim, o próximo valor;
- O valor de abertura é então incrementado ou decrementado do valor de porcentagem pré definido, sendo, o do estudo de caso em questão, 1%;
- Os novos valores de iluminação e abertura são salvos então em suas respectivas variáveis.

A Figura 3.23 exibe um fragmento da lógica descrita. A variável **lux** corresponde ao nível de iluminação atual, **luxmax** e **luxmin** correspondem, respectivamente, aos valores **Lmáx** e **Lmín** da Figura 3.22, **step** diz respeito à porcentagem pré definida por iteração de abertura da cortina, e os valores **fim** e **inicio** estão relacionados aos sensores de início e de fim de curso.

```

if (valorcortina == "1") // Se comando for "fechar cortina"
{
  if(abertura>0) // Cortina semi ou totalmente aberta
  {
    abertura=abertura-step;
    lux=luxmin+(((luxmax-luxmin)*abertura)/100);
    fim=0;
    inicio=1;
  }
  if(abertura<=0) // Cortina completamente fechada
  {
    lux=luxmin;
    fim=1;
    inicio=1;
  }
}
// Salvando variáveis
context.set("z", fim);
context.set("w", inicio);
context.set("y", lux);
context.set("x", abertura);

```

Figura 3.23: Fragmento de código do nó *KNX Emulador* responsável pela simulação de cortina

Os sensores de início e fim de curso são de extrema importância para a lógica do emulador, levando em consideração que, em casos de aplicações reais, são eles quem indicam a posição das cortinas. Estes dividem a posição em três categorias, **aberta**, **semi-aberta** e **fechada**, como pode ser visto na Figura 3.24. O sensor quando *off* devolve um valor de '0' à lógica de controle, e quando *on*, devolve um valor de '1'. É possível obter mais categorias ao acrescentar mais sensores de percursos nas cortinas, caso seja da preferência do usuário, no entanto, esse dois sensores já se mostram suficientes para a implementação da lógica de controle.

O nó de emulador não tem por única função realizar a simulação de uma cortina, ele é encarregado, também, do envio dos status dos outros dispositivos utilizados no caso de estudo, e.g. valor de *dimmer*, ao nó de controle. Esse envio ocorre quando o emulador recebe mensagens de tópico 'leitura' do nó de controle, contudo, no que tange à obtenção do valor a ser devolvido, há algumas diferenças entre o código das duas salas:

- **Sala L2I:** Essa sala recebe informações dos dispositivos diretamente do módulo KNX. Essas informações são enviadas ao emulador, que, conseqüentemente, as salva

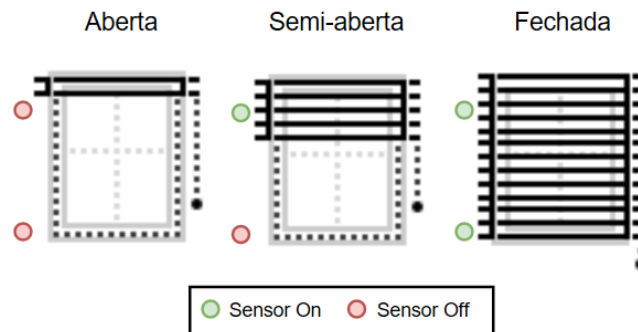


Figura 3.24: Modos de Cortina.

em variáveis designadas a elas.

- **Sala LCAR:** Essa sala, por outro lado, necessita de uma lógica que simule as informações que seriam advindas do KNX. O nó de emulador é responsável por essa simulação. Quando o nó de controle envia alguma instrução, e.g. liga/desliga luz, o emulador executa lógicas correspondentes aos comandos recebidos, e salva os valores calculados em suas variáveis respectivas, como pode ser visto na Figura 3.25.

```

if (dstgad=="0/1/0") // Se comando for "luz off"
{
    bright2=context.get("bright2"); // Obtém valor salvo de Iluminação
    abt=context.get("x"); // Obtém valor salvo de abertura

    light2=0; // Atribui valor zero à luz 2
    bright2=luxmin+(((luxmax2-luxmin)*abt)/100); // Calcula novo valor de Iluminação

    // Salva valores
    context.set("valordimmer2", 0); // Atribui valor zero à dimmer 2
    context.set("bright2", bright2);
    context.set("light2", light2);
}

```

Figura 3.25: Fragmento de código do nó *KNX Emulador* responsável pela simulação de lâmpada na sala LCAR.

Foi levado em consideração, também, uma iluminação máxima, em Lux, que as lâmpadas poderiam proporcionar ao ambiente. Esses valores variam de acordo com o tipo de lâmpada e seu formato, no entanto, para o projeto em questão, foi escolhida e configurada uma iluminação máxima de 1000 Lux por lâmpada. Portanto, mesmo que o *setpoint* exija

uma iluminação maior do que essa, não seria possível proporcioná-la.

### 3.2.7 Nó de Controle

O nó de controle (Figura 3.26) pode ser considerado uma das partes mais importantes do sistema de automação residencial. Ele é responsável pelas regras que possibilitam o controle do ambiente, de modo a ajustá-lo de acordo com a preferência dos usuários, aumentando o conforto, enquanto exige o mínimo esforço por parte dos mesmos. Essas regras não são fixas, e, portanto, podem variar do modo como esses usuários desejarem, podendo se ter mais ou menos delas. Dentro de cada uma dessas regras há outros conjuntos de regras a serem seguidos, e esses, como os outros, também podem ser configurados de acordo com a preferência dos clientes. Para o estudo de caso apresentado, foi optado pela implementação de 5 regras gerais de controle, que têm como foco o alcance do conforto do usuário, tendo em vista um uso eficiente de energia elétrica. Essas regras, e suas ações de controle, estão melhor exemplificadas abaixo:

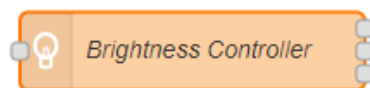


Figura 3.26: Nó de Controle.

- **Noite e Temperatura Interna Alta (NeTIA):**
  - **Cortinas:** Prioriza a abertura das cortinas tendo em mente que, com essa abertura, é possível a formação de uma arrefecimento natural, evitando assim recorrer a um sistema de refrigeração;
  - **Lâmpadas:** Devido ao baixo nível de iluminação fornecido pela lua, o controle da iluminação é inteiramente baseado nas lâmpadas;
- **Noite e Temperatura Interna Baixa (NeTIB):**

- **Cortinas:** Prioriza o fechamento das cortinas no objetivo de evitar que a temperatura exterior esfrie ainda mais o ambiente, diminuindo a necessidade de utilizar um sistema de aquecimento;
  - **Lâmpadas:** Devido ao fato de as cortinas estarem fechadas, e, portanto, impedindo qualquer fonte de iluminação exterior, o controle da iluminação é inteiramente baseado nas lâmpadas;
- **Sol e Calor (SeC):**
    - **Cortinas:** Prioriza o fechamento das cortinas, visando impedir que os raios solares, penetrando o ambiente através das janelas, aqueçam o ambiente, diminuindo assim a recorrência à equipamentos de resfriamento.
    - **Lâmpadas:** Como no caso anterior, devido ao fato de as cortinas estarem impedindo qualquer fonte de iluminação exterior, o controle da iluminação é inteiramente baseado nas lâmpadas;
- **Sol e Frio (SeF):**
    - **Cortinas:** Prioriza a abertura das cortinas, para que os raios solares, penetrando através das janelas, aqueçam o ambiente, de modo a não ser necessário, ou seja reduzido, o uso de equipamentos de aquecimento;
    - **Lâmpadas:** O controle do valor de iluminação escolhido pelo o usuário, neste caso, se torna um pouco complicado, já que, com as cortinas totalmente abertas, não é possível alcançar um valor menor do que a iluminação natural fornecida pelo sol. As lâmpadas só são ligadas se o *setpoint* for maior do que esse valor.
- **Nublado ou Temperaturas Externas Amenas (NuTEA):**
    - **Cortinas:** A abertura ou fechamento da mesma é priorizada sobre o uso das lâmpadas, ou seja, é buscado alcançar o *setpoint* somente com o seu uso, evitando utilizar lâmpadas, e, assim, reduzindo o consumo de energia elétrica.

- **Lâmpadas:** As lâmpadas são acionadas somente quando o *setpoint* de iluminação é maior do que a iluminação fornecida pelas fontes externas de luz natural.

O nó de controle funciona do seguinte modo: ao receber um valor de *setpoint*, seja por MQTT ou pela IHM, o programa recorre ao KNX através de tópicos de leitura, de modo a obter a situação atual do ambiente a ser controlado, ou seja, adquirindo os valores atuais de iluminação, temperatura interna, temperatura externa, status dos sensores de cortina, status das lâmpadas, e tudo mais o que for necessário para a execução das regras de controle; após receber os valores solicitados, o programa busca, dentre suas regras, uma que se encaixe nas condições atuais, enviando então ao KNX os comandos respectivos a elas, que podem ser vistos nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3. Um fragmento da regra SeC pode ser visto na Figura 3.27.

```

if (temp > 24 && sol == 2) // Calor e Sol -- Deve manter persiana sempre fechada
{
  if (fimdecorso===0) // Persiana toda ou parcialmente aberta
  {
    msg1= {payload: {"dstgad":"0/1/7","value":"1","dpt":"3"}}; // Fecha estor
    if (repeat===0)
    {
      msg2= {payload: {"Warn": "Closing blinds", "Reason":"Hot and Sunny", "Room":"L2I"}};
      repeat=1;
      context.set("repeat", repeat);
    }
    context.set("estor", "NaN"); // Apaga status de estor
    return [msg1, null, msg2];
  }
} // Fecha Persiana

```

Figura 3.27: Fragmento de código do Nó de Controle da Sala L2I.

O nó de controle possui poucas diferenças entre as duas salas. No entanto, como mencionado previamente, no caso da sala LCAR, as regras levam em consideração duas lâmpadas, ao invés de uma, e também dois sensores de iluminação. Para uma maior facilidade de implementação, a localização da **Lâmpada 1** foi considerada próxima ao **Sensor 1**, e **Lâmpada 2** próxima ao **Sensor 2**. De modo a alcançar mais precisamente o nível de iluminação requerido pelo o usuário, o valor obtido através do **Sensor 1**, mais próximo da janela, dita o comportamento da cortina, tornando necessário, para a

<b>Setpoint x Iluminação Atual</b>	<b>Cortina</b>	<b>Lâmpada</b>	<b>Comando</b>
Maior	Aberta	Acesa	Aumenta <i>Dimmer</i>
		Apagada	Acende Lâmpada
	Semi-Aberta	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Abre Cortina
	Fechada	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Abre Cortina
Menor	Aberta	Acesa	Diminui <i>Dimmer</i> ou Apaga Lâmpada
		Apagada	Não é possível diminuir a iluminação
	Semi-Aberta	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Abre Cortina
	Fechada	Acesa	Diminui <i>Dimmer</i> ou Apaga Lâmpada
		Apagada	Abre Cortina

Tabela 3.1: Regras para controle de luz e cortina nas situações NeTIA e SeF.

<b>Setpoint x Iluminação Atual</b>	<b>Cortina</b>	<b>Lâmpada</b>	<b>Comando</b>
Maior	Aberta	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Fecha Cortina
	Semi-Aberta	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Fecha Cortina
	Fechada	Acesa	Aumenta <i>Dimmer</i>
		Apagada	Acende Lâmpada
Menor	Aberta	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Fecha Cortina
	Semi-Aberta	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Fecha Cortina
	Fechada	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Não é possível diminuir a iluminação

Tabela 3.2: Regras para controle de luz e cortina nas situações NeTIB e SeC.

<b>Setpoint x Iluminação Atual</b>	<b>Cortina</b>	<b>Lâmpada</b>	<b>Comando</b>
Maior	Aberta	Acesa	Aumenta <i>Dimmer</i>
		Apagada	Acende Lâmpada
	Semi-Aberta	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Abre Cortina
	Fechada	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Abre Cortina
Menor	Aberta	Acesa	Diminui <i>Dimmer</i> ou Apaga Lâmpada
		Apagada	Fecha Cortina
	Semi-Aberta	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Fecha Cortina
	Fechada	Acesa	Apaga Lâmpada
		Apagada	Não é possível diminuir a iluminação

Tabela 3.3: Regras para controle de luz e cortina na situação NuTEA.

**Lâmpada 2**, ter seu nível ajustado, de acordo com o nível de iluminação adquirido pelo **Sensor 2**, para alcançar o *setpoint*. Isso quer dizer que, se o valor de *setpoint* for alcançado no **Sensor 1** apenas com a abertura da cortina, no **Sensor 2**, pela distância da janela, esse valor de iluminação estará menor do que esse *setpoint*, e, portanto, a **Lâmpada 2** precisará ser acionada para proporcionar o nível de iluminação desejado naquela área da sala.

### 3.2.8 Interface Homem-Máquina

A Interface Homem-Máquina (IHM) (Figura 3.28) foi criada no intuito de possibilitar aos clientes, não só acompanharem as mudanças em andamento no ambiente à sua volta, como também realizar modificações no mesmo. Para isso, a interface foi dividida em três seções maiores, uma referente às **Informações Meteorológicas** (*Weather Info*), e as outras relacionadas às salas '**LCAR**' e '**L2I**'. Dentro das duas últimas, há ainda uma divisão entre áreas, sendo a área denominada **Painel de Operação** (*Operation Panel*) a área referente ao controle manual dos atuadores, e a área designada **Painel de Visualização** (*Visualization Panel*), ao espaço em que o usuário pode acompanhar, tanto o que está ocorrendo com esse atuadores, quanto verificar os valores captados pelos sensores.

