



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E

TECNOLOGIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**Planificação, Monitorização e Controlo da
Energia Elétrica de um Edifício**

**João Miguel Ramalho de Melo
Rodrigues**

Orientação: Professor Mouhaydine Tlemçani

Eng^o David Cravinho

**Mestrado de Engenharia da Energia
Solar**

Dissertação

Évora, 2016



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E

TECNOLOGIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**Planificação, Monitorização e Controlo da
Energia Elétrica de um Edifício**

**João Miguel Ramalho de Melo
Rodrigues**

Orientação: Professor Mouhaydine Tlemçani

Eng^o David Cravinho

**Mestrado de Engenharia da Energia
Solar**

Dissertação

Évora, 2016

Agradecimentos

Quero agradecer ao meu Pai e minha Mãe, pelo esforço continuado e contribuição para realizar esta dissertação, sem eles nada seria possível.

Endereço também os meus agradecimentos ao professor Mouhaydine Tlemçani e ao David Cravinho pela sua disponibilidade como orientadores do meu trabalho que conhece agora o seu término. As suas ações e empenho foram determinantes para a concretização deste projeto. Agradeço também toda a ajuda que foi disponibilizada pelo José Ventura, colaborador da ADRAL e André Dinis.

Resumo – Planificação, Monitorização e Controlo da Energia Elétrica de um Edifício

Esta dissertação aborda uma metodologia fundamental para a eficiência energética em qualquer edifício. O objeto passa por uma primeira análise ao edifício. Essa análise identifica maior parte dos agentes que afetam a eficiência energética do sistema, desde equipamentos, climatização, iluminação, parâmetros solares que afetam as condições de conforto térmico do utilizador, com algumas medições experimentais.

A análise complementa-se com um estudo comparativo entre medições experimentais e resultados gerados por um software de simulação 3D de Mecânica de Fluidos Computacional, que relaciona parâmetros térmicos e solares. A segunda abordagem passa pela planificação, configuração e instalação de um sistema de monitorização existente no mercado, com apresentação de melhorias que permitem a abrangência de medições de vários parâmetros que incluem temperaturas, humidade e consumos elétricos.

São registadas todas essas medições em base de dados, incluindo visualização gráfica. Essa base de dados permite avançar para o próximo passo: o controlo. Esta área é composta por vários tipos de tecnologias e metodologias, pelo que é apenas abordada uma simples previsão de resultados com recurso a princípios básicos de decisão automática, que podem permitir o controlo prévio de todas as variáveis que afetam a eficiência energética. Por fim são feitas algumas referências ao potencial que esta dissertação poderá ter no futuro.

Abstract – **Planing, Monitoring and Control of Eletric Energy for a Building**

This dissertation addresses a fundamental methodology for energy efficiency in any building. The object goes through a first analysis of the building. This analysis identifies most of the agents that affect the energy efficiency of the system, from equipment, air conditioning, lighting, solar parameters that affect the thermal comfort conditions of the user, with some experimental measurements.

The analysis is complemented by a comparative study between experimental measurements and results generated by a 3D simulation software of Computational Fluid Mechanics, which relates thermal and solar parameters. The second approach involves the planning, configuration and installation of a monitoring system in the market, with improvements that allow the measurement of various parameters including temperature, humidity and electrical consumption.

All such measurements are recorded in a database, including graphic display. This database allows to move to the next step: the control. This area is composed of several types of technologies and methodologies, so it is only a simple forecast of results using basic principles of automatic decision, which can allow the prior control of all variables that affect energy efficiency. Finally, some references are made to the potential that this dissertation may have in the future.

Conteúdo

I. Abordagem	xi
1. Estado de Arte	xi
2. Introdução	2
II. Desenvolvimento	3
3. Análise e modelação do edifício	3
3.1. Dados gerais	4
3.2. Regime e ocupação	5
3.3. Dados térmicos	7
3.3.1. Recolha de temperatura e humidade	10
3.3.2. Equipamento AVAC	13
3.3.3. Unidades terminais	13
3.4. Iluminação	13
3.4.1. Recolha de luminosidade	13
3.5. Outros equipamentos	15
3.6. Modelação	17
3.6.1. Teoria	17
3.6.2. Modelos 3D	19
3.6.3. Simulação	19
3.6.4. Conforto térmico	21
3.6.5. Resultados da simulação	23
4. Monitorização	27
4.1. O que é IoT?	27
4.2. Arquitetura de uma solução IoT Geral	28
4.2.1. Primeira Camada (Node Layer)	28
4.2.2. Segunda Camada (Gateway Layer)	29
4.2.3. Terceira Camada (Server Layer)	30
4.2.4. Quarta Camada (User Layer)	30
4.3. Solução IoT - Aplicação	31
4.3.1. Planeamento, Configuração e Instalação	32
4.3.2. Resultados da monitorização	34
4.4. Solução IoT - Melhorias	37
4.4.1. Node de corrente/tensão elétrica	38
4.4.2. Node de temperatura / humidade	40
4.4.3. Node de luminosidade	41

5. Controlo	42
5.1. Introdução ao Machine Learning	42
5.2. Previsão	43
III. Conclusão	46
IV. Trabalho futuro	47

Lista de Figuras

1.	Porcentagem de ocupação média diária (num período de 24 horas) total por divisão numerada.	6
2.	Câmara térmica FLIR usada	7
3.	Ambiente gráfico do software FLIR Tools	9
4.	Sensor de temperatura e humidade da TESTO	10
5.	Ambiente gráfico do software do sensor TESTO	11
6.	Curva de temperatura e humidade da sala 3 desde os dias 15 a 20 de julho de 2016.	11
7.	Gráfico pontual de luminosidade da sala 5	14
8.	Gráfico de barras de percentagem de utilização dos equipamentos.	16
9.	Ambiente gráfico do Solidworks® Flow Simulation®	17
10.	Modelo 3D geral da Sala 5	19
11.	Plot PMV de um plano de corte perto da pessoa	23
12.	Plot de temperatura (Celsius)	24
13.	Plot de humidade relativa percentual (Vista 1)	24
14.	Plot de humidade relativa percentual (Vista 2)	25
15.	Imagem ilustrativa do conceito IoT	27
16.	Ilustração das várias camadas de IoT	28
17.	Ilustração da primeira camada	29
18.	Ilustração da segunda camada	29
19.	Ilustração da terceira camada	30
20.	Ilustração da quarta camada	30
21.	Arquitetura da solução IoT OEM	31
22.	Esquema de comunicação do protocolo UART	33
23.	Janela do Win32DiskImager®	33
24.	Gráfico do consumo do node 6 (Vista diária)	35
25.	Gráfico do consumo do node 6 (Vista semanal)	35
26.	Gráfico do consumo do node 6 (Vista mensal)	36
27.	Gráfico do consumo do node 6 (Vista anual)	36
28.	Esquema elétrico do sensor	38
29.	Esquema elétrico de divisor de tensão para o Micro-controlador	39
30.	Esquema de ligações para o sensor DHT11	40
31.	Esquema eletrónico para o sensor LDR	41
32.	Exemplo de seleção de email de spam/não spam	42
33.	Dados dispersos e previsões de Clusters.	43
34.	Interface com PyCharm	44
35.	Diagrama de decisão	45
36.	Modelo 3D do edifício do Évoratech	47
37.	Exemplo de controlador Wireless monofásico	48
38.	Planta do edifício Évoratech	52
39.	Posição dos componentes no edifício	53
40.	Quadro geral	54