A seção de informações meteorológicas mostra o clima (*Weather*), a temperatura externa (*Temperature*), e a cidade (*City*) sobre a qual as informações estão sendo obtidas. Tanto a sala '**LCAR**', quanto a sala '**L2I**', possuem seletores de modo (*Mode Selector*) no topo de suas seções, para que os clientes possam escolher a configuração que melhor atende à seus desejos. No painel de operação de ambas as salas, o usuário tem o poder de controlar as cortinas através de 3 botões que permitem a abertura (*Open Blinds*), o fechamento (*Close Blinds*), e a paragem (*Stop Blinds*) das mesmas, além de ser possível ligar ou desligar a luz utilizando o *Light Switch*, e controlar o nível de iluminação proveniente delas com o controle de *Dimmer*. No painel de visualização é possível acompanhar: o status da lâmpada (*Light*), e.g. Acesa; o nível de *Dimmer*, variando num valor de 0 a 1000 Lux; o valor de *Setpoint* escolhido pelo usuário; um gráfico da variação da temperatura

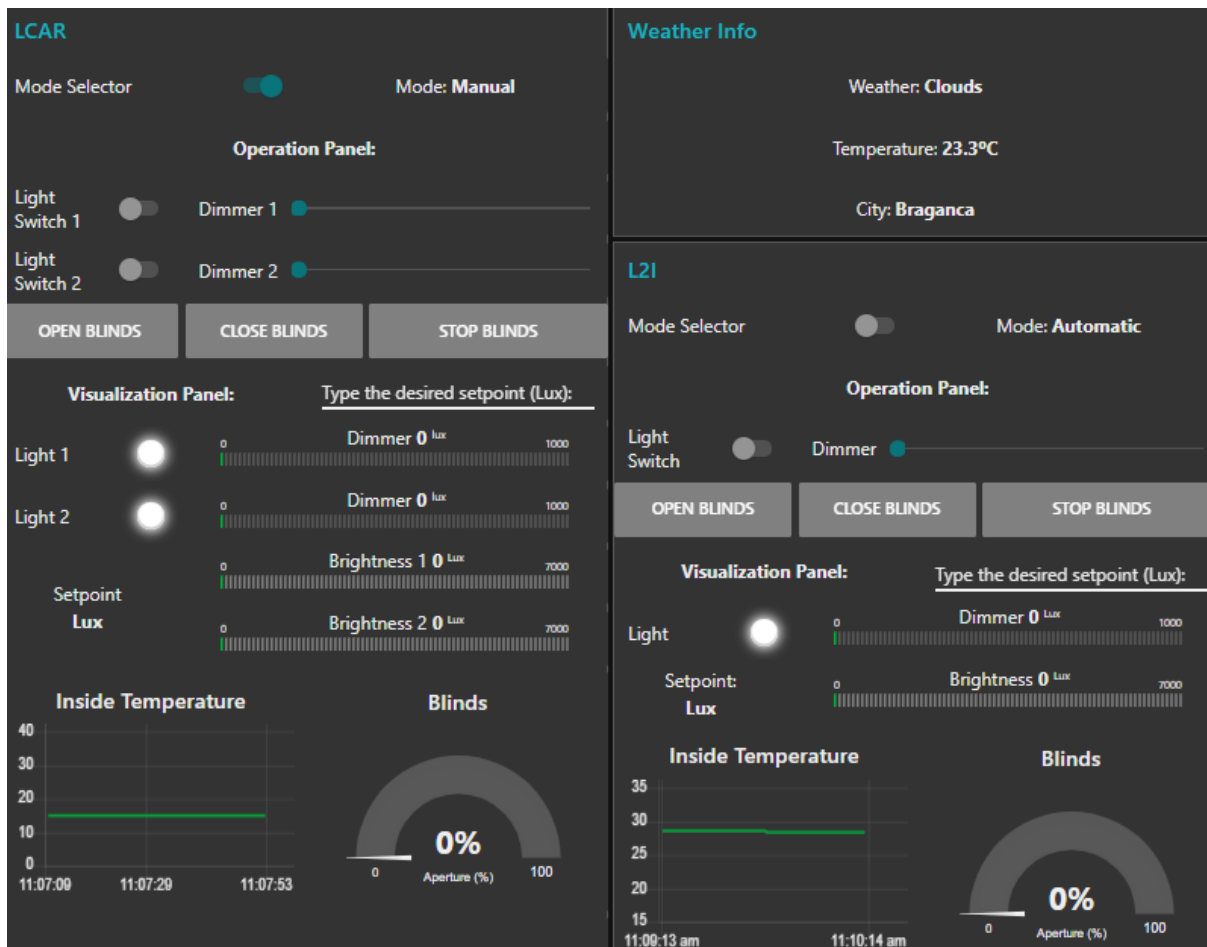


Figura 3.28: Interface Homem-Máquina.

interna (*Inside Temperature*); o nível de abertura da cortina, de 0 a 100%; e finalmente, o nível de iluminação obtido pelo sensor (*Brightness*). Essa interface foi criada utilizando os nós de *dashboard* do aplicativo Node RED, à mostra na Figura 3.29, onde cada nó é responsável por realizar uma função gráfica específica dentro da mesma, como listado abaixo:

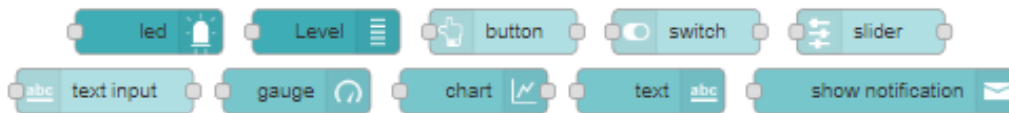


Figura 3.29: Nós de *Dashboard*.

- **Led:** Cumprem o papel representativo das lâmpadas;
- **Level:** Utilizados para demonstrar graficamente os níveis de *Dimmer* e Iluminação do local;
- **Button:** Usados como os botões de abertura, fechamento e paragem de cortina;
- **Switch:** Interruptor usado para acender ou apagar as lâmpadas e também para selecionar o modo de operação;
- **Text input:** Usado como entrada para o valor de *setpoint* escolhido pelo o usuário. Na interface vêm acompanhado do texto '*Type the desired setpoint (Lux)*' que indica ao cliente o espaço no qual o valor de iluminação desejado deve ser digitado;
- **Gauge:** Representação gráfica do nível de abertura da cortina;
- **Chart:** Compreende o gráfico de variação da temperatura interna pelo tempo;
- **Text:** Abrange as partes textuais da interface como: modo de operação; *setpoint*; clima; temperatura externa; e cidade. São usados também para separar as áreas de operação e de visualização;

- **Show Notification:** Aparece na tela a cada vez que uma modificação é feita, para dar um aviso ao usuário sobre quais comandos estão sendo executados nos atuadores.

# Capítulo 4

## Segurança do Sistema

Sistemas de automação residencial lidam com a conexão de diversos dispositivos, encarregados de processar, gerar, e trocar um grande número de informações privadas e sensíveis [61]. Um estudo, feito por Hewlett Packard [62], mostra que 70% dos dispositivos IoT mais usados contém diversas vulnerabilidades, o que torna esses sistemas atraentes a inúmeros ataques.

Privacidade e segurança são questões de extrema importância para qualquer sistema, entretanto, em sistemas IoT, essas questões requerem ainda mais atenção, graças à sua conexão a objetos físicos. Roubo de dados é algo imensamente grave, porém, obter acesso a dispositivos físicos, que estão em proximidade a humanos, e tomar controle deles, é muitas vezes pior, tendo em vista que, nesses casos, se está lidando com vidas [63]. Por esse motivo, de modo a garantir uma operação segura do sistema de automação residencial desenvolvido nessa dissertação, foram estudados, nesse capítulo, possíveis pontos de vulnerabilidade desse sistema, além da elaboração de soluções propostas e criadas por essa pesquisa, de modo a protegê-lo em cada um dos pontos referidos. A Figura 4.1 mostra a arquitetura do projeto de automação residencial e seus pontos de vulnerabilidade.

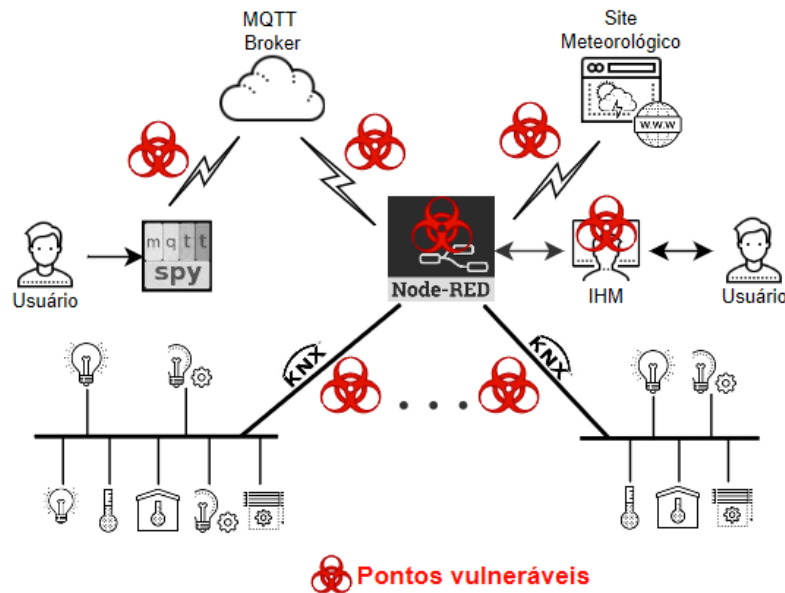


Figura 4.1: Pontos vulneráveis do Sistema.

## 4.1 Vulnerabilidades

### 4.1.1 Aplicativo Node RED

O aplicativo Node RED é iniciado em uma máquina através do prompt de comando (cmd) da mesma. Esse procedimento transforma essa máquina em um servidor, sobre o qual o programa está rodando. O acesso ao editor ocorre ao se digitar o endereço de IP desse servidor em uma página de navegador. Caso queira-se acessar o editor através da mesma máquina em que o servidor está configurado, é necessário, apenas, utilizar o endereço de *localhost*, que refere-se a uma conexão *loopback*, e portanto, direciona essa conexão para o seu próprio endereço de IP.

Por padrão, o editor do Node RED não é seguro, o que quer dizer que é possível acessar, criar, e implementar *flows* livremente sem a necessidade de um *login*, abrindo espaço para que qualquer pessoa, de posse do IP do servidor, possa realizar essas ações. O programa permite ao usuário saber que modificações estão sendo implementadas, avisando-os de que os *flows* do servidor foram atualizados, no entanto, não é possível impedi-las. Esse aviso pode ser visto na Figura 4.2.

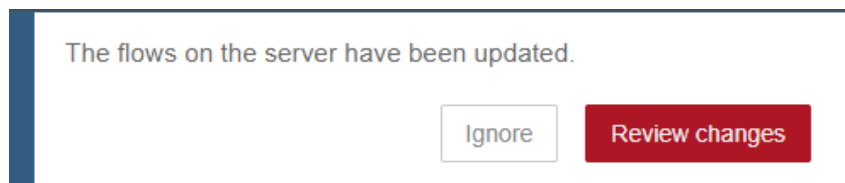


Figura 4.2: Aviso do Node RED a modificações sendo realizadas.

O aviso fornece duas possibilidades de ação, ignorar ou revisar modificações. O ato de ignorar faz com que as modificações realizadas pela outra pessoa não sejam aplicadas naquele momento, no entanto, ao desligar o servidor, as implementações serão salvas de qualquer modo. Já a escolha de revisar modificações, acarreta na abertura de um painel, em destaque na Figura 4.3, que contém as informações do *flow* e dos nós que nele estão contidos, indicando qual desses nós foi modificado. Nesse painel há a possibilidade de, ou ignorar as modificações, acarretando no mesmo problema da primeira opção de ignorar, ou de fundir, implementando as modificações imediatamente. Essas características tornam o Node RED um ponto de grande vulnerabilidade a ataques externos.

▼ Main	80 nodes	80 nodes [ 1 ]
> Flow Properties	<input type="checkbox"/> unchanged	<input type="checkbox"/> unchanged
> Aperture (%)	<input type="checkbox"/> unchanged	<input checked="" type="checkbox"/> changed
> Warns	<input type="checkbox"/> unchanged	<input type="checkbox"/> unchanged
> Setpoint	<input type="checkbox"/> unchanged	<input type="checkbox"/> unchanged
> Brightness	<input type="checkbox"/> unchanged	<input type="checkbox"/> unchanged
> Inside Temperature	<input type="checkbox"/> unchanged	<input type="checkbox"/> unchanged
> Meteorological Data	<input type="checkbox"/> unchanged	<input type="checkbox"/> unchanged

Figura 4.3: Painel de modificações do Node RED.

### 4.1.2 Interface Homem-Máquina

O acesso à IHM é feito de modo similar ao acesso ao editor do Node RED, ou seja, copiando-se o endereço de IP do servidor no navegador, porém com a adição de */ui* ao final do endereço. Isso deixa claro que essa interface apresenta os mesmos problemas de segurança do Node RED, permitindo que qualquer pessoa, de posse do IP do servidor,

seja capaz de ver e controlar a mesma. Contrário ao editor, no entanto, a IHM não fornece aviso prévio quanto as modificações sendo realizadas na mesma, sendo os indicadores de status nela presentes, o único modo de saber que elas estão a ocorrer. Em outras palavras, o usuário só é capaz de ter conhecimento de modificações sendo realizadas em seu sistema, caso os parâmetros, previamente setados pelo mesmo, comecem a variar sem que esse as estejam alterando. Esse tipo de ataque apresenta um grande risco ao cliente, levando em conta que, a partir dessa interface, é possível tomar controle de dispositivos físicos que possuem a capacidade de causar danos físicos a humanos.

### 4.1.3 Comunicação MQTT

Como já mencionando no Capítulo 3, o protocolo MQTT é usado para comunicações entre clientes e servidores. Todas as mensagens enviadas pelos clientes passam pelo *broker*, que tem por função endereça-las ao destino correto, ou seja, outro cliente. Por padrão, a configuração do *broker* permite a qualquer usuário publicar e assinar em tópicos sem qualquer identificação, além de não fornecer encriptação das mensagens trocadas. Essa configuração compromete a integridade dos dados trocados e permite ataques como *spoofing*, que se trata de uma falsificação de IP na qual uma pessoa ou programa consegue se passar por outra.

A comunicação por MQTT pode ser observada facilmente com o uso de farejadores (*Sniffers*) de rede, que concernem ferramentas de software usadas para monitorar o tráfego de rede. Esses softwares estão disponíveis online, muitas vezes de graça, como o programa WireShark, podendo serem utilizados por qualquer pessoa, o que favorece ataques de espionagem. Ele permite não somente o acesso à informação das mensagens trocadas, como também aos endereços de IP do *broker* e dos clientes, como pode ser visto na Figura 4.5. A Figura 4.4 mostra a mensagem publicada pelo cliente, e o tópico utilizado, que corresponde aos dados obtidos pelo WireShark.

Resumindo, a vulnerabilidade nesse sistema abre portas a, não somente roubo de informações, como também modificação de conteúdo de mensagens, gerando conflito de

informações e possíveis acidentes.

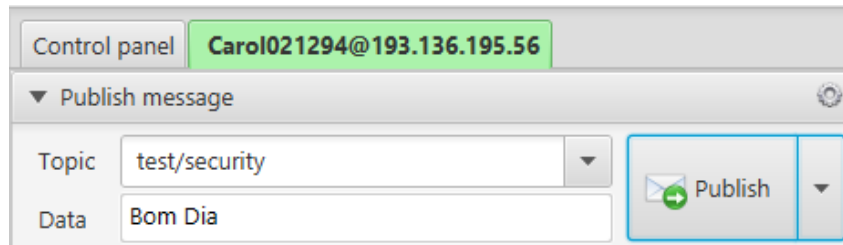


Figura 4.4: Dados enviados pelo cliente MQTT.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
7	1.460427	192.168.1.15	52.20.200.172	HTTP	408	GET /pulse?authoff&user=B886942CAC642
8	1.581686	52.20.200.172	192.168.1.15	HTTP	194	HTTP/1.1 200 OK
1	0.000000	192.168.1.15	193.136.195.56	MQTT	78	Publish Message [test/security]
3	0.030792	193.136.195.56	192.168.1.15	MQTT	78	Publish Message [test/security]

> Frame 1: 78 bytes on wire (624 bits), 78 bytes captured (624 bits) on interface 0	
> Ethernet II, Src: HonHaiPr_18:12:b3 (60:6d:c7:18:12:b3), Dst: HitronTe_bd:95:66 (00:fc:8d:bd:95:66)	
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.15, Dst: 193.136.195.56	
> Transmission Control Protocol, Src Port: 53993, Dst Port: 1883, Seq: 1, Ack: 1, Len: 24	
▼ MQ Telemetry Transport Protocol, Publish Message	
> Header Flags: 0x30, Message Type: Publish Message, QoS Level: At most once delivery (Fire and Forget)	
Msg Len: 22	
Topic Length: 13	
Topic: test/security	
Message: 426f6d20446961	

0000	00 fc 8d bd 95 66 60 6d	c7 18 12 b3 08 00 45 00	.....f*m.....E.
0010	00 40 4b fa 40 00 80 06	68 45 c0 a8 01 0f c1 88	@K:@...hE.....
0020	c3 38 d2 e9 07 5b b4 44	e8 5a 38 7e 63 26 50 18	8...[.D.Z8~c&P.
0030	01 00 57 a3 00 00 30 16	00 0d 74 65 73 74 2f 73	..W...@...test/s
0040	65 63 75 72 69 74 79	42 6f 6d 20 44 69 61	ecurityB om Dia

Figura 4.5: Informações de comunicação MQTT obtidas pelo WireShark.

#### 4.1.4 Site Meteorológico

O nó de meteorologia, apresentado no Capítulo 3, é utilizado para acessar uma página de dados meteorológicos, disponível na *Web*, e obter as informações da mesma. A solicitação de acesso é feita através do comando GET e utiliza protocolo HTTP, indicando, portanto, que as mensagens trocadas não estão encriptadas. Devido a esse fato, similarmente à troca de mensagens por MQTT, essa conversa pode ser facilmente monitorada através do uso de *Sniffers*.

A Figura 4.6 apresenta, em destaque, as informações da conversa realizada entre o site OpenWeatherMap e o Node RED, além do endereço URI da página acessada, e os dados recebidos da mesma. Esse tipo de conexão desprotegida se apresenta como uma ameaça ao sistema, por consequência de sua vulnerabilidade a roubos de dados e até ataques como *Man in The Middle* (MiTM). Nesses ataques, um terceiro intercepta a comunicação entre duas páginas ao passar-se por uma delas, permitindo, então, alteração de dados e até envio de *Malwares* (softwares maliciosos), que possuem a capacidade de danificar ou até incapacitar o sistema.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
15	2.848982	192.168.1.15	82.196.7.246	HTTP	204	GET /data/2.5/weather?lang=en&q=braganca,portugal&
17	2.922785	82.196.7.246	192.168.1.15	HTTP	890	HTTP/1.1 200 OK (application/json)

Request URI: http://api.openweathermap.org/data/2.5/weather?lang=en&q=braganca,portugal&APPID=37feccd61fad18bd53a5c6a8678cb3ed						
File Data: 462 bytes						
JavaScript Object Notation: application/json						
Object						

01a0	45	54	2c	20	50	4f	53	54	0d	0a	0d	0a	7b	22	63	6f	ET, POST ...{"co
01b0	6f	72	64	22	3a	7b	22	6c	6f	6e	22	3a	2d	36	2e	37	ord":{"lon":-6.7
01c0	36	2c	22	6c	61	74	22	3a	34	31	2e	38	31	7d	2c	22	6,"lat": 41.81},"
01d0	77	65	61	74	68	65	72	22	3a	5b	7b	22	69	64	22	3a	weather":[{"id":
01e0	38	30	33	2c	22	6d	61	69	6e	22	3a	22	43	6c	6f	75	803,"main":"Clou
01f0	64	73	22	2c	22	64	65	73	63	72	69	70	74	69	6f	6e	ds","des cription
0200	22	3a	22	62	72	6f	6b	65	6e	20	63	6c	6f	75	64	73	":"broke n clouds
0210	22	2c	22	69	63	6f	6e	22	3a	22	30	34	64	22	7d	5d	","icon" : "04d"]
0220	2c	22	62	61	73	65	22	3a	22	73	74	61	74	69	6f	6e	,"base": "station
0230	73	22	2c	22	6d	61	69	6e	22	3a	7b	22	74	65	6d	70	s","main ":{ "temp
0240	22	3a	32	39	32	2e	35	39	2c	22	70	72	65	73	73	75	":292.59 ,"pressu
0250	72	65	22	3a	31	30	31	36	2c	22	68	75	6d	69	64	69	re":1016 ,"humidi
0260	74	79	22	3a	33	32	2c	22	74	65	6d	70	5f	6d	69	6e	ty":32," temp_min
0270	22	3a	32	39	32	2e	35	39	2c	22	74	65	6d	70	5f	6d	":292.59 ,"temp_m
0280	61	78	22	3a	32	39	32	2e	35	39	7d	2c	22	77	69	6e	ax":292. 59},"win
0290	64	22	3a	7b	22	73	70	65	65	64	22	3a	30	2e	38	39	d":{"spe ed":0.89

Figura 4.6: Informações de comunicação entre o Node RED e a Web obtidas pelo Wireshark.

#### 4.1.5 Módulo KNX

As mensagens trocadas entre o módulo KNX e o servidor do Node RED são enviadas através de um cabo que conecta os dois. No entanto, por padrão, essas mensagens não são encriptadas, o que torna fácil, para invasores, a obtenção do conteúdo das mesmas. Na Figura 4.7 é possível ver o conteúdo dessas mensagens, obtido através do aplicativo WireShark.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6	1.425303	192.168.38.61	192.168.38.62	KNXne...	63	TunnelReq #A3:0 L_Data.req 0.0.0->0/0/1 GroupValueWrite \$01
7	1.429018	192.168.38.62	192.168.38.61	KNXne...	60	TunnelAck #A3:0 OK
8	1.437948	192.168.38.62	224.0.23.12	KNXne...	60	RoutingInd L_Data.ind 15.15.255->0/0/1 GroupValueWrite \$01
9	1.455925	192.168.38.62	192.168.38.61	KNXne...	63	TunnelReq #A3:2 L_Data.con 15.15.255->0/0/1 GroupValueWrite \$01
10	1.456259	192.168.38.61	192.168.38.62	KNXne...	52	TunnelAck #A3:2 OK
11	2.329491	192.168.38.62	224.0.23.12	KNXne...	60	RoutingInd L_Data.ind 1.1.1->0/0/13 GroupValueWrite \$FF
12	2.347798	192.168.38.62	192.168.38.61	KNXne...	64	TunnelReq #A3:3 L_Data.ind 1.1.1->0/0/13 GroupValueWrite \$FF
13	2.352173	192.168.38.61	192.168.38.62	KNXne...	52	TunnelAck #A3:3 OK
14	3.225752	192.168.38.61	192.168.38.62	KNXne...	63	TunnelReq #A3:1 L_Data.req 0.0.0->0/0/1 GroupValueWrite \$00
15	3.228004	192.168.38.62	192.168.38.61	KNXne...	60	TunnelAck #A3:1 OK
16	3.240932	192.168.38.62	224.0.23.12	KNXne...	60	RoutingInd L_Data.ind 15.15.255->0/0/1 GroupValueWrite \$00
17	3.258048	192.168.38.62	192.168.38.61	KNXne...	63	TunnelReq #A3:4 L_Data.con 15.15.255->0/0/1 GroupValueWrite \$00
18	3.258989	192.168.38.61	192.168.38.62	KNXne...	52	TunnelAck #A3:4 OK
20	4.109812	192.168.38.62	224.0.23.12	KNXne...	60	RoutingInd L_Data.ind 1.1.1->0/0/13 GroupValueWrite \$00
22	4.127874	192.168.38.62	192.168.38.61	KNXne...	64	TunnelReq #A3:5 L_Data.ind 1.1.1->0/0/13 GroupValueWrite \$00
23	4.136422	192.168.38.61	192.168.38.62	KNXne...	52	TunnelAck #A3:5 OK
27	5.033521	192.168.38.61	192.168.38.62	KNXne...	63	TunnelReq #A3:2 L_Data.req 0.0.0->0/0/8 GroupValueRead

```

> Frame 6: 63 bytes on wire (504 bits), 63 bytes captured (504 bits) on interface 0
> Ethernet II, Src: Dell_fd:28:65 (10:98:36:fd:28:65), Dst: WagoKont_09:91:3b (00:30:de:09:91:3b)
> Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.38.61, Dst: 192.168.38.62
> User Datagram Protocol, Src Port: 63177, Dst Port: 3671
> KNX/IP Tunneling Request, #A3:0
< cEMI L_Data.req, 8 P=Low, H=7, Src=0.0.0, Dst=0/0/1, GroupValueWrite $01
  Message Code: L_Data.req (0x11)
  > Additional Info (0 bytes)
  > Ctrl1: System Broadcast, Prio = Low
  > Ctrl2: Hops = 7
  Source: 0x0000 = 0.0.0
  Destination: 0x0001 = 0/0/1
  Length: 1
  > TPCI
  > APCI: GroupValueWrite
  > Data: 01

```

Figura 4.7: Painel de modificações do Node RED.

## 4.2 Soluções Aplicadas

Após a análise de todos os pontos de vulnerabilidade detectados, foram implementadas soluções para a correção dos mesmos.

### 4.2.1 Aplicativo Node RED

A primeira solução implementada para a vulnerabilidade encontrada no aplicativo Node RED foi a configuração de um nome de usuário e senha, que tem por objetivo impedir o acesso de terceiros que não possuam conhecimento dos mesmos. Para isso, as configurações do programa foram modificadas, através do arquivo *Settings* de modo a conter estes parâmetros. Por padrão, o Node RED mostra o nome de usuário como 'admin', como visto na Figura 4.8, porém esse pode ser modificado como pretendido. O campo *password* pede por um código referente à senha escolhida, que pode ser obtida através do comando `node-red-admin hash-pw` no prompt de comando. Há também, um campo denominado *permissions* onde se pode escolher o tipo de acesso ao qual o usuário tem direito, podendo variar entre somente leitura e acesso total.

```
adminAuth: {
  type: "admin",
  users: [{
    username: "admin",
    password: "$2a$08$3bjh1lW7Q0D0jjoQDkEih.WruPigLg.ABYADvmVyhMjN9cNrVm3h.",
    permissions: "*"
  }]
},
```

Figura 4.8: Configuração de Usuário e Senha no Node RED.

Essas modificações, no entanto, não surtiram o efeito esperado, já que, utilizando o aplicativo WireShark, é possível obter tanto o nome de usuário, quanto a senha, mostrados na Figura 4.9, o que torna as configurações realizadas pouco efetivas. A solução encontrada para isso foi transformar a página sobre a qual o editor do Node RED está sendo rodado, de HTTP, para uma conexão segura usando Protocolo de Transferência de Hipertexto Seguro (HTTPS).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
163	5.700773	192.168.192.28	192.168.199.196	HTTP	598	POST /auth/token HTTP/1.1 (application/x-www-form-urlencoded)
> Frame 163: 598 bytes on wire (4784 bits), 598 bytes captured (4784 bits) on interface 0 > Ethernet II, Src: Inventec_51:9b:0d (00:26:6c:51:9b:0d), Dst: Dell_fd:28:65 (10:98:36:fd:28:65) > Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.192.28, Dst: 192.168.199.196 > Transmission Control Protocol, Src Port: 50077, Dst Port: 1880, Seq: 1, Ack: 1, Len: 544 > Hypertext Transfer Protocol > HTML Form URL Encoded: application/x-www-form-urlencoded > Form item: "client_id" = "node-red-editor" > Form item: "grant_type" = "password" > Form item: "scope" = "" > Form item: "username" = "admin" > Form item: "password" = "test"						

Figura 4.9: Informações de Usuário e Senha obtidas pelo WireShark.

Essa configuração de conexão também é feita através do arquivo *settings* do Node RED, no entanto, alguns passos precisam ser tomados antes de ser possível modificar o mesmo, como o uso do protocolo de segurança SSL/TLS. Esse protocolo é responsável por garantir a confidencialidade, integridade e autenticação na troca de informações, através da geração de chaves e certificados SSL. Esses são responsáveis pela encriptação das mensagens trocadas entre o navegador e a *web*, o que impede o roubo de dados por terceiros, além de autenticar a identidade do site portador do certificado, impedindo ataques como MiTM.

A obtenção dessas chaves e certificados pode ser feita gratuitamente utilizando a aplicação OpenSSL, no entanto, aplicativos pagos podem ser apresentados como uma alternativa mais segura. Após a geração desses arquivos de dados, é necessário, então, alterar a parte de conexão HTTPS do arquivo de configuração do Node RED, que pode ser vista na Figura 4.10. No espaço *key* deve-se colocar o endereço da chave gerada, e no espaço *cert* o endereço do certificado.

```
https: {
  key: fs.readFileSync('.node-red/nodcerts/node-key.pem'),
  cert: fs.readFileSync('.node-red/nodcerts/node-cert.pem')
},
```

Figura 4.10: Configuração de conexão HTTPS no Node RED.

## 4.2.2 Interface Homem-Máquina

Para a solução do problema referente a IHM, foi realizada, também, uma alteração no arquivo de configuração do Node RED, adicionando o comando em destaque na Figura 4.11. Esse comando adiciona um nome de usuário e senha à interface, restringindo o acesso à mesma, no entanto, essa configuração só funciona se o programa estiver configurado para operar sobre o protocolo HTTPS.

```
httpNodeAuth: {  
    user:"user",  
    pass:"$2a$08$1uDHZODMz86HG200ImbwG.Ce8jxDsGK5WM8L/1Ukaxxe92dL4k2JK"  
},
```

Figura 4.11: Configuração de Usuário e Senha para a IHM.

## 4.2.3 Comunicação MQTT

Como mencionado anteriormente, a configuração padrão do *broker* MQTT, não é segura, e por conseguinte, é necessário alterá-la de modo a torná-la assim. Essa configuração requer o uso do protocolo SSL/TLS, assim como no Node RED, e pode ser ainda mais reforçada ao adicionar autenticação através de nomes de Usuário e Senha.