41.	Quadro do AVAC	54
42.	Quadro parcial	55
43.	Foto térmica da Sala 5 - Vista para as janelas	55
44.	Foto térmica da Sala 5 - Equipamentos	55
45.	Foto térmica da Sala 5 - Iluminações	56
46.	Foto térmica da Sala 5 - Ventilador	56
47.	Foto térmica da Sala 5 - Portátil	56
48.	Foto térmica da Sala 5 - Parte exterior (Recolhida pelas 10h)	57
49.	Foto térmica da Sala 3 - Unidade térmica	57
50.	Foto térmica dos tubos de água das unidades terminais	57
51.	Tubos de circulação de água quente/fria (AVAC)	58
52.	Equipamento de iluminação	58
53.	Equipamentos - UPS, PC fixo, Monitor, Impressora 3D e Portátil	59
54.	Atribuições dos componentes	60
55.	Sensor de corrente elétrica SCT-013-000	61
56.	OEM EmonTx	61
57.	OEM EmonBase	62
58.	Interface do EmonCMS - Dashboards	62
59.	Instalação no quadro geral	63
60.	Transformadores para medição de tensão AC no quadro geral	64
61.	Instalação do equipamento no Quadro Parcial	65
62.	Transformadores para medição de tensão AC no quadro parcial	65
63.	Editor EmonHub	66
64.	Registo de entrada de pacotes de informação do EmonHub	66
65.	Registo de mensagens MQTT no editor EmonHub	67
66.	Visualização de cada node	67
67.	Protótipo de PCB do node de corrente/tensão elétrica	68
68.	Esquema elétrico da PCB do node de corrente/tensão elétrica	69
69.	Esquema da PCB do node de temperatura / humidade	70
70.	Esquema elétrico da PCB do node de temperatura / humidade	71
71.	Esquema da PCB do node de luminosidade	72
72.	Esquema elétrico da PCB do node de luminosidade	73

Lista de Tabelas

1.	Áreas correspondentes a cada sala do edifício	4
2.	Regime e ocupação do Évoratech	5
3.	Especificações da Câmara térmica FLIR	8
4.	Especificações do sensor TESTO	10
5.	Valores medidos de temperatura e humidade da sala 3 para o dia 17/07/2016	11
6.	Inventário de outros equipamentos	15
7.	Propriedades dos materiais usados	20
8.	Escala de PMV	21
9.	Designação de variáveis de conforto.	23
10.	Valores mínimos, máximos e médios	25
11.	Erros entre simulação e experimental	26
12.	Especificações do sensor SCT-013-000	38
13.	Especificações do sensor DHT11	40
14.	Especificações do sensor PDV-P8001	41
15.	Lista de equipamentos monitorizados	51

Nomenclatura

ESRE	- Entidade Reguladora de Serviços Energéticos.
IPMA	- Instituto Português do Mar e Atmosfera.
IoT	- Internet of things (Internet das coisas).
IBM	- International Business Machines.
PID	- Proportional Integral Derivative.
UTA	- Unidade de Tratamento de Ar.
AVAC	- Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.
PITE	- Parque Industrial Tecnológico de Évora.
CAD	- Computacional Aided Design (Desenho assistido por computador).
S.I	- Sistema Internacional de medidas.
Node	- Componente de medição, em contexto com o conceito IoT.
Field Gateway	- Componente de recepção e transmissão de dados, intermediário, em contexto com o conceito IoT.
PMV	- Predicted Mean Vote.
PPD	- Predicted Percentage of Dissatisfied.
ANSI/ASHRAE	- American National Standards Institute (Instituto Americano de Normas).
ADRAL	- Agência de desenvolvimento regional do Alentejo.
MEDE	- Monitorização energética do Evoratech.
OEM	- Open Energy Monitor.
LDR	- Light Dependent Resistor (Resistência variável com a luz).
IDE	- Integrated development interface (Ambiente de desenvolvimento integrado).
SD	- Secure digital card (Cartão armazenamento)
SVC	- Support vector classification (Classificação de vetores).
PCB	- Prototyping Circuit Board (Placa de prototipagem de circuitos).
RMS	- Root mean square (Raiz quadrada da soma do quadrados)

- AREF - Nome de funcionalidade da placa eletrónica.
- MQTT - Message Queuing Telemetry Transport (Protocolo de comunicação)
- HAT - Hardware on Top
- UART - Universal asynchronous receiver/transmitter (Transmissor e receptor assíncrono universal)

Parte I.

Abordagem

1. Estado de Arte

A definição de eficiência energética passa por fazer uma utilização responsável de energia, ou seja, consumir menos em cada produto ou serviço que utilizamos, sem alterar o nosso estilo de vida ou sem abdicar do nosso conforto. Para chegar a uma eficiência ótima, é então necessário um estudo detalhado sobre todos os produtos/serviços que utilizamos, e recolher todo o tipo de parâmetros que relacionem e afetem direta ou indiretamente o resultado de eficiência. Um desses parâmetros é o consumo de energia elétrica. Estamos num mundo em que existe cada vez mais consumo de eletricidade, devido à tecnologia que nos rodeia e que utilizamos todos os dias. Por isso torna-se necessário criar soluções que nos indiquem quais os gastos e quais as ações a fazer.