As configurações são realizadas através do arquivo de configuração do *broker*, que foi desenvolvido em Raspberry Pi, com o uso do programa MobaXterm. Essas requerem o download de chaves e certificados para ambos o servidor e o cliente. Todos os clientes, para interagir com o *broker*, necessitam de configurações semelhantes às do *broker*, como a utilização das chaves e certificados obtidos, adição do nome de usuário e senha correspondentes ao *broker*, e habilitação de uso do protocolo SSL/TLS. Essas configurações não só permitem a encriptação das mensagens trocadas entre cliente e servidor, como também restringem o acesso ao *broker* a somente clientes autorizados, ou seja, clientes de posse dos dados de login. Elas podem ser vistas, tanto no Node RED, quanto no MQTT spy, respectivamente, através das Figuras 4.12 e 4.13.

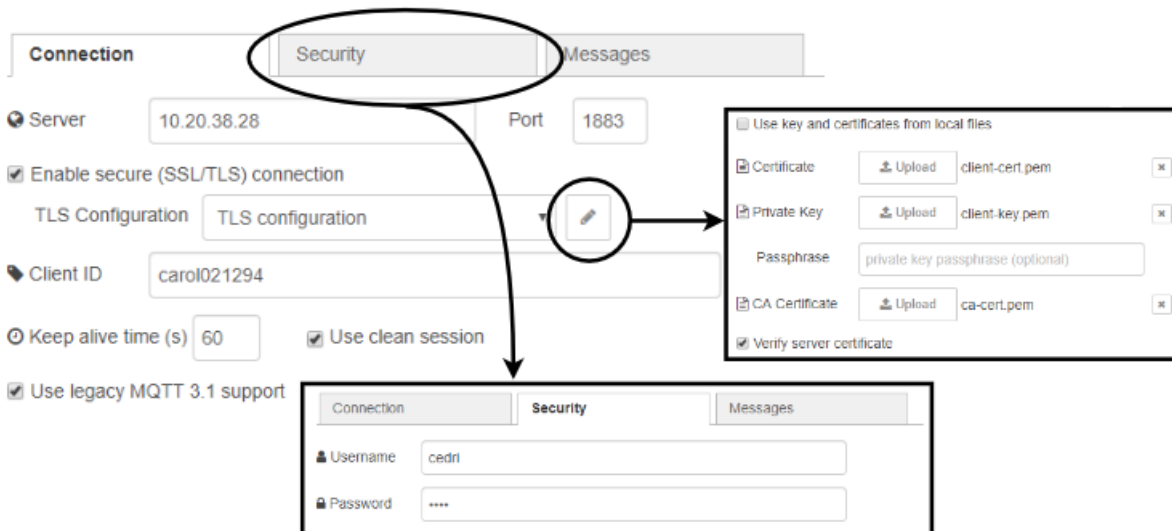


Figura 4.12: Configuração segura de nó MQTT no Node RED.

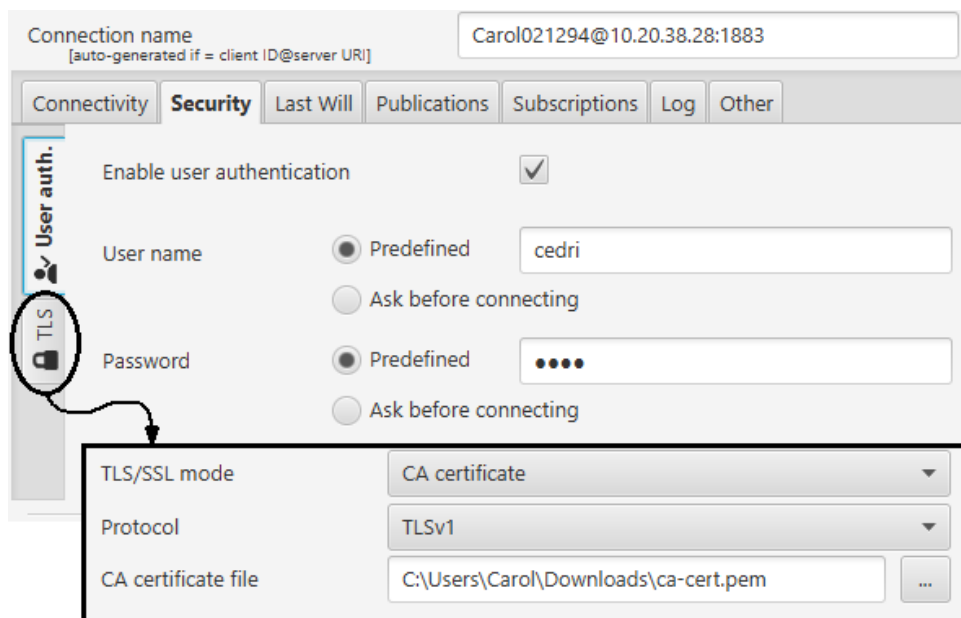


Figura 4.13: Configuração segura MQTT no MQTT Spy.

## 4.2.4 Site Meteorológico

O nó de meteorologia, usado no projeto descrito no Capítulo 3, não deixa espaço à uma configuração mais segura, já que foi criado para operar única e exclusivamente com o site OpenWeatherMap, contudo, é possível utilizar um outro nó para adquirir essas informações, o nó denominado *HTTP Request* (Figura 4.14). Esse nó permite realizar uma solicitação HTTP, a um dado site, através de sua URL, porém, é possível também, através deste, configurar uma conexão segura SSL/TLS, podendo ser a mesma usada na configuração do nó de MQTT. Isso faz com que essa solicitação se torne HTTPS, o que encripta a troca de mensagens e impede possíveis ataques por esse meio. As propriedades do nó podem ser observadas na Figura 4.15, onde em destaque estão, o endereço URL do site a se estabelecer a comunicação, e a habilitação da conexão segura.

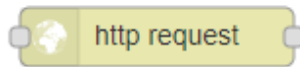


Figura 4.14: Nó de solicitação de conexão HTTP.

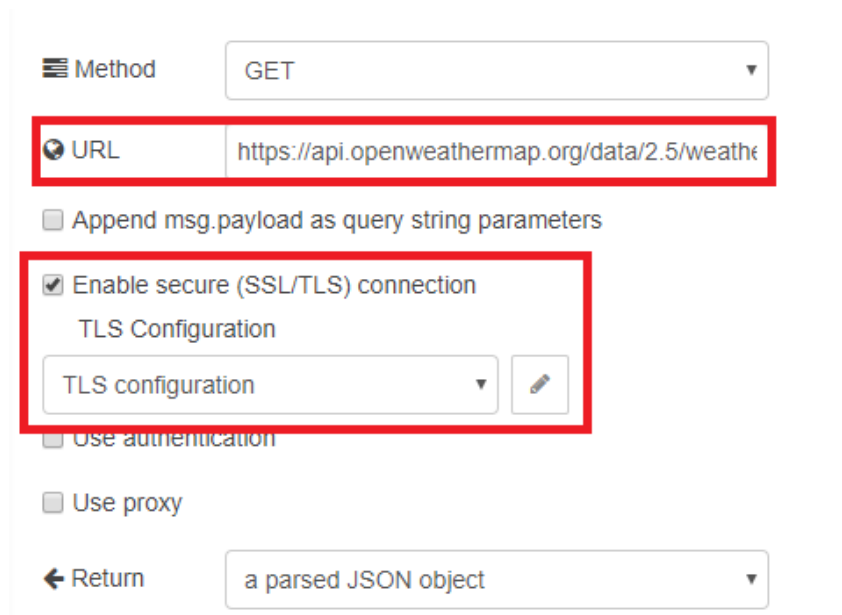


Figura 4.15: Propriedades do nó de solicitação HTTP.

### 4.2.5 Módulo KNX

A empresa KNX Association oferece produtos já seguros, como o *KNX Secure*, que apresenta encriptação dos telegramas KNX. No entanto, produtos básicos como o utilizado neste caso de estudo, não fornecem essa ferramenta [17].



# Capítulo 5

## Análise de Resultados

A análise dos resultados foi feita tanto no âmbito do funcionamento, quanto no quesito segurança, do sistema de automação residencial. Testes foram realizados de modo a certificar uma performance segura e correta desse sistema, comprovando sua aplicabilidade.

### 5.1 Sistema de Automação Residencial

Os testes realizados com o objetivo de verificar a funcionalidade do sistema de automação residencial desenvolvido, foram executados para cada sala, de modo a cobrir situações que envolvessem as 5 regras criadas. Foram setados então, valores de *setpoint*, tanto através da IHM, quanto à distância, via MQTT, e modificados de modo a atender vários casos, como pode ser exemplificado nas Tabelas 5.1 - 5.5.

A tabela 5.1 representa os testes realizados para a sala LCAR, em condições de tempo **NuTEA**, com uma iluminação máxima no **Sensor 1** de **3450 Lux**, e de **2225 Lux** no **Sensor 2**. A tabela 5.2 também representa os testes realizados para a sala LCAR, porém, nesse caso, para a regra **SeF**, com uma iluminação máxima no **Sensor 1** de **4185 Lux**, e de **2557 Lux** no **Sensor 2**. As Tabelas 5.3, 5.4 e 5.5 apresentam os resultados dos testes para a sala L2I, sendo a primeira para a regra **NuTEA**, com uma iluminação máxima de **3000 Lux**, a segunda para a regra **SeC**, com uma iluminação máxima de **4250 Lux** e uma temperatura externa de **30°C**, e a terceira para a situação **NeTIA**, tendo uma

iluminação máxima de **50 Lux** e uma temperatura interna de **21,7°C**. Todos os casos possuíam uma iluminação mínima de **0 Lux** e os *setpoints* foram variados de modo a obter os valores de **Dimmer**, **Cortina**, e **Nível de Iluminação**.

Iluminação Atual (Lux)	Setpoint (Lux)	Dimmer 1 (Lux)	Dimmer 2 (Lux)	Cortina (%)	Iluminação 1 (Lux)	Iluminação 2 (Lux)
0	500	0	188	15	483	521
500	2000	0	729	58	1966	2019
2000	4000	549	1000	100	3999	3225
4000	4300	847	1000	100	4297	3225
4300	3000	0	1000	88	3036	2953

Tabela 5.1: Resultados obtidos na Sala LCAR para a regra Nublado.

Iluminação Atual (Lux)	Setpoint (Lux)	Dimmer 1 (Lux)	Dimmer 2 (Lux)	Cortina (%)	Iluminação 1 (Lux)	Iluminação 2 (Lux)
0	500	0	0	100	4185	2557
500	2000	0	0	100	4185	2557
2000	4500	313	1000	100	4498	3557
4500	5200	1000	1000	100	5185	3557
5200	4000	0	1000	100	4185	3557

Tabela 5.2: Resultados obtidos na Sala LCAR para a regra Sol e Frio.

Iluminação Atual (Lux)	Setpoint (Lux)	Dimmer (Lux)	Cortina (%)	Iluminação (Lux)
0	500	0	15	450
500	2000	0	65	1950
2000	3500	498	100	3498
3500	4000	1000	100	4000
4000	2700	0	91	2730

Tabela 5.3: Resultados obtidos na Sala L2I para a regra Nublado.

A Figura 5.1 mostra a configuração da interface após alcançar dois valores diferentes de *setpoint*, em destaque na mesma, para a situação NuTEA da sala LCAR, de onde foram obtidos os valores para preencher a respectiva tabela. Já a Figura 5.2 mostra essa mesma configuração, para as situações NuTEA e NeTIA, na sala L2I, com valores de *setpoint*, respectivamente, de **2000 Lux** e **200 Lux**. No Apêndice C é possível encontrar as gravações relativas ao programa em funcionamento.

Iluminação Atual (Lux)	Setpoint (Lux)	Dimmer (Lux)	Cortina (%)	Iluminação (Lux)
0	200	200	0	200
200	500	498	0	498
500	700	698	0	698
700	1000	1000	0	1000
1000	100	149	0	149

Tabela 5.4: Resultados obtidos na Sala L2I para a regra Sol e Calor.

Iluminação Atual (Lux)	Setpoint (Lux)	Dimmer (Lux)	Cortina (%)	Iluminação (Lux)
0	200	149	100	199
200	500	447	100	497
500	700	647	100	697
700	1100	1000	100	1050
1100	20	0	100	50

Tabela 5.5: Resultados obtidos na Sala L2I para a regra Noite Quente.

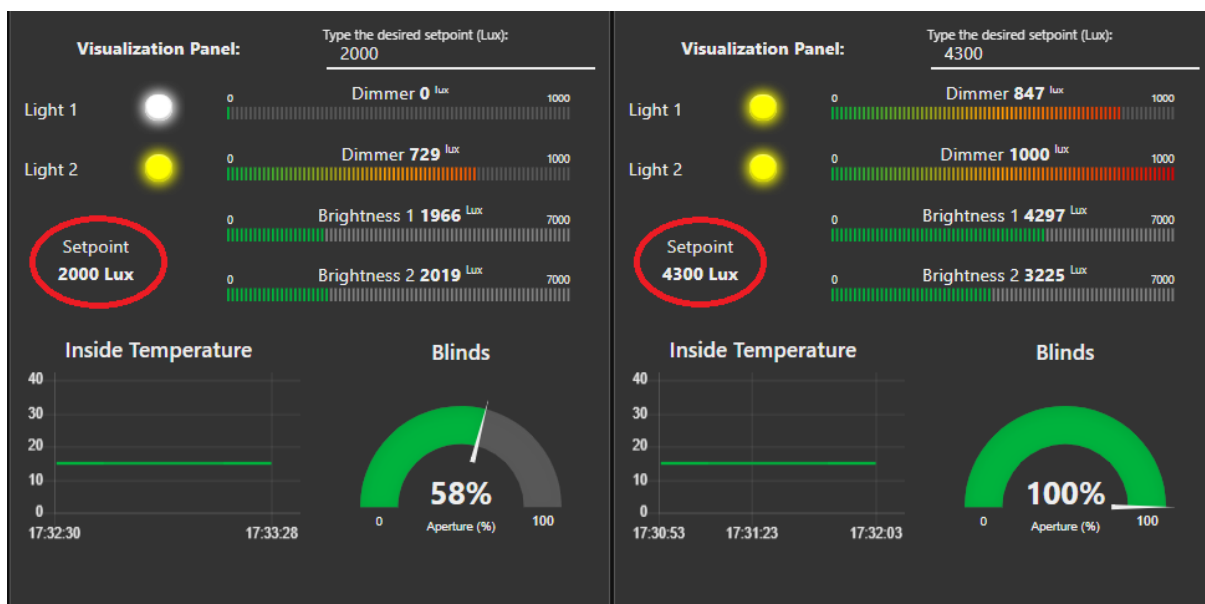


Figura 5.1: IHM em funcionamento para dois *Setpoints* diferentes na Sala LCAR.

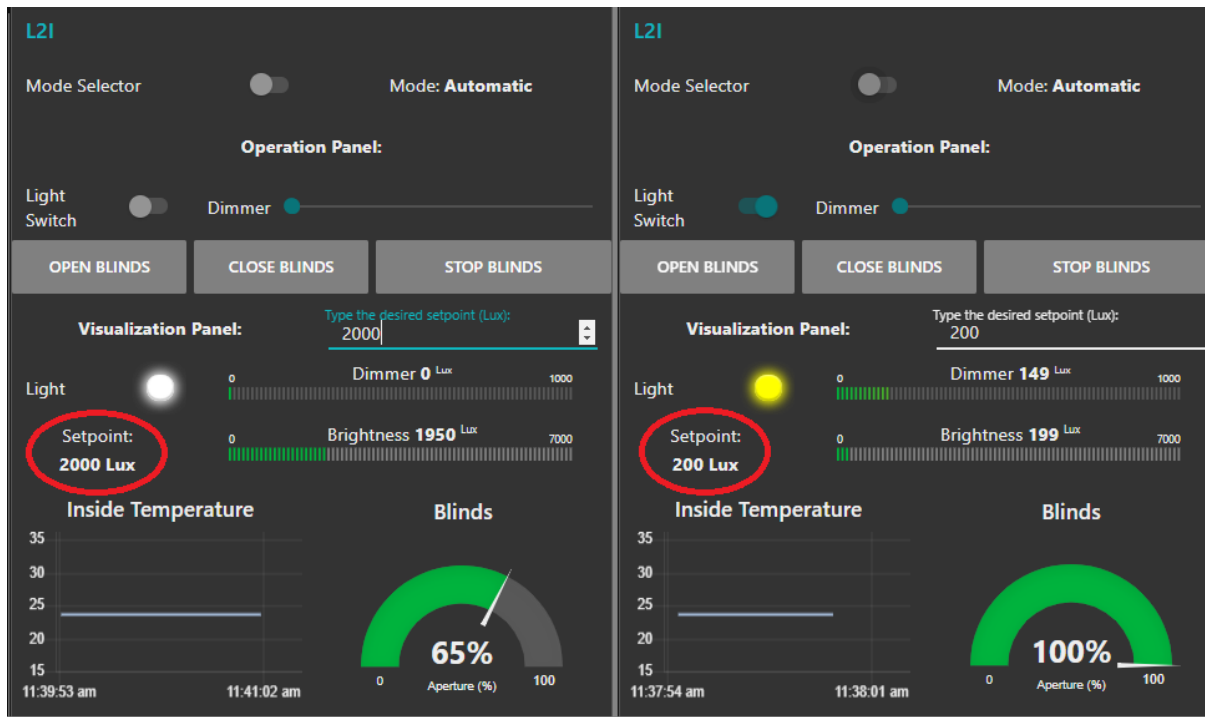


Figura 5.2: IHM em funcionamento para dois *Setpoints* diferentes, em duas regras distintas na Sala L2I.

Posteriormente, o modo manual também foi testado para ambas as salas. Em seguida, foi retornado a automático, de forma a analisar o comportamento do mesmo, verificando se está a ocorrer do modo desejado, ou seja, mudando as configurações setadas no modo manual para atingir o *setpoint* desejado. A Figura 5.3 mostra a forma adquirida pela IHM após modificações realizadas nas duas salas. A sala LCAR apresenta valores e configurações alcançadas através do modo manual, já a sala L2I foi configurada para automaticamente atingir o valor de iluminação de **4000 Lux**, enviado por meio do aplicativo MQTT Spy. É possível, também, verificar, na Figura 5.4, a configuração correspondente à vista na interface para a Sala L2I, no quadro de domótica.

Os objetivos iniciais previam a implementação do sistema em uma sala real, porém, como comentado no Capítulo 3, o projeto foi modificado de modo a ser executado em um quadro de domótica, ou seja, um cenário simulado. Devido a esse fato, pôde-se ir além do objetivo ao pôr em prática lógicas de controle para duas salas diferentes, ao invés de apenas uma.

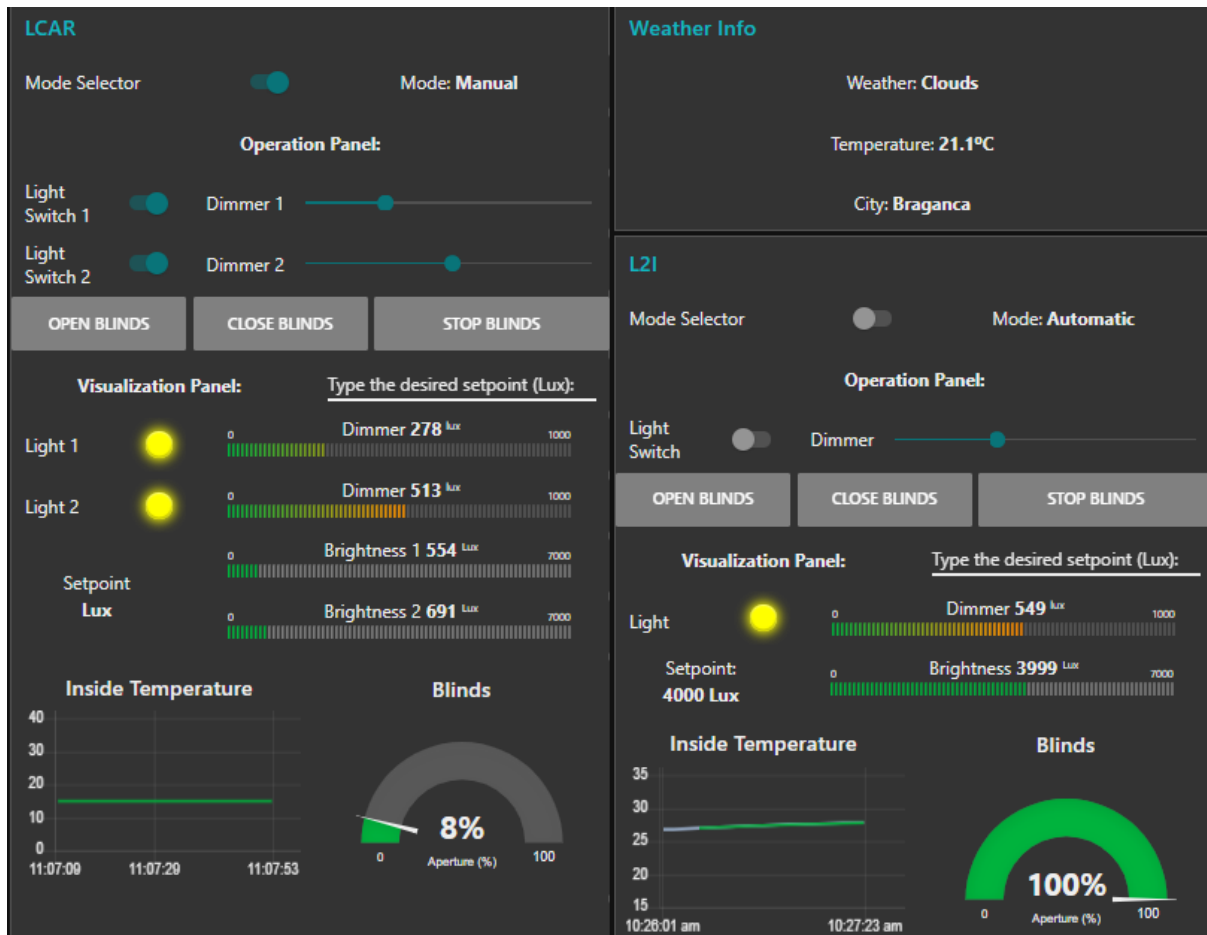


Figura 5.3: IHM em funcionamento.

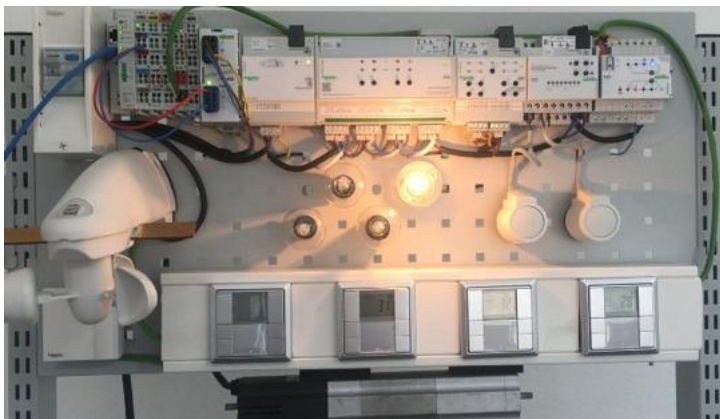


Figura 5.4: Quadro de domótica em funcionamento.

A princípio, seria realizado também, o projeto de um aplicativo para acomodar a IHM e facilitar o acesso, à distância, do sistema, no entanto, a ideia de implementar medidas de segurança no mesmo, sobrepôs esses objetivos, visto que essa interface, em sua configuração atual, já pode ser acessada em dispositivos móveis, como celulares e tablets, através de uma página de navegador, como pode ser visto na Figura 5.5.

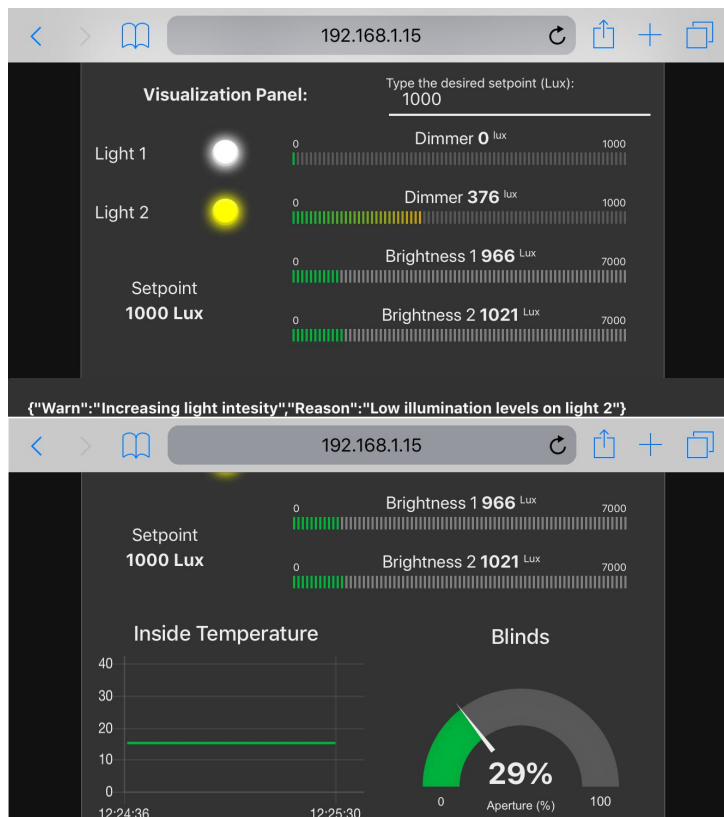


Figura 5.5: IHM em funcionamento através de um navegador no celular.

## 5.2 Segurança do Sistema

As soluções encontradas para a resolução dos problemas de segurança, descritas no Capítulo 4, foram implementadas, e posteriormente testadas para verificar sua eficácia.

Para as soluções aplicadas ao Node RED, ao MQTT *broker*, e à conexão com o site meteorológico, foram realizados testes, similares aos feitos anteriormente na obtenção das vulnerabilidades, utilizando o programa WireShark. Os resultados desses testes podem

ser vistos nas Figuras 5.6 e 5.7, onde é possível observar que não há mais informações de usuário e senha, ou de dados de mensagens, mas sim vários protocolos TSL encriptando a troca de informações.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
235	6.847041				1514	<Ignored>
1	0.000000	HonHaiPr_d1:ad:b4	Broadcast	ARP	42	Who has 192.168.1.10? Tell 192.168.1.8
2	1.228681	HonHaiPr_d1:ad:b4	Broadcast	ARP	42	Who has 192.168.1.10? Tell 192.168.1.8
80	6.463212	192.168.1.15	239.255.255.250	SSDP	179	M-SEARCH * HTTP/1.1
3	5.615285	192.168.1.12	192.168.1.15	TCP	54	49940 → 1880 [FIN, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=1024 Len=0
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
17	5.709218	192.168.1.15	192.168.1.12	TLSv1...	178	Server Hello, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
19	5.709727	192.168.1.12	192.168.1.15	TLSv1...	105	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
20	5.710777	192.168.1.12	192.168.1.15	TLSv1...	699	Application Data
22	5.939513	192.168.1.15	192.168.1.12	TLSv1...	503	Application Data
24	5.954948	192.168.1.12	192.168.1.15	TLSv1...	652	Application Data
25	6.022629	192.168.1.15	192.168.1.12	TLSv1...	574	Application Data
27	6.041783	192.168.1.12	192.168.1.15	TLSv1...	657	Application Data
28	6.076806	192.168.1.15	192.168.1.12	TLSv1...	490	Application Data
30	6.091366	45.79.177.213	192.168.1.12	TLSv1...	88	Application Data
32	6.092102	192.168.1.12	45.79.177.213	TLSv1...	92	Application Data
33	6.156351	192.168.1.12	192.168.1.15	TLSv1...	671	Application Data
35	6.181009	192.168.1.15	192.168.1.12	TLSv1...	327	Application Data
39	6.199051	192.168.1.12	192.168.1.15	TLSv1...	442	Client Hello
41	6.237050	192.168.1.15	192.168.1.12	TLSv1...	178	Server Hello, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
43	6.237705	192.168.1.12	192.168.1.15	TLSv1...	105	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message

Figura 5.6: Resultado obtido após a configuração de segurança no Node RED.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
3	0.845370	211.177.117.86	192.168.1.15	UDP	221	40687 → 42666 Len=179
25	2.143360	192.168.1.15	82.196.7.246	TLSv1...	85	Encrypted Alert
23	2.142065	82.196.7.246	192.168.1.15	TLSv1...	85	Encrypted Alert
22	2.142064	82.196.7.246	192.168.1.15	TLSv1...	921	Application Data
21	2.085905	192.168.1.15	82.196.7.246	TLSv1...	233	Application Data
20	2.084375	82.196.7.246	192.168.1.15	TLSv1...	328	New Session Ticket, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
19	2.001011	192.168.1.15	82.196.7.246	TLSv1...	180	Client Key Exchange, Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message
17	1.998394	82.196.7.246	192.168.1.15	TLSv1...	441	Certificate, Server Key Exchange, Server Hello Done
13	1.997069	82.196.7.246	192.168.1.15	TLSv1...	1514	Server Hello
11	1.938059	192.168.1.15	82.196.7.246	TLSv1...	638	Client Hello
27	2.198706	82.196.7.246	192.168.1.15	TCP	60	443 → 65108 [RST] Seq=5941 Win=0 Len=0
26	2.143506	192.168.1.15	82.196.7.246	TCP	54	65108 → 443 [FIN, ACK] Seq=921 Ack=5941 Win=64512 Len=0
24	2.142182	192.168.1.15	82.196.7.246	TCP	54	65108 → 443 [ACK] Seq=890 Ack=5941 Win=64512 Len=0
18	1.998970	192.168.1.15	82.196.7.246	TCP	54	65108 → 443 [ACK] Seq=585 Ack=4768 Win=65536 Len=0
16	1.998392	82.196.7.246	192.168.1.15	TCP	1514	443 → 65108 [ACK] Seq=2921 Ack=585 Win=30464 Len=1460 [TCP segment of a reassembled PDU]
15	1.998041	192.168.1.15	82.196.7.246	TCP	54	65108 → 443 [ACK] Seq=585 Ack=2921 Win=65536 Len=0
14	1.997830	82.196.7.246	192.168.1.15	TCP	1514	443 → 65108 [ACK] Seq=1461 Ack=585 Win=30464 Len=1460 [TCP segment of a reassembled PDU]
12	1.993273	82.196.7.246	192.168.1.15	TCP	60	443 → 65108 [ACK] Seq=1 Ack=585 Win=30464 Len=0
10	1.936955	192.168.1.15	82.196.7.246	TCP	54	65108 → 443 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=65536 Len=0
9	1.936853	82.196.7.246	192.168.1.15	TCP	66	443 → 65108 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=29200 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1 WS=128
8	1.882280	192.168.1.15	82.196.7.246	TCP	66	65108 → 443 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 WS=256 SACK_PERM=1

Figura 5.7: Resultado obtido após a configuração de segurança no Nó de Meteorologia.