O mercado de energia está cada vez mais competitivo. E em Portugal, desde que foi liberalizado, o mercado livre de eletricidade alcançou um número de 4.45 milhões de clientes em fevereiro. São, contudo, já em maior número os consumidores que trocam de comercializador dentro do mercado liberalizado (38 673 consumidores), do que os que abandonam o mercado regulado para aderir ao regime de mercado livre (33 mil consumidores). Estes são dados registados pela ERSE. Todos estes números trazem outra realidade: a poupança energética. E para isso também existem empresas de serviços energéticos que se dedicam a realizar auditorias com fim de analisar e relatar quais os problemas de eficiência energética, que podem ser resolvidos.

Hoje em dia existem muitas ferramentas que permitem complementar uma análise de eficiência energética. Ferramentas de software que usam elementos finitos e computação dinâmica de fluidos permitem obter uma análise mais detalhada e cada vez mais fiável e aproximada do real. Os equipamentos de medição avançada de parâmetros energéticos, hoje em dia são mais dispendiosos, logo estas ferramentas de software poderão vir a tornar-se suficientes para as necessidades de que a análise depende.

Ao otimizar a eficiência energética, temos uma boa consequência, que é a redução de gases de efeito estufa, e outros problemas que afetam o nosso meio ambiente. O desenvolvimento económico prevalecente nas últimas décadas caracterizou-se pela utilização muito intensa de energia produzida a partir de recursos de origem fóssil. A natureza finita desses recursos naturais, e o impacto ambiental da sua produção e consumo, alertaram o mundo para a necessidade de mudança dessas premissas de suporte ao modelo de desenvolvimento. A utilização de energias renováveis torna-se uma necessidade prioritária, e a energia solar é uma das opções mais viáveis.

Foi construído um mapa da Europa que descreve o potencial para a produção de eletricidade a partir do sol. O Algarve e zona leste do Alentejo possui uma das maiores centrais solares do mundo, construída em Serpa. Com aproximadamente 52 mil painéis fotovoltaicos, com uma potência total de 11 megawatts, que transformam a radiação solar em eletricidade suficiente para suprir o consumo de aproximadamente oito mil pessoas.

Moura recebe uma unidade ainda maior, com 62 megaWatts de potência. Portugal ainda está longe de aproveitar o seu potencial. O ingrediente básico é abundante no país. Em média, o Sol brilha 1600 horas por ano no Norte e até 3300 horas por dia no Sul, segundo dados do IPMA. Tavira, um dos pontos mais ensolarados de Portugal, chega a ter 12 horas de Sol diárias em Agosto. Mesmo em Janeiro, em pleno Inverno, contam-se, em média, 5,5 horas sem nuvens por dia. Por isso é necessário aproveitar todo este potencial.

É abordado e implementado o conceito de IoT [1]. Este conceito gerou uma nova indústria que está a crescer cada vez mais, havendo previsões para que em 2020 existam 8 bilhões de dispositivos ligados ao conceito segundo estudos feitos pela DigiCapital [2]. A internet das coisas pode ser considerada como a ligação de todos os dispositivos em nuvem pela rede com objetivo de mostrar e interligar toda a informação proveniente do nosso meio ambiente. O que ajuda a entender quais os parâmetros a otimizar, para reduzir os consumos energéticos.

Existem plataformas de empresas multinacionais que utilizam este conceito (IBM, Microsoft, Cisco, Sigfox, etc...), que se dedicam apenas à gestão e tratamento destes dados, para que haja visualização objetiva por parte do utilizador final. A compatibilidade deste conceito com a monitorização energética é verdadeira, o que permite uma liberdade de escolha no sensor que medirá variáveis energéticas mais ampla, que serão recolhidas apenas em uma plataforma.

O controlo, com objetivo de reduzir os consumos e aumentar a eficiência energética global, é um tema menos abordado, porque controlar uma variável energética significa que terá de haver invasão no equipamento, na iluminação e na climatização, e muitas das vezes isso não é possível. A construção teria de ser feita com plano de aplicação de controlo destes, o que quase nunca acontece porque na maioria das vezes é muito dispendioso. Pode dizer-se que o tema do controlo é o mais complicado por todas estas razões.

2. Introdução

Este projeto tem o nome de **“Planificação, Monitorização e Controlo da Energia Elétrica de um Edifício”**. Esta dissertação passa pelas fases de planificação e análise de fatores internos e externos que podem afetar os consumos energéticos do edifício em causa. O edifício a ser estudado é uma incubadora de empresas de base tecnológica Évoratech, localizada em Évora, Portugal. Depois da primeira análise e recolha de dados, passa-se então para a implementação de um sistema de monitorização, para efeitos de teste e recolha de variáveis que se relacionam com os consumos energéticos. Por fim será abordado o tema de controlo dessas variáveis com fins de reduzir e otimizar os consumos energéticos. Sendo que será mais aprofundado o estudo de análise e monitorização.

Na maioria das situações, implementar soluções que nos tragam energia a custo zero não é viável, seja pelo facto de o edifício não estar preparado para essa mudança (porque isso traz gastos significativos em obras e logística), não existir espaço para a colocação desse novo equipamento, não existirem condições em termos de arquitetura de orientação e localização dos edifícios (para painéis solares é ideal ter o edifício com teto angular virado para sul e posicionado em sítios onde hajam poucas obstruções), ou até mesmo porque o equipamento necessita de ser invasivo para haver controlo, e a maioria das pessoas não “arrisca” um método desses. Ainda assim, soluções que monitorizem e mostrem consumos, leituras instantâneas como a temperatura, a humidade, e entre outros que relacionam o nível de conforto, revelam-se importantes pois conseguem dar uma maior noção do comportamento energético para poder identificar alguns métodos menos eficazes e melhorá-los.

A solução que proponho nesta dissertação passa por numa primeira fase identificar, analisar e modelar todos os pontos relevantes para poder descrever o comportamento do edifício, e aplicar a solução que possibilita monitorizar variáveis energéticas e visualizar numa plataforma web através de gráficos ou data view, que pode ou não permitir a execução do próximo passo: o controlo da eficiência energética. Pretende-se desenvolver um projeto que possa vir a culminar num potencial produto, e apresentá-lo como uma solução de eficiência energética abrangente na área da monitorização e gestão, que disponibilize informação fundamental para aferir e monitorizar de forma contínua e desempenho energético dos edifícios.

Parte II.