De forma a testar a segurança da IHM, a mesma foi acessada em três máquinas diferentes, sendo verificado se o acesso seria restringido. Em todos os casos, uma caixa, como a da Figura 5.8, solicitando nome de usuário e senha, apareceram, comprovando o funcionamento da configuração.

Com relação à vulnerabilidade apresentada pelo KNX, não foi possível realizar testes,

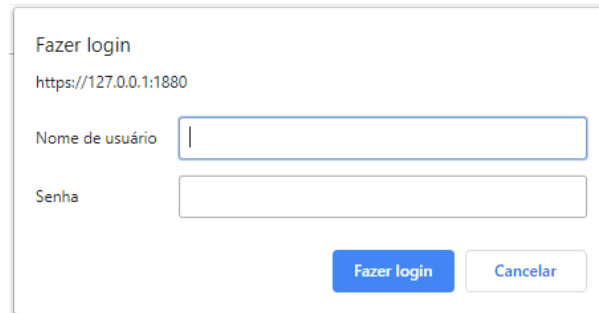
A screenshot of a login dialog box titled "Fazer login". The dialog box is white with a thin grey border. At the top, it displays the URL "https://127.0.0.1:1880". Below the URL, there are two input fields: "Nome de usuário" and "Senha". The "Nome de usuário" field is currently empty and has a blue border. The "Senha" field is also empty. At the bottom of the dialog box, there are two buttons: "Fazer login" (a blue button with white text) and "Cancelar" (a white button with a grey border and grey text).

Figura 5.8: Caixa de *Login* obtida ao tentar acessar a IHM.

em consequência da falta de acesso ao produto seguro da marca, que precisaria ser comprado. No entanto, como desejado, as configurações de segurança obtiveram resultados positivos em praticamente todos os seus pontos de vulnerabilidade, à exceção do caso mencionado acima, conferindo uma maior credibilidade ao produto.

# Capítulo 6

## Conclusões

Os resultados obtidos por meio do produto de controle de iluminação, para ambientes residenciais ou industriais, com o uso de tecnologias IoT, apresentam esses sistemas como ótimas alternativas para os habitantes dos mesmos. Eles permitem não apenas uma melhoria no conforto dos usuários desses espaços, como também a diminuição dos gastos com contas de energia elétrica, ajudando, com isso, também, o meio ambiente e dando suporte às políticas energéticas, além de resolver os problemas de interoperabilidade adquiridos com o uso exclusivo de padrões de BAS.

A diversidade de protocolos e tecnologias IoT disponíveis no mercado, permite uma imensidão de tipos de instalações diferentes, que podem ser personalizadas de acordo com as preferências dos usuários, podendo ser ajustadas de modo a atender aos requisitos dos mesmos. Apenas no escopo desse estudo de caso seria possível: adicionar mais salas a serem monitoradas e controladas; aumentar ou diminuir a quantidade de dispositivos instalados; acrescentar outros tipos de controle, como termal ou de segurança; além do desenvolvimento de lógicas diferentes que levem em consideração parâmetros distintos. Foi provado também, por meio deste, que as preocupações relacionadas à segurança com o uso da IoT em sistemas domóticos podem ser facilmente resolvidas, ajudando a quebrar alguns preconceitos em relação à sua aplicação.

Em conclusão, esse trabalho demonstrou a importância do desenvolvimento de sistemas domóticos adotantes de tecnologias IoT na atualidade, além de pontuar a relevância

da segurança nos mesmos, e atestar sua versatilidade. Para trabalhos futuros, é recomendado expandir o sistema de forma a abranger diferentes dispositivos para o controle de fatores de conforto distintos, como, por exemplo, o uso de sistemas AVAC para o controle térmico do ambiente, assim como a implementação do sistema desenvolvido em uma situação real.

# Bibliografia

- [1] V. Miori e D. Russo, “Domotic evolution towards the iot”, em *2014 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, IEEE, 2014, pp. 809–814.
- [2] W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek e H. M. Newman, “Communication systems for building automation and control”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, n° 6, pp. 1178–1203, 2005.
- [3] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic e M. Palaniswami, “Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions”, *Future generation computer systems*, vol. 29, n° 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz e C. Pout, “A review on buildings energy consumption information”, *Energy and buildings*, vol. 40, n° 3, pp. 394–398, 2008.
- [5] S. Zanolli e D. Barchiesi, “Thermal and lighting control system with energy saving and users comfort features”, em *2012 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)*, IEEE, 2012, pp. 1322–1327.
- [6] L. Martirano, G. Parise, L. Parise e M. Manganelli, “A fuzzy-based building automation control system: Optimizing the level of energy performance and comfort in an office space by taking advantage of building automation systems and solar energy”, *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 22, n° 2, pp. 10–17, 2016.

- [7] M. Castro, A. J. Jara e A. F. Skarmeta, “Smart lighting solutions for smart cities”, em *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, IEEE, 2013, pp. 1374–1379.
- [8] C. Aghemo, L. Blaso e A. Pellegrino, “Building automation and control systems: A case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices”, *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 10–22, 2014.
- [9] D. INFISO, “Networked enterprise & rfid infso g. 2 micro & nanosystems”, *Cooperation with the Working Group RFID of the ETP EPOSS, Internet of Things in*, vol. 2020, 4.
- [10] K. Ashton et al., “That ‘internet of things’ thing”, *RFID journal*, vol. 22, n° 7, pp. 97–114, 2009.
- [11] L. Atzori, A. Iera e G. Morabito, “The internet of things: A survey”, *Computer networks*, vol. 54, n° 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [12] D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini e I. Chlamtac, “Internet of things: Vision, applications and research challenges”, *Ad hoc networks*, vol. 10, n° 7, pp. 1497–1516, 2012.
- [13] G. D. Correia, “Indoor wireless architecture for smart lighting”, tese de mestrado, Universidade de Aveiro, 2016.
- [14] S. Wang, *Intelligent buildings and building automation*. Routledge, 2009.
- [15] P. Leitão, A. W. Colombo e S. Karnouskos, “Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges”, *Computers in Industry*, vol. 81, pp. 11–25, 2016.
- [16] S. Lee, K. N. Ha e K. C. Lee, “Performance evaluation of mac layer of Incp and Lonworks protocol as home networking system”, *Computer Standards & Interfaces*, vol. 31, n° 1, pp. 161–168, 2009.
- [17] KNX, [www.knx.org](http://www.knx.org), Accessed: 2019-04-10, 2019.

- [18] M. Kovatsch, M. Weiss e D. Guinard, “Embedding internet technology for home automation”, em *2010 IEEE 15th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA 2010)*, IEEE, 2010, pp. 1–8.
- [19] T. Mendes, R. Godina, E. Rodrigues, J. Matias e J. Catalão, “Smart home communication technologies and applications: Wireless protocol assessment for home area network resources”, *Energies*, vol. 8, n° 7, pp. 7279–7311, 2015.
- [20] Insteon, [www.insteon.com](http://www.insteon.com), Accessed: 2019-04-10, 2019.
- [21] Z. Alliance, [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org), Accessed: 2019-04-10, 2019.
- [22] F. L. Zucatto, C. A. Biscassi, F. Monsignore, F. Fidelix, S. Coutinho e M. L. Rocha, “Zigbee for building control wireless sensor networks”, em *2007 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference*, IEEE, 2007, pp. 511–515.
- [23] Z-Wave, [www.z-wavealliance.org](http://www.z-wavealliance.org), Accessed: 2019-04-10, 2019.
- [24] M. B. Yassein, W. Mardini e A. Khalil, “Smart homes automation using z-wave protocol”, em *2016 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS)*, IEEE, 2016, pp. 1–6.
- [25] X10, [www.x10.com](http://www.x10.com), Accessed: 2019-04-10, 2019.
- [26] P. P. Gaikwad, J. P. Gabhane e S. S. Golait, “A survey based on smart homes system using internet-of-things”, em *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, IEEE, 2015, pp. 0330–0335.
- [27] G. Lilis, G. Conus, N. Asadi e M. Kayal, “Towards the next generation of intelligent building: An assessment study of current automation and future iot based systems with a proposal for transitional design”, *Sustainable cities and society*, vol. 28, pp. 473–481, 2017.

- [28] M. Soliman, T. Abiodun, T. Hamouda, J. Zhou e C.-H. Lung, “Smart home: Integrating internet of things with web services and cloud computing”, em *2013 IEEE 5th international conference on cloud computing technology and science*, IEEE, vol. 2, 2013, pp. 317–320.
- [29] M. Wang, G. Zhang, C. Zhang, J. Zhang e C. Li, “An iot-based appliance control system for smart homes”, em *2013 fourth international conference on intelligent control and information processing (ICICIP)*, IEEE, 2013, pp. 744–747.
- [30] M. Jung, C. Reinisch e W. Kastner, “Integrating building automation systems and ipv6 in the internet of things”, em *2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, IEEE, 2012, pp. 683–688.
- [31] M. Jung, J. Weidinger, W. Kastner e A. Olivieri, “Heterogeneous device interaction using an ipv6 enabled service-oriented architecture for building automation systems”, em *Proceedings of the 28th annual ACM symposium on applied computing*, ACM, 2013, pp. 1939–1941.
- [32] T.-Y. Wu, C.-C. Hsu e H.-C. Chao, “Ipv6 home network domain name auto-configuration for intelligent appliances”, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 50, n° 2, pp. 491–497, 2004.
- [33] R. K. Kodali, V. Jain, S. Bose e L. Boppana, “Iot based smart security and home automation system”, em *2016 international conference on computing, communication and automation (ICCCA)*, IEEE, 2016, pp. 1286–1289.
- [34] S. Kumar, “Ubiquitous smart home system using android application”, *ArXiv preprint arXiv:1402.2114*, 2014.
- [35] A. Mihalache, “Wireless home automation system using iot.”, *Informatica Economica*, vol. 21, n° 2, 2017.
- [36] D. Priyadarshi e A. Behura, “Analysis of different iot protocols for heterogeneous devices and cloud platform”, em *2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, IEEE, 2018, pp. 0868–0872.

- [37] N. Naik, “Choice of effective messaging protocols for iot systems: Mqtt, coap, amqp and http”, em *2017 IEEE international systems engineering symposium (ISSE)*, IEEE, 2017, pp. 1–7.
- [38] O. Standard, “Mqtt version 3.1. 1”, URL <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3>, vol. 1, 2014.
- [39] Z. Shelby, K. Hartke e C. Bormann, “The constrained application protocol (coap)”, rel. téc., 2014.
- [40] V. Karagiannis, P. Chatzimisios, F. Vazquez-Gallego e J. Alonso-Zarate, “A survey on application layer protocols for the internet of things”, *Transaction on IoT and Cloud computing*, vol. 3, n° 1, pp. 11–17, 2015.
- [41] M. Manic, K. Amarasinghe, J. J. Rodriguez-Andina e C. Rieger, “Intelligent buildings of the future: Cyberaware, deep learning powered, and human interacting”, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 10, n° 4, pp. 32–49, 2016.
- [42] A. I. Dounis, “Artificial intelligence for energy conservation in buildings”, *Advances in Building Energy Research*, vol. 4, n° 1, pp. 267–299, 2010.
- [43] Y. LeCun, Y. Bengio e G. Hinton, “Deep learning”, *Nature*, vol. 521, n° 7553, p. 436, 2015.
- [44] P. Zhao, S. Suryanarayanan e M. G. Simões, “An energy management system for building structures using a multi-agent decision-making control methodology”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 49, n° 1, pp. 322–330, 2013.
- [45] Q. Sun, W. Yu, N. Kochurov, Q. Hao e F. Hu, “A multi-agent-based intelligent sensor and actuator network design for smart house and home automation”, *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 2, n° 3, pp. 557–588, 2013.
- [46] N. R. Jennings, “An agent-based approach for building complex software systems”, *Communications of the ACM*, vol. 44, n° 4, pp. 35–41, 2001.

- [47] A. Cziker, M. Chindris e A. Miron, “Fuzzy controller for a shaded daylighting system”, em *2008 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, IEEE, 2008, pp. 203–208.
- [48] E. Sierra, A. Hossian, P. Britos, D. Rodriguez e R. Garcia-Martinez, “Fuzzy control for improving energy management within indoor building environments”, em *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA 2007)*, IEEE, 2007, pp. 412–416.
- [49] H.-B. Kuntze e T. Bernard, “A new fuzzy-based supervisory control concept for the demand-responsive optimization of hvac control systems”, em *Proceedings of the 37th IEEE Conference on Decision and Control (Cat. No. 98CH36171)*, IEEE, vol. 4, 1998, pp. 4258–4263.
- [50] D. Tran e Y. K. Tan, “Sensorless illumination control of a networked led-lighting system using feedforward neural network”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, n° 4, pp. 2113–2121, 2013.
- [51] C. Fan, F. Xiao e Y. Zhao, “A short-term building cooling load prediction method using deep learning algorithms”, *Applied energy*, vol. 195, pp. 222–233, 2017.
- [52] E. Mocanu, P. H. Nguyen, M. Gibescu e W. L. Kling, “Deep learning for estimating building energy consumption”, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 6, pp. 91–99, 2016.
- [53] S. Abras, S. Ploix, S. Pesty e M. Jacomino, “A multi-agent home automation system for power management”, em *Informatics in Control Automation and Robotics*, Springer, 2008, pp. 59–68.
- [54] L. Klein, J.-y. Kwak, G. Kavulya, F. Jazizadeh, B. Becerik-Gerber, P. Varakantham e M. Tambe, “Coordinating occupant behavior for building energy and comfort management using multi-agent systems”, *Automation in construction*, vol. 22, pp. 525–536, 2012.