Desenvolvimento

3. Análise e modelação do edifício

O objetivo desta análise é recolher o maior número possível de informações quantitativas e qualitativas relativamente ao edifício. Estas informações ajudam a obter um comportamento padrão.

A análise também é complementada com uma simulação 3D com software Mecânica de Fluidos Computacional, que permite obter gráficos de relações entre todas as variáveis que o afetam significativamente.

Com esses resultados obtêm-se relações entre medidas pontuais experimentais com valores simulados que relacionam muitos mais parâmetros térmicos como posições do sol, geolocalização do edifício, propriedades dos materiais. O objetivo dessa relação será de provar que a simulação poderá ajudar na análise da eficiência energética do edifício, sem que seja necessária uma análise física pontual que requer equipamentos dispendiosos e de difícil de acesso.

3.1. Dados gerais

Para efeitos práticos de implementação e teste deste projeto, foi escolhido o edifício Évoratech como estrutura pioneira, devido à autorização para tal. Este edifício tem como principal função a incubação de empresas com base tecnológica. O Évoratech, situado no PITE nas coordenadas 38°32'56.1"N 7°54'42.9"W, possui apenas um rés-do-chão, 17 salas e 3 casas de banho. A entidade acolhe 6 empresas com espaço físico, e outras virtualmente.

Todas as salas são idênticas, e possuem o mesmo número de tomadas elétricas, a mesma montagem de ventiladores aéreos e ventiladores térmicos. Segue a tabela com as áreas aproximadas de cada sala, e área total.

Tabela 1: Áreas correspondentes a cada sala do edifício

Número	Sala	Área aproximada m ²
1	Entrada	27
2	Corredor	30
3	Sala Fabric	36
4	Sala IoT	36
5	Sala Tech	36
6	Cowork 1	36
7	Cowork 2	36
8	Cowork 3	36
9	Sala ADRAL	37
10	Sala de Reuniões	36
11	Sala de incubação	36
12	Sala de incubação	36
13	Sala de incubação	36
14	Sala de incubação	36
15	Sala de incubação	36
16	Sala de incubação	37
17	Sala de incubação	36
18	Arrumos	12
19	Dialogue Café	12
20	WC	9
21	WC	9
Total		611

3.2. Regime e ocupação

A ocupação e uso do edifício também influencia a percentagem de eficiência energética que este possui. São as pessoas que usam os recursos, e os recursos são feitos para as pessoas, é por isso que é importante tocar neste assunto. Foi feito um pequeno questionário ao responsável do edifício com as seguintes perguntas:

- “Qual é em média o numero de pessoas que estão a trabalhar no edifício?”;
- “Qual é o horário de funcionamento normal do edifício?”;
- “Qual é o tipo de uso que as pessoas fazem do edifício?”;
- “Qual é em média a ocupação diária por cada divisão?”;
- “Qual é a média diária de horas em que se usam os equipamentos?”.

Em que os dados recolhidos resultaram nas seguintes tabelas e figuras:

Tabela 2: Regime e ocupação do Évoratech

Regime e ocupação			
Edifício	Ocupação Média (pessoas)	Horário de funcionamento	Tipo de uso
Evoratech	6	Das 9h-12h30 e 14h-18h em dias úteis, sendo que pode ser utilizado sempre 24h por dia	Cowork, Empresas e atividades

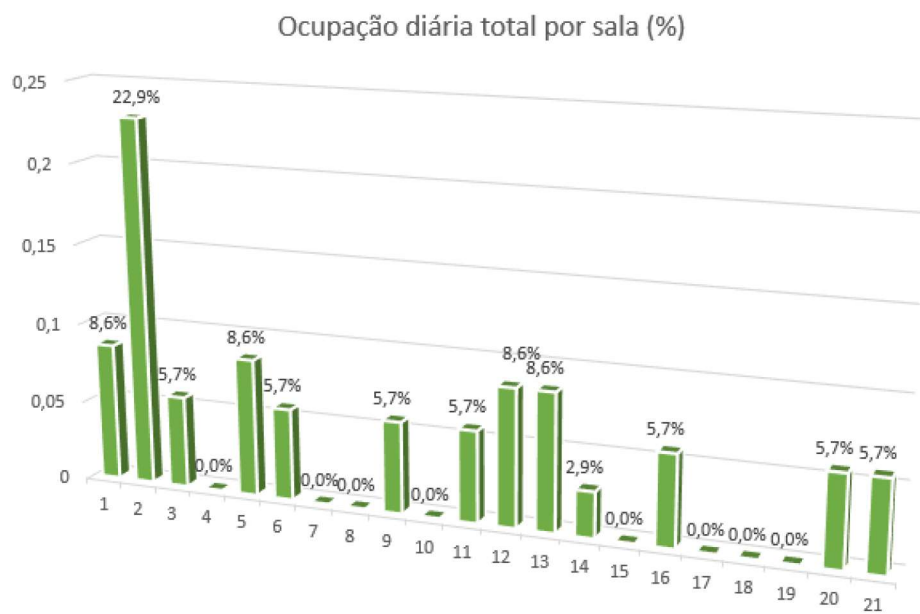


Figura 1: Percentagem de ocupação média diária (num período de 24 horas) total por divisão numerada.

A última pergunta do questionário é registada no ponto 1.5 deste documento.

3.3. Dados térmicos

O edifício tem uma construção muito recente. Com isto, apresenta-se com um bom desempenho térmico. Possui paredes de contraplacado revestido com camada de granulado que emite uma boa quantidade de radiação térmica; as paredes interiores são constituídas também por contraplacado, o que torna a temperatura do edifício mais estável durante o verão. O teto é construído apenas com painel de sandwich, pelo que isola bem a quantidade de calor presente nas salas. Todas as salas estão equipadas com um ventilador térmico regulável dependente do AVAC¹, e possuem também uma tubagem aérea que ventila diretamente do AVAC. As janelas constituintes de cada sala do edifício são de vidro duplo, o que é mais um fator de contribuição para boa eficiência térmica.

Foram tiradas várias fotos térmicas com um equipamento específico para este tipo de aplicações da marca FLIR®. Este permite tirar uma foto com uma escala de gradiente de cores que representam a quantidade de temperatura presente no objeto que está a apontar. Torna-se muito útil porque permite visualizar facilmente a temperatura de qualquer componente.



Figura 2: Câmara térmica FLIR usada

¹Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

Tabela 3: Especificações da Câmara térmica FLIR

Modelo	FLIR E4
Resolução IR	80 × 60
Resolução MSX	320 × 240
Sensibilidade térmica	<0.15°C
Campo de visão	45° × 34°
Frame Rate	9 Hz
Intervalo de temperaturas	20° a 250°C
Precisão	±2% de 2°C

A calibração deste equipamento é quase automática. Sendo que apenas se ajusta a focagem da câmara, dependendo da distância ao objeto. Uma câmara de imagem térmica regista a intensidade da radiação na parte infravermelha do espectro eletromagnético e converte-a numa imagem visível. A radiação proveniente de um objeto é focada pela ótica da câmara num detetor de infravermelhos. O detetor envia a informação para a eletrónica do sensor para processar a imagem. A termografia transforma uma imagem infravermelha numa imagem radiométrica, que permite que os valores de temperatura sejam lidos a partir da imagem. Assim, cada pixel na imagem radiométrica é na verdade uma medida de temperatura. A radiação medida em objetos não ideais é a composta pela radiação emitida, transmitida e refletida. As câmaras de imagens térmicas da FLIR possuem configurações de emissividade predefinidas para muitos materiais.

Primeiramente analisou-se o quadro geral e parcial para saber se está em condições e não tem anomalias térmicas ou elétricas, em que por vezes existem derivações em curto circuito que podem causar sobrecarga no barramento, e os fios poderão sobreaquecer provocando a queima dos componentes de proteção na maioria das vezes. Verificou-se que tanto o quadro geral como o parcial estavam dentro dos os níveis térmicos aceitáveis, em que não se observou nenhuma sobrecarga em particular. Tal como se ilustra no anexo 4.

Estudou-se apenas uma sala do edifício (sala 3) para obter um comportamento térmico geral estimado para todas as outras salas. Isto deveu-se maioritariamente pelo motivo de que a simulação térmica requer um computador com capacidades de processamento consideradas altas, em que a simulação do edifício completo em 3D levaria muita dessa capacidade, a simulação completa seria um tópico a abordar em trabalhos futuros. Foram apenas recolhidas médias de temperaturas e humidade de componentes que mais tarde foram usados na simulação térmica da sala. O software que processa as fotos térmicas (FLIR® Tools) permite obter esses parâmetros.

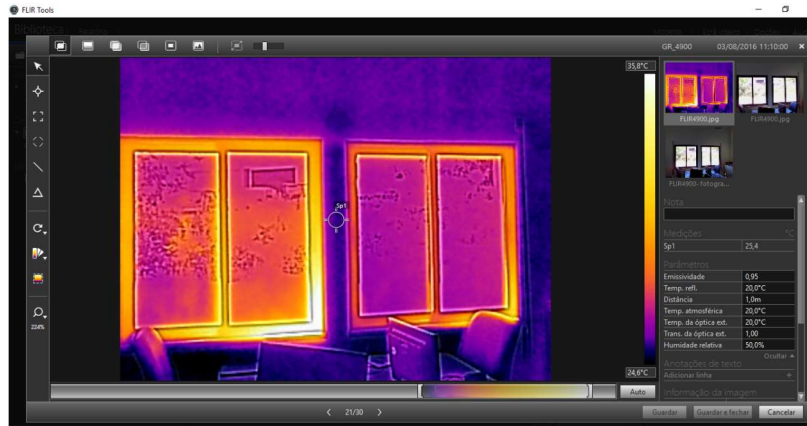


Figura 3: Ambiente gráfico do software FLIR Tools

Cada fotografia tirada foi processada para recolher então os parâmetros necessários para cada componente no anexo 3.

3.3.1. Recolha de temperatura e humidade

Nesta abordagem térmica também foi feita a medição de temperatura ambiente e humidade relativa da sala a estudar. Esta abordagem foi feita com o objetivo de recolher dados, para que seja possível relacionar com os resultados da simulação, de modo a encontrar o erro percentual entre medidas experimentais e simuladas. As medidas foram feitas ao longo de 6 dias com uma utilização média correspondente à recolhida pelo questionário feito anteriormente. A sala possui as janelas viradas para sul e por norma sempre com a porta aberta durante o horário de trabalho. O equipamento foi colocado dentro da sala no local com menos luz direta incidente (tanto exterior como interior) possível e do lado oposto a unidade terminal presente na sala. O sensor é da marca TESTO com as seguintes especificações:



Figura 4: Sensor de temperatura e humidade da TESTO

Tabela 4: Especificações do sensor TESTO

Modelo	testo 174 T - Mini data logger Temperatura
Faixa de medição	-30 a +70 °C
Precisão	±0,5 °C (-30 a +70 °C)
Resolução	0,1 °C



Figura 5: Ambiente gráfico do software do sensor TESTO

Foi então recolhida a informação das medidas de temperatura e humidade e extraídas as suas médias, máximos e mínimos através do software.

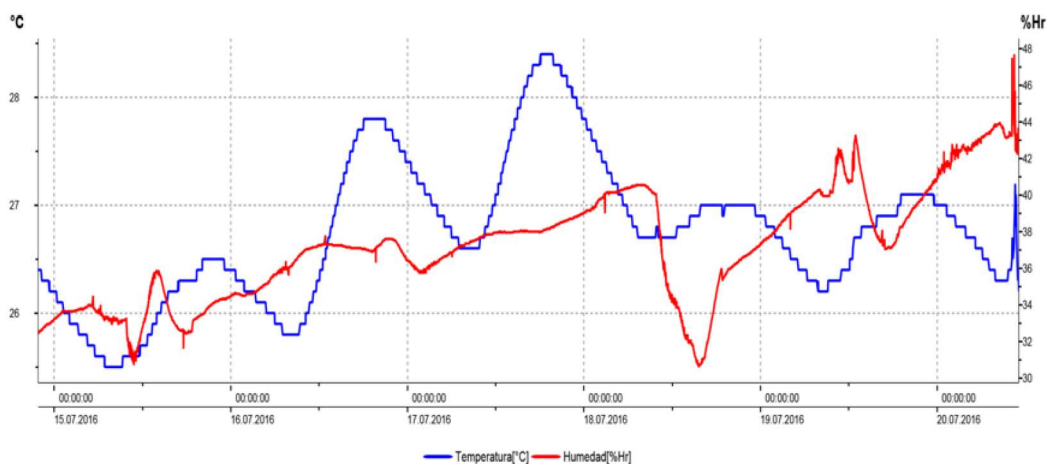


Figura 6: Curva de temperatura e humidade da sala 3 desde os dias 15 a 20 de julho de 2016.

Tabela 5: Valores medidos de temperatura e humidade da sala 3 para o dia 17/07/2016

	Mínimo	Máximo	Valor médio	Valores limite
Temperatura [°C]	25,5	28,4	26,7	-20,0/70,0
Humidade [%Hr]	30,6	47,7	37,1	0,0/100,0

De acordo com as dados recolhidos pelo equipamento de medição, a temperatura média da sala é de 26,8 °C e de 37.2% de humidade relativa para o dia 17/07/2016, dia usado

na simulação mais à frente. Estes valores servem então de base para as condições iniciais do modelo que se simula mais a frente.

3.3.2. Equipamento AVAC

De seguida é descrita a lógica de funcionamento dos diferentes componentes do equipamento. A UTA conta com um recuperador de calor de fluxos cruzados que irá transferir calor entre o circuito de extração e de insuflação. Caso as condições sejam favoráveis para existir recuperação de calor sensível, registo de bypass fecha, obrigando o ar de admissão a passar pelo recuperador. Em condições desfavoráveis, o registo de bypass abre novamente. Caso o recuperador não seja suficiente, espaço a bateria/quente (consoante o ciclo de funcionamento) entra em funcionamento também. Em funcionamento normal, a bateria de frio/quente funciona segundo uma lógica PID, entrando em funcionamento consoante as necessidades, tendo como referencia a temperatura de insuflação do equipamento. Os ventiladores entram em funcionamento automático através da utilização dos variadores de frequência instalados junto dos mesmos, sendo a velocidade de funcionamento afinada no autómato. Com a colmatção gradual dos filtros deverá ser aumentada a velocidade de funcionamento para garantir o caudal de projeto. Para a sinalização de filtro colmatado, o pressostato do filtro terá de estar ativado mais que um minuto continuamente, sendo de seguida registado o alarme. O equipamento é controlado a partir de um horário programado, sendo que quando se encontra desligado, serão fechados os registos anti-poliuição situados na admissão de exaustão, para evitar a entrada de animais e sujidade. As imagens térmicas encontram-se no anexo 4.

3.3.3. Unidades terminais

As unidades terminais (anexo 3) são os equipamentos que fazem o tratamento final de ar para satisfazer as necessidades de conforto por zonas. Neste caso são consideradas unidades terminais os ventiladores que possuem apenas reguladores de ar quente/frio e de caudal. São alimentados diretamente do equipamento AVAC, em que a água tratada passa pelos tubos até chegar às unidades terminais que possuem serpentinas e um ventilador para direcionar o ar para cima.

3.4. Iluminação

O edifício apenas possui iluminação interior. Os equipamentos de iluminação instalados no edifício são balastros do tipo eletrónico, ou seja, o arranque é puramente eletrónico. Não existe nenhum tipo de controle de funcionamento do equipamento luminico, sendo que o arranque é feito manualmente, e está diretamente relacionado com as horas de funcionamento do edifício. Anexo 3 mostra a imagem do tipo de iluminação.

3.4.1. Recolha de luminosidade

O uso da iluminação tem um efeito direto na eficiência energética do edifício e relaciona-se com a percentagem de ocupação das diferentes divisões. Foram feitas medições pontuais na sala 3, em diferentes posições, com as janelas completamente abertas, uma fase de luzes ligada (cada sala possui duas fases de iluminação com dois botões), e 3 pessoas na sala sentadas, pelas 11h30 do dia 03/08/2016. Todas estas condições são habitualmente

as mesmas todos os dias de funcionamento. O objetivo destas medições foi de apenas obter um fator multiplicativo para o cálculo de eficiência energética geral da sala.

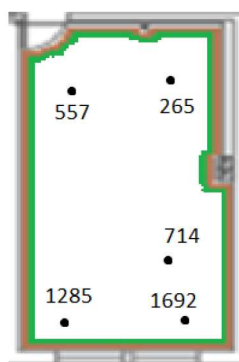


Figura 7: Gráfico pontual de luminosidade da sala 5

3.5. Outros equipamentos

Para além de iluminação e climatização, existem mais equipamentos, desde computadores a máquinas de fabricação. Estes equipamentos possuem gastos significativos no consumo energético. Foi feita uma medida pontual em cada tipo de equipamento, para que haja uma estimativa entre a energia que entrou no sistema com a que realmente foi consumida.

Tabela 6: Inventário de outros equipamentos

Tipo de equipamento	Quantidade Média	Potencia
Informáticos		
Computador fixo	5	750 Watts
Computador portátil	15	300 Watts
UPS	3	720 Watts
Bastidor informático	1	200 Watts
Switch	4	10 Watts
Telefones	17	5 Watts
Equipamentos FABLAB		
Impressora 3D	4	150 Watts
Máquina CNC	2	2000 Watts
Máquina de corte vinil	1	100 Watts
Máquina de corte laser	1	80 Watts

O inquérito feito anteriormente também permitiu estimar o tempo de utilização dos equipamentos, para verificar se a relação entre o uso e o consumo energético estão em acordo.

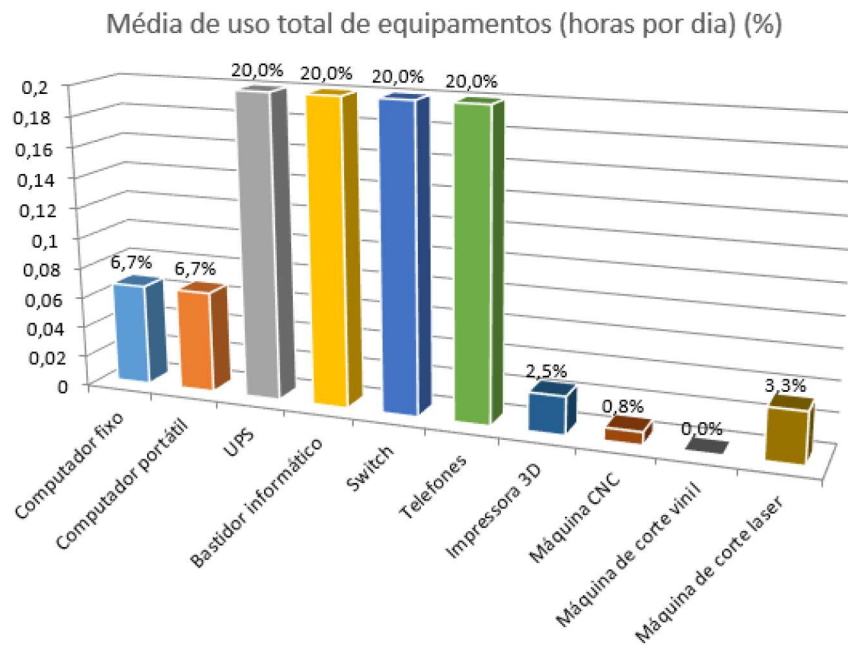


Figura 8: Gráfico de barras de percentagem de utilização dos equipamentos.

Cada equipamento possui várias características, pelo que esta análise seria muito exaustiva se seguisse ao pormenor cada equipamento. Por isso todos estes resultados são aproximações. Seguem então fotos dos equipamentos comuns do edifício que foram usados na simulação mais a frente.

3.6. Modelação

Depois uma análise técnica detalhada prossegue-se para a modelação. Na modelação são tidas em conta as medições da temperatura, iluminação e eletricidade. Com as médias acima calculadas, servem de parâmetros a ser usado no software de simulação. O software de simulação usado tem o nome de Solidworks® que possui o add-in Flow Simulation®, que faz uso da Mecânica de Fluidos Computacional para os mais variados cálculos necessários para que se chegue a uma análise térmica satisfatória.

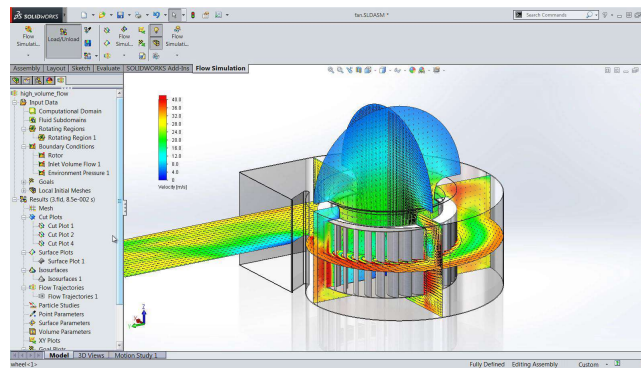


Figura 9: Ambiente gráfico do Solidworks® Flow Simulation®

Com esta modelação pretende-se chegar a uma série de gráficos úteis e informativos que poderão revelar a necessidade de melhorias tanto na construção e nos equipamentos usados como na melhoria de parâmetros de conforto humano.

3.6.1. Teoria

Em geral, a abordagem com a malha cartesiana usada neste software permite

- análise de fluxo de fluido para as regiões de fluidos;
- cálculo de transferência de calor em regiões sólidas.
- análise de fluxo de fluido e de condução térmica

Além disto, todos estes cálculos pode ser acoplados com os modelos de radiação existentes. Em que o modelo 3D nativo é a referencia para gerar a malha.

Para regiões de fluido, o software resolve as equações de Navier-Stokes [3], que são formulações da massa, momento e conservação da energia, respetivamente, tal como referido pela documentação do add-in [4]:

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \frac{\delta(\rho u_i)}{\delta x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\delta(\rho u_i)}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x_i}(\rho u_i u_j) + \frac{\delta P}{\delta x_i} = \frac{\delta}{\delta x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad (2)$$

$$\frac{\delta \rho H}{\delta t} + \frac{\delta \rho u_i H}{\delta x_i} = \frac{\delta}{\delta x_i} (u_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\delta p}{\delta t} - \tau_{ij}^R \frac{\delta u_i}{\delta x_j} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H \quad (3)$$

$$H = h + \frac{u^2}{2} \quad (4)$$

Sendo que τ_{ij} - Tensão de viscosidade, q_i - fluxo de calor, ρ - densidade de massa, P - pressão, u - componente de velocidade

O software considera regimes turbulentos e laminares. O regime laminar ocorre quando o numero de Reynolds é baixo [5]. Para cálculo de regimes turbulento são usadas as equações de Navier-Stokes com aproximação de Favre [6], onde os efeitos a tempo médio do regime turbulento são considerados. Para a determinação deste sistema de equações o software usa o modelo $k - \varepsilon$. Este modelo proposto por Lam e Bremhorst [7], descreve o regimes turbulento, laminar, e de transição para fluidos homogêneos consistindo nas seguintes equações respetivamente:

$$\frac{\delta \rho k}{\delta t} + \frac{\delta \rho u_i k}{\delta x_i} = \frac{\delta}{\delta x_i} ((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\delta k}{\delta x_i}) + \tau_{ij}^R \frac{\delta u_i}{\delta x_j} - \rho \varepsilon + \mu_t P_B \quad (5)$$

$$\frac{\delta \rho \varepsilon}{\delta t} + \frac{\delta \rho u_i \varepsilon}{\delta x_i} = \frac{\delta}{\delta x_i} ((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}) \frac{\delta \varepsilon}{\delta x_i}) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} (f_1 \tau_{ij}^R \frac{\delta u_i}{\delta x_j} + C_B \mu_t P_B) - f_2 C_{\varepsilon 2} \frac{\rho \varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

$$\tau_{ij} = \mu s_{ij} \quad (7)$$

$$\tau_{ij}^R = \mu_t s_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (8)$$

$$s_{ij} = \frac{\delta u_i}{\delta x_j} + \frac{\delta u_j}{\delta x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\delta u_k}{\delta x_k} \quad (9)$$

$$P_B = - \frac{g_i \delta \rho}{\sigma_B \rho \delta x_i} \quad (10)$$

com $C_\mu = 0.09$, $C_{\varepsilon 1} = 1.44$, $C_{\varepsilon 2} = 1.92$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, $\sigma_B = 0.9$ a viscosidade em regime turbulento é determinado por:

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon} \quad (11)$$

O fluxo de calor é dado por:

$$q_i = (\frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c}) \frac{\delta h}{\delta x_i}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (12)$$

Com $\sigma_c = 0.9$, Pr o número de Prandtl e h a entalpia térmica.

Para regiões sólidas, o software calcula dois tipos de fenômenos físicos: a condução de calor e a corrente elétrica. A condução de calor é dada por:

$$\frac{\delta \rho \varepsilon}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x_i} \left(\lambda_i \frac{\delta T}{\delta x_i} \right) + Q_H \quad (13)$$

onde e é a energia específica interna, c é o calor específico, e Q_H é o calor específico absorvido, λ_i são os valores próprios da matriz de condutividade térmica.

Ainda nesta referência encontra-se informação sobre o comportamento e os modelos usados na radiação entre sólidos opacos e transparentes. A simulação inclui Ray Tracing conhecida como Modelo de discretização da transferência de radiação. Este modelo inclui o calor emitido e a radiação refletida das superfícies sólidas, ambas obedecem à lei de Lambert.

3.6.2. Modelos 3D

Os modelos 3D usados para esta análise foram numa primeira fase apenas da sala número 3 do edifício. Foram desenhados no software de CAD (Solidworks®) todos os componentes presentes no compartimento que podem influenciar resultados. Foram desenhados equipamentos, mesas, cadeiras, a tubagem de ventilação, janelas e um corpo humano padrão. Todos os desenhos foram feitos à escala real.

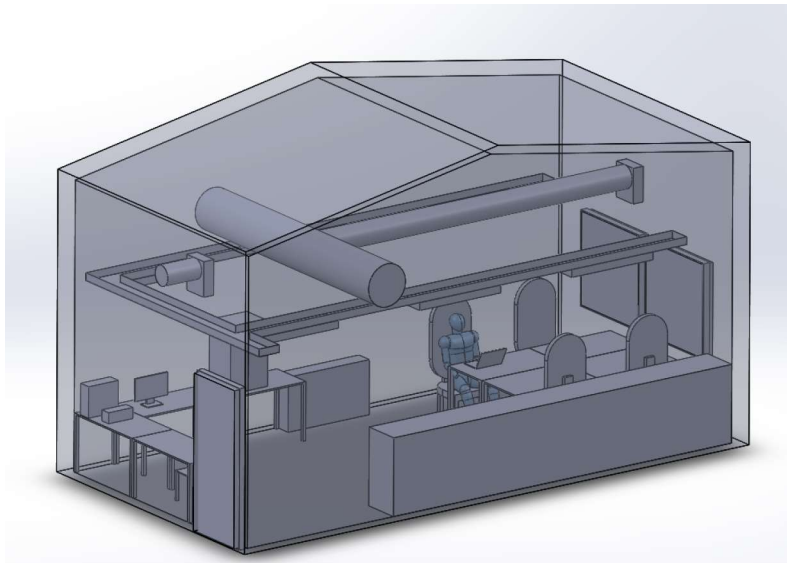


Figura 10: Modelo 3D geral da Sala 5

3.6.3. Simulação

Tal como referido, a simulação é feita no software de Mecânica de Fluidos Computacional (Flow Simulation® [8]), que permite executar cálculos muito complexos de uma forma automatizada e fiável. Este add-in permite regular muitos parâmetros necessários para

este estudo. Convencionou-se primeiramente o sistema de unidades em S.I. Logo de seguida tem-se em escolha as propriedades físicas que têm de estar presentes na análise, tais como:

- Radiação solar incidente nas paredes e janelas, tanto direta como difusa;
- Propriedade de transferência de calor entre sólidos;
- Gravidade (para que haja convecção);
- Propriedades dos diferentes materiais que compõem a sala e dos equipamentos;
- Fontes geradoras de calor e radiação (humana, luzes e equipamentos);

Foram consideradas como condições iniciais as seguintes:

- Temperatura ambiente exterior de 35 graus Celsius e interior de 26.8 graus Celsius;
- Localização em Évora com as coordenadas referidas em pontos anteriores, no dia 17/07/2016 (tem de ser um dia em que foram feitas as medidas de temperatura e luminosidade)
- Dia com céu limpo;
- Humidade relativa de 37.2% no interior;
- A sala possui ar no interior, e existe também fora da sala;
- A porta da sala está aberta (pressão ambiente) e as janelas estão fechadas;
- As fontes geradoras de energia estão todas ligadas (situação de pico máximo);
- A simulação foi feita ao meio dia solar desse dia;

Ao preencher o dia do ano, o software faz automaticamente o cálculo da posição do sol

Depois de submetidos estes dados, pode-se avançar para o próximo passo, que é caracterizar todos os materiais que influenciem na análise, identificar as fontes geradoras de calor e os caudais e taxas de fluxo que entram e saem do sistema. Descrevem-se as propriedades dos materiais usados na análise a seguir:

Nome	Vidro	Madeira	Aço inoxidável	Poliuretano
Densidade (kg/m ³)	2600	650	7900	1045
Calor específico (J/kg*K)	670	2500	500	1536
Tipo de condutividade	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica
Condutividade térmica (W/m*K)	2	0,14	16,29	0,035
Tipo de condutividade elétrica	Dielétrico	Dielétrico	Condutor	Dielétrico
Temperatura de fusão (K)	1073,15	1000	1673,15	363,15

Tabela 7: Propriedades dos materiais usados

O software precisa de um input de dados para que o software obtenha uma curva característica de uma determinada propriedade física do material. Assumem-se apenas materiais normalizados com as suas características tabeladas. Descrevem-se com algumas imagens as assunções feitas e atribuídas a cada um dos componentes da simulação que estão no anexo 4.

3.6.4. Conforto térmico

Um dos fatores determinantes na qualidade da eficiência energética de um edifício é sem duvida o conforto das pessoas que o frequentam [9]. Se a pessoa não se sente confortável, pode ativar meios de aquecimento ou arrefecimento, consumindo assim energia que poderia ser poupada se houvesse uma otimização no espaço. Existem cálculos de índices de conforto humano térmico que envolvem variáveis como a temperatura do ar, humidade, temperatura irradiante, velocidade do ar, taxas metabólicas, e níveis de cobertura de roupa, entre outros mais. De acordo com a norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2010² [10], o conforto térmico é definido como a condição de mente que expressa satisfação num dado meio térmico. O conforto térmico é calculado como um balanço na transferência de calor. A transferência de calor ocorre entre o ambiente e o corpo humano, se houver maior transferência de calor do ocupante para o ambiente, então considera-se uma percepção térmica de frio, e vice-versa. Para o cálculo de conforto térmico existe o método PMV e o índice PPD. O método PMV refere uma escala que vai desde o frio(-3) até ao quente (+3). Por recolha de dados estatísticos feitos de testes em amostras de população significativamente grandes, a escala resultou na seguinte:

Valor	Sensação
-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Pouco frio