- [55] B. Qiao, K. Liu e C. Guy, “A multi-agent system for building control”, em *Proceedings of the IEEE/WIC/ACM international conference on Intelligent Agent Technology*, IEEE Computer Society, 2006, pp. 653–659.
- [56] P. L. Javier de las Morenas Carolina Miller da Silva e J. Barbosa, “Low cost integration of iot technologies for building automation”, 2019.
- [57] NodeRED, [www.nodered.org](http://www.nodered.org), Accessed: 2019-07-30, 2019.
- [58] OpenWeather, [www.openweathermap.org](http://www.openweathermap.org), Accessed: 2019-07-30, 2019.
- [59] G. Ramos e E. Ghisi, “Comparação de iluminâncias internas e externas obtidas por meio de simulação computacional”, *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, vol. 12, 2008.
- [60] Eclipse, [www.eclipse.org/paho/components/mqtt-spy](http://www.eclipse.org/paho/components/mqtt-spy), Accessed: 2019-07-30, 2019.
- [61] A.-R. Sadeghi, C. Wachsmann e M. Waidner, “Security and privacy challenges in industrial internet of things”, em *2015 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)*, IEEE, 2015, pp. 1–6.
- [62] H. Packard, *Hp study reveals 70 percent of internet of things devices vulnerable to attack*, <https://www8.hp.com/us/en/hp-news/press-release.html?id=1744676#.V0TykPnF-ok>, jul. de 2014.
- [63] B. D. Weinberg, G. R. Milne, Y. G. Andonova e F. M. Hajjat, “Internet of things: Convenience vs. privacy and secrecy”, *Business Horizons*, vol. 58, n° 6, pp. 615–624, 2015.

# Apêndice A

## Proposta Original do Projeto

# **Proposta de Dissertação / Projeto Mestrado em Engenharia Industrial 2018/2019**

**Título Provisório: Ajuste dinâmico e automático de iluminação em sistemas industriais e edifícios usando tecnologias de IoT**

---

**Aluno de mestrado:**

**Orientador:** Paulo Leitão

**Co-Orientador:** José Barbosa e Vitor Sousa

## **Principais objetivos a atingir:**

O objetivo deste trabalho consiste no estudo e desenvolvimento de uma solução que visa o ajuste automático e dinâmico de iluminação em sistemas de industriais e em edifícios. Desta forma, o sistema a desenvolver deverá contemplar o desenvolvimento de uma aplicação móvel, um elemento sensorizador e a posterior atuação nas células existentes no Laboratório de Investigação e Inovação (L2I), através do uso do protocolo MQTT, e o controlo de iluminação ambiente do L2I usando o protocolo KNX.

## **Resultados esperados:**

Pretende-se desenvolver uma solução que permita, de uma forma automática e dinâmica, efetuar o ajuste das condições desejáveis de iluminação das células existentes do L2I, assim como o controlo do nível de conforto, na variável iluminação, do nível de iluminação do L2I.

## **Caracterização do trabalho**

A utilização de tecnologias baseadas em Internet of Things (IoT) permite automatizar e agilizar a troca de informação entre dispositivos constituintes de um sistema. No caso da presente proposta, é pretendido o desenvolvimento de uma aplicação móvel que permita ao utilizador definir o nível de iluminação desejado de um determinado espaço (e.g., célula existente no L2I e/ou nível de iluminação ambiente do L2I). Uma vez definido, o sistema deverá permitir a troca de informação entre um elemento de sensorização (capaz de medir o nível de iluminação do ambiente onde está inserido) e o elemento controlador (i.e. o que permite ajustar a iluminação do espaço). Desta forma, o sistema deverá, de forma dinâmica e automática ajustar o nível de iluminação ao pretendido pelo utilizador.

É de realçar que a solução a desenvolver deverá permitir uma multitude de protocolos de controlo, nomeadamente MQTT e KNX.

## **Calendarização das fases do trabalho:**

O desenvolvimento da presente proposta de trabalho será realizado através da execução das seguintes etapas:

1. Familiarização com o problema de sensorização de iluminação e controlo de iluminação usando técnicas de variação de tensão (M1-M2)
2. Desenvolvimento do sistema de sensorização (M2 – M3)
3. Desenvolvimento do sistema de controlo de iluminação da célula (M3 – M4)
4. Desenvolvimento da aplicação móvel (M3-M6)
5. Implementação dos protocolos de envio e troca de informação entre os diversos elementos (M4 – M7)
6. Testes e validação do protótipo (M7 – M10)
7. Escrita da dissertação e defesa final do trabalho (M10 - M11)

**Palavras-chave:** IoT, sensorização, instrumentação.

**Infraestruturas a utilizar:**

Este trabalho será desenvolvido no Laboratório de Investigação e Inovação (L2).

Declaro que aceito realizar este projeto de dissertação segundo o plano apresentado

---

(O aluno de mestrado)

Declaro que aceito orientar a preparação deste projeto de dissertação segundo o plano apresentado

---

(O orientador)

Declaro que aceito orientar a preparação deste projeto de dissertação segundo o plano apresentado

---

(O co-orientador)

# Apêndice B

## Arquivo *Group Addresses*



## Group Addresses Detail




**Project:** kit knx projeto


Start Date	sábado, 2 de dezembro de 2017
Import Date	segunda-feira, 5 de novembro de 2018
Print Date	terça-feira, 22 de janeiro de 2019
Print Time	09:31:02

Legend

 Main group

 Device












 Group Address

 Middle group

Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	Description	C (Central) / P (")			
Group Address	Name	Type	Description	Comment			
	0	LCAR					
	0/0	Sala Aula					
	0/0/1	Iluminação On Off	1 Bit				
							- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
01.00.001 2	IP-Controller	Functionblock type: DPT_Bool	Quadro Domótica KNX_PRG.sala_aula_iluminacao	boolean	0/0/1S	Low	C-WTU-
01.01.001 30	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 4, general		Switch object		0/0/1S 0/2/9	Low	C-W---
01.01.005 0	Push-button, 2-gang plus, room temp. control Push-button 1		Sala Aulas LCAR Switch object		0/0/1S	Low	C-WT--
	0/0/2	Iluminação Dimming	4 bit				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
01.01.001 31	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 4, general		Dimming object		0/0/2S	Low	C-W---
01.01.005 1	Push-button, 2-gang plus, room temp. control Push-button 1		Sala Aulas LCAR Dimming object		0/0/2S	Low	C-WT--











Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")				
Group Address	Name	Type	Description				
			Comment				
 0/0	<b>Sala Aula</b>		-				
 0/0/3	Aquecimento_valv_pos	1 Byte	- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 19	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.sala_aula_controller _correcting_variable_h	counter pulses (0..255)	0/0/3S	Low	C-WTU-
 01.01.003 271	<b>KNX Heating Act. REG-K/6x24/230/0.16A</b> Command value		<b>Quadro Domótica</b> Valve output 6 - Input		0/0/3S	Low	C-W-U-
 01.01.005 62	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Control		<b>Sala Aulas LCAR</b> Correcting variable heating (basic level)		0/0/3S	Low	CR-T-
 0/0/4	Aquecimento modo	1 Byte	- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 8	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.change_sala_aula_ heating_profile	counter pulses (0..255)	0/0/4S	Low	C-WTU-
 01.01.005 48	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Control		<b>Sala Aulas LCAR</b> Operation mode input		0/0/4S	Low	C-W---
 0/0/5	Aquecimento Setpoint	2 Bytes	- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 10	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_Temp	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.sala_aula_set_point _config	temperature (°C)	0/0/5S	Low	C-WTU-
 01.01.005 41	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Control		<b>Sala Aulas LCAR</b> Current setpoint temperature input		0/0/5S	Low	C-W---









Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description			P (Passthrough Line Coupler)		
Middle group		Comment					
Group Address	Name	Type	Description	C (Central) / P (")			
			Comment				
	0/0	Sala Aula			-		
	0/0/6	iluminacao_dimming_remoto	1 Byte		- / -		
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
01.00.001 3	IP-Controller	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	Quadro Domótica KNX_PRG.sala_aula_dimming	counter pulses (0..255)	0/0/6S	Low	C-WTU-
01.01.001 32	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 4, general		Value object		0/0/6S	Low	C-W---
	0/0/7	aquecimento_atual_setpoint	2 Bytes				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
01.00.001 14	IP-Controller	Functionblock type: DPT_Value_Temp	Quadro Domótica KNX_PRG.sala_aula_atual_setpoint	temperature (°C)	0/0/7S	Low	C-WTU-
01.01.005 51	Push-button, 2-gang plus, room temp. control Control		Sala Aulas LCAR Current setpoint temperature output		0/0/7S	Low	CR-T-
	0/0/8	temperatura	2 Bytes				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
01.00.001 17	IP-Controller	Functionblock type: DPT_Value_Temp	Quadro Domótica KNX_PRG.sala_aula_atual_temperatura	temperature (°C)	0/0/8S	Low	C-WTU-
01.01.005 52	Push-button, 2-gang plus, room temp. control Control		Sala Aulas LCAR Current actual temperature output		0/0/8S	Low	CR-T-









Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")				
Group Address	Name	Type	Description				
			Comment				
	<b>0/0</b>	<b>Sala Aula</b>	-				
	0/0/9	temperature Controller Status	1 Byte				
			- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		Quadro Domótica			
25		Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	KNX_PRG.sala_aula_controller_status	counter pulses (0..255)	0/0/9S	Low	C-WTU-
	01.01.005	Push-button, 2-gang plus, room temp. control		Sala Aulas LCAR			
60		Control	Status		0/0/9S	Low	CR-T-
	0/0/10	Air Quality CO2	2 bytes				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		Quadro Domótica			
30		Functionblock type: DPT_Value_Pres	KNX_PRG.sala_aula_lcar_AirQualityCO2	pressure (Pa)	0/0/10S	Low	C-WTU-
	01.01.009	KNX CO2, Humidity and Temperature Sensor		Sala Aulas LCAR			
0		Physical value	CO2 Value		0/0/10S	Low	CR-T-
	0/0/11	Air Quality HR	1 byte				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		Quadro Domótica			
31		Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	KNX_PRG.sala_aula_lcar_AirQualityHR	counter pulses (0..255)	0/0/11S	Low	C-WTU-
	01.01.009	KNX CO2, Humidity and Temperature Sensor		Sala Aulas LCAR			
1		Physical value	Rel. humidity value		0/0/11S	Low	CR-T-












Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	Comment		P (Passthrough Line Coupler)		
Group Address	Name	Type	Description	C (Central) / P (")			
 0/0	<b>Sala Aula</b>				-		
 0/0/12	Air Quality Temperature	2 bytes			- / -		
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 32	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_Temp	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.sala_aula_lcar_AirQ ualityTemp	temperature (°C)	0/0/12S	Low	C-WTU-
 01.01.009 2	<b>KNX CO2, Humidity and Temperature Sensor</b> Physical value		<b>Sala Aulas LCAR</b> Temperature value		0/0/12S	Low	CR-T-
 0/0/13	nivel iluminação	1 byte					- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 27	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.Sala_Aula_Local_Di mming	counter pulses (0..255)	0/0/13S	Low	C-WTU-
 01.01.001 39	<b>KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W</b> Channel 4, status feedback		Status feedback value object / brightness value		0/0/13S	Low	CR-T-
 0/1	<b>Bolseiros</b>						-











Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description			P (Passthrough Line Coupler)		
Middle group		Comment					
Group Address	Name	Type	Description	Comment	C (Central) / P (")		
 0/1	<b>Bolseiros</b>				-		
 0/1/0	Iluminação On Off	1 Bit			- / -		
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001	<b>IP-Controller</b>		<b>Quadro Domótica</b>				
0		Functionblock type: DPT_Bool	KNX_PRG.bolseiros_iluminacao	boolean	0/1/0S	Low	C-WTU-
 01.01.001	<b>KNX uni.dim.actuat. LL</b> <b>REG-K/4x230/250 W</b> Channel 1, general		Switch object		0/1/0S 0/2/9	Low	C-W---
 01.01.006	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Push-button 1		<b>Bolseiros</b> Switch object		0/1/0S	Low	C-WT--
 0/1/1	Iluminação Dimming	4 bit					- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.01.001	<b>KNX uni.dim.actuat. LL</b> <b>REG-K/4x230/250 W</b> Channel 1, general		Dimming object		0/1/1S	Low	C-W---
1							
 01.01.006	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Push-button 1		<b>Bolseiros</b> Dimming object		0/1/1S	Low	C-WT--
1							










Group Addresses Detail **kit\_knx\_projeto**

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")				
Group Address	Name	Type	Description				
			Comment				
	<b>0/1</b>	<b>Bolseiros</b>	-				
	0/1/2	Climatização Aquecimento	1 Byte				
							
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 21	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.bolseiros_controller _correcting_variable_h	counter pulses (0..255)	0/1/2S 0/1/3	Low	C-WTU-
 01.01.004 0	<b>KNX Fan coil actuator REG-K</b> receive		<b>Quadro Domótica</b> Actuating value heating		0/1/2S	Low	CRW-U-
 01.01.006 62	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Control		<b>Bolseiros</b> Correcting variable heating (basic level)		0/1/2S	Low	CR-T-
	0/1/3	Climatização Arrefecimento	1 Byte				- / -
							
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 21	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.bolseiros_controller _correcting_variable_h	counter pulses (0..255)	0/1/2S 0/1/3	Low	C-WTU-
 01.01.004 1	<b>KNX Fan coil actuator REG-K</b> receive		<b>Quadro Domótica</b> Actuating value cooling		0/1/3S	Low	CRW-U-
 01.01.006 65	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Control		<b>Bolseiros</b> Correcting variable cooling (basic level)		0/1/3S	Low	CR-T-










Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")				
Group Address	Name	Type	Description				
			Comment				
	<b>0/1</b>	<b>Bolseiros</b>	-				
	0/1/4	Climatização Modo	1 Byte				
			- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		<b>Quadro Domótica</b>			
6		Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	KNX_PRG.change_bolseiros_heating_profile	counter pulses (0..255)	0/1/4S	Low	C-WTU-
	01.01.006	Push-button, 2-gang plus, room temp. control		<b>Bolseiros</b>			
48		Control	Operation mode input		0/1/4S	Low	C-W---
	0/1/5	config Setpoint	2 Bytes				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		<b>Quadro Domótica</b>			
9		Functionblock type: DPT_Value_Temp	KNX_PRG.bolseiros_set_point_config	temperature (°C)	0/1/5S	Low	C-WTU-
	01.01.006	Push-button, 2-gang plus, room temp. control		<b>Bolseiros</b>			
41		Control	Current setpoint temperature input		0/1/5S	Low	C-W---
	0/1/6	actual Setpoint	2 Bytes				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		<b>Quadro Domótica</b>			
12		Functionblock type: DPT_Value_Temp	KNX_PRG.bolseiros_actual_set_point	temperature (°C)	0/1/6S	Low	C-WTU-
	01.01.006	Push-button, 2-gang plus, room temp. control		<b>Bolseiros</b>			
51		Control	Current setpoint temperature output		0/1/6S	Low	CR-T-

Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name		Description				P (Passthrough Line Coupler)
Middle group			Comment				
Group Address	Name	Type	Description				C (Central) / P (")
			Comment				
	0/1	<b>Bolseiros</b>					-
	0/1/7	Veneziana move	1 Bit				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 22	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_UpDown	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.bolseiros_veneziana _move	up/down	0/1/7S	Low	C-WTU-
 01.01.002 38	<b>Roller shutter actuator REG-K/4x/10 w. man. mode</b> Channel 3		<b>Quadro Domótica</b> Movement object in manual mode		0/1/7S	Low	C-W---
 01.01.006 4	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Push-button 2		<b>Bolseiros</b> Movement object		0/1/7S	Low	C-WT--
	0/1/8	Veneziana stop	1 Bit				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 24	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_UpDown	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.bolseiros_veneziana _stop	up/down	0/1/8S	Low	C-WTU-
 01.01.002 39	<b>Roller shutter actuator REG-K/4x/10 w. man. mode</b> Channel 3		<b>Quadro Domótica</b> Stop object in manual mode		0/1/8S	Low	C-W---
 01.01.006 3	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Push-button 2		<b>Bolseiros</b> Stop/step object		0/1/8S	Low	C-WT--



Group Addresses Detail **kit\_knx\_projeto**




Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")				
	<b>0/1 Bolseiros</b>		-				
	0/1/9 iluminacao_dimming_remoto	1 Byte	- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller	Quadro Domótica				
5		Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	KNX_PRG.bolseiros_dimming	counter pulses (0..255)	0/1/9S	Low	C-WTU-
	01.01.001	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 1, general					
2			Value object		0/1/9S	Low	C-W---
	0/1/10 climatizacao status	1 byte					- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.01.006	Push-button, 2-gang plus, room temp. control	Bolseiros				
57		Control	Operation mode output		0/1/10S	Low	CR-T--
	0/1/11 temperature	2 Bytes					- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller	Quadro Domótica				
15		Functionblock type: DPT_Value_Temp	KNX_PRG bolseiros_actual_temperature	temperature (°C)	0/1/11S	Low	C-WTU-
	01.01.006	Push-button, 2-gang plus, room temp. control	Bolseiros				
52		Control	Current actual temperature output		0/1/11S	Low	CR-T--



Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description					P (Passthrough Line Coupler)	
Middle group		Comment						
Group Address	Name	Type	Description			C (Central) / P (")		
			Comment					
	<b>0/1</b>	<b>Bolseiros</b>						-
	0/1/12	fan_coil_step	1 Byte			- / -		
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags	
01.00.001 18	IP-Controller	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	Quadro Domótica	counter pulses (0..255)	0/1/12S	Low	C-WTU-	
01.01.004 4	KNX Fan coil actuator REG-K report		Quadro Domótica		0/1/12S	Low	CR-TU-	
	0/1/13	temperature control status	1 Byte			- / -		
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags	
01.00.001 23	IP-Controller	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	Quadro Domótica	counter pulses (0..255)	0/1/13S	Low	C-WTU-	
01.01.006 60	Push-button, 2-gang plus, room temp. control Control		Bolseiros		0/1/13S	Low	CR-T--	
	0/1/14	nivel iluminacao	1 byte			- / -		
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags	
01.00.001 29	IP-Controller	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	Quadro Domótica	counter pulses (0..255)	0/1/14S	Low	C-WTU-	
01.01.001 9	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 1, status feedback		Status feedback value object / brightness value		0/1/14S	Low	CR-T-	
	<b>0/2</b>	<b>Gabinete de Apoio</b>						-

Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")
Group Address	Name	Type	Description
			Comment
 0/2	<b>Gabinete de Apoio</b>		-
 0/2/0	Iluminação On Off	1 Bit	- / -

Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.00.001 1	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Bool	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.gabinete_apoio_iluminacao	boolean	0/2/0S	Low	C-WTU-
 01.01.001 10	<b>KNX uni.dim.actuat. LL</b> REG-K/4x230/250 W Channel 2, general		Switch object		0/2/0S 0/2/9	Low	C-W---
 01.01.007 0	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Push-button 1		<b>Gabinete Apoio</b> Switch object		0/2/0S	Low	C-WT--

Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
 01.01.001 11	<b>KNX uni.dim.actuat. LL</b> REG-K/4x230/250 W Channel 2, general		Dimming object		0/2/1S	Low	C-W---
 01.01.007 1	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Push-button 1		<b>Gabinete Apoio</b> Dimming object		0/2/1S	Low	C-WT--

Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")				
Group Address	Name	Type	Description				
			Comment				
	<b>0/2</b>	<b>Gabinete de Apoio</b>	-				
	0/2/2	Aquecimento_valv_pos	1 Byte				
			- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
01.00.001 20	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.gabinete_apoio_controller_correcting_varia	counter pulses (0..255)	0/2/2S	Low	C-WTU-
01.01.003 221	<b>KNX Heating Act. REG-K/6x24/230/0.16A</b> Command value		<b>Quadro Domótica</b> Valve output 5 - Input		0/2/2S	Low	C-W-U-
01.01.007 62	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Control		<b>Gabinete Apoio</b> Correcting variable heating (basic level)		0/2/2S	Low	CR-T-
	0/2/3	Aquecimento Modo	1 Byte				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
01.00.001 7	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.change_gabinete_apoio_heating_profile	counter pulses (0..255)	0/2/3S	Low	C-WTU-
01.01.007 48	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Control		<b>Gabinete Apoio</b> Operation mode input		0/2/3S	Low	C-W---
	0/2/4	Aquecimento Setpoint	2 Bytes				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
01.00.001 11	<b>IP-Controller</b>	Functionblock type: DPT_Value_Temp	<b>Quadro Domótica</b> KNX_PRG.gabinete_apoio_setpoint_config	temperature (°C)	0/2/4S	Low	C-WTU-
01.01.007 40	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b> Control		<b>Gabinete Apoio</b> Setpoint adjustment input		0/2/4S	Low	C-W---

Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")				
Group Address	Name	Type	Description				
			Comment				
	<b>0/2</b>	<b>Gabinete de Apoio</b>	-				
	0/2/5	iluminacao_dimming_remoto	1 Byte				
			- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		Quadro Domótica			
	4	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	KNX_PRG.gabinete_apoio_dimming	counter pulses (0..255)	0/2/5S	Low	C-WTU-
	01.01.001	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 2, general		Value object			
	12				0/2/5S	Low	C-W---
	0/2/6	aquecimento_atual_setpoint	2 Bytes				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		Quadro Domótica			
	13	Functionblock type: DPT_Value_Temp	KNX_PRG.gabinete_apoio_ataual_set_point	temperature (°C)	0/2/6S	Low	C-WTU-
	01.01.007	Push-button, 2-gang plus, room temp. control		Gabinete Apoio			
	51	Control	Current setpoint temperature output		0/2/6S	Low	CR-T-
	0/2/7	aquecimento_status	1 Byte				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	01.00.001	IP-Controller		Quadro Domótica			
	26	Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	KNX_PRG.gabinete_apoio_controller_status	counter pulses (0..255)	0/2/7S	Low	C-WTU-
	01.01.007	Push-button, 2-gang plus, room temp. control		Gabinete Apoio			
	60	Control	Status		0/2/7S	Low	CR-T-












Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	P (Passthrough Line Coupler)				
Middle group	Name	Type	C (Central) / P (")				
Group Address	Name	Type	Description				
			Comment				
	<b>0/2</b>	<b>Gabinete de Apoio</b>	-				
	0/2/8	temperature	2 Bytes				
			- / -				
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	<b>01.00.001</b>	<b>IP-Controller</b>		<b>Quadro Domótica</b>			
16		Functionblock type: DPT_Value_Temp	KNX_PRG.gabinete_apoio_act ual_temperature	temperature (°C)	0/2/8S	Low	C-WTU-
	<b>01.01.007</b>	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b>		<b>Gabinete Apoio</b>			
52		Control	Current actual temperature output		0/2/8S	Low	CR-T-
	0/2/9	iluminação all Off	1 bit				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	<b>01.01.001</b>	<b>KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W</b>					
0		Channel 1, general	Switch object		0/1/0S 0/2/9	Low	C-W---
10		Channel 2, general	Switch object		0/2/0S 0/2/9	Low	C-W---
20		Channel 3, general	Switch object		1/0/0S 0/2/9	Low	C-W---
30		Channel 4, general	Switch object		0/0/1S 0/2/9	Low	C-W---
	<b>01.01.007</b>	<b>Push-button, 2-gang plus, room temp. control</b>		<b>Gabinete Apoio</b>			
9		Push-button 4	Switch object A		0/2/9S	Low	C-WT--
	0/2/10	nível iluminação	1 byte				- / -
Device Objects	Product Function Text	Description	Room Text	Comment Datapoint Type	Group Addresses	Priority	Flags
	<b>01.00.001</b>	<b>IP-Controller</b>		<b>Quadro Domótica</b>			
28		Functionblock type: DPT_Value_1_Ucount	KNX_PRG.Gabinete_Apoio_Lo cal_Dimming	counter pulses (0..255)	0/2/10S	Low	C-WTU-
	<b>01.01.001</b>	<b>KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W</b>					
19		Channel 2, status feedback	Status feedback value object / brightness value		0/2/10S	Low	CR-T-

Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name	Description	Comment	P (Passthrough Line Coupler)			
Middle group	Name	Type	Description	C (Central) / P (")			
Group Address	Name	Type	Description	Comment			
1	LSE			-			
1/0	Sala Aula			-			
1/0/0	iluminação on/off	1 bit		- / -			
<b>Device Objects</b>	<b>Product Function Text</b>	<b>Description</b>	<b>Room Text</b>	<b>Comment Datapoint Type</b>	<b>Group Addresses</b>	<b>Priority</b>	<b>Flags</b>
01.01.001 20	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 3, general		Switch object		1/0/0S 0/2/9	Low	C-W---
01.01.008 0	Push-button, 2-gang plus, room temp. control Push-button 1		Switch object	Sala de Aula LSE	1/0/0S	Low	C-WT--
1/0/1	iluminação dimming	4 bit				- / -	
<b>Device Objects</b>	<b>Product Function Text</b>	<b>Description</b>	<b>Room Text</b>	<b>Comment Datapoint Type</b>	<b>Group Addresses</b>	<b>Priority</b>	<b>Flags</b>
01.01.001 21	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 3, general		Dimming object		1/0/1S	Low	C-W---
01.01.008 1	Push-button, 2-gang plus, room temp. control Push-button 1		Dimming object	Sala de Aula LSE	1/0/1S	Low	C-WT--
1/0/2	nível iluminação	1 byte				- / -	
<b>Device Objects</b>	<b>Product Function Text</b>	<b>Description</b>	<b>Room Text</b>	<b>Comment Datapoint Type</b>	<b>Group Addresses</b>	<b>Priority</b>	<b>Flags</b>
01.01.001 29	KNX uni.dim.actuat. LL REG-K/4x230/250 W Channel 3, status feedback		Status feedback value object / brightness value		1/0/2S	Low	CR-T--
2	meteo					-	

Group Addresses Detail [kit\\_knx\\_projeto](#)

Main group	Name		Description				P (Passthrough Line Coupler)		
Middle group	Name	Type	Description	Comment			C (Central) / P (")		
	2	meteo					-		
	2/0	weather					-		
	2/0/0	Brightness	2 bytes				- / -		
	<i>Device</i>	<i>Product</i>	<i>Description</i>	<i>Room</i>	<i>Comment</i>	<i>Datapoint Type</i>	<i>Group Addresses</i>	<i>Priority</i>	<i>Flags</i>
	Objects	Function Text		Text					
	01.01.011	KNX weather station basic		weather					
	0	Physical value		Brightness value		2/0/0S		Low	CR-T-
	2/0/1	Temperature	2 bytes				- / -		
	<i>Device</i>	<i>Product</i>	<i>Description</i>	<i>Room</i>	<i>Comment</i>	<i>Datapoint Type</i>	<i>Group Addresses</i>	<i>Priority</i>	<i>Flags</i>
	Objects	Function Text		Text					
	01.01.011	KNX weather station basic		weather					
	1	Physical value		Temperature value		2/0/1S		Low	CR-T-
	2/0/2	wind speed	2 bytes				- / -		
	<i>Device</i>	<i>Product</i>	<i>Description</i>	<i>Room</i>	<i>Comment</i>	<i>Datapoint Type</i>	<i>Group Addresses</i>	<i>Priority</i>	<i>Flags</i>
	Objects	Function Text		Text					
	01.01.011	KNX weather station basic		weather					
	2	Physical value		Wind speed		2/0/2S		Low	CR-T-
	2/0/3	Rain	1 bit				- / -		
	<i>Device</i>	<i>Product</i>	<i>Description</i>	<i>Room</i>	<i>Comment</i>	<i>Datapoint Type</i>	<i>Group Addresses</i>	<i>Priority</i>	<i>Flags</i>
	Objects	Function Text		Text					
	01.01.011	KNX weather station basic		weather					
	3	Rain / no rain		Rain sensor		2/0/3S		Low	CR-T-
	2/0/4	Sun Control	1 bit				- / -		
	<i>Device</i>	<i>Product</i>	<i>Description</i>	<i>Room</i>	<i>Comment</i>	<i>Datapoint Type</i>	<i>Group Addresses</i>	<i>Priority</i>	<i>Flags</i>
	Objects	Function Text		Text					
	01.01.011	KNX weather station basic		weather					
	15	Morning=1 / Evening=0		C3 Sun control		2/0/4S		Low	CRW--

# Apêndice C

## Gravações do Programa em Funcionamento

- Sala L2I, regra Nublado, *Setpoint* 4000 Lux:

- [https://drive.google.com/file/d/1h\\_UQy6yKf0MoOULFDILbnLLrSDmREaLT/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1h_UQy6yKf0MoOULFDILbnLLrSDmREaLT/view?usp=sharing)

- Funcionamento da Interface Homem-Máquina:

- [https://drive.google.com/file/d/1HZJG\\_UAnHST1x1bJEfCeGN5bL1ZCwTPn/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1HZJG_UAnHST1x1bJEfCeGN5bL1ZCwTPn/view?usp=sharing)

- Sala L2I, modo manual:

- <https://drive.google.com/file/d/10atWPnddbegHgXOUmnSNAvrfSI5QkrcB/view?usp=sharing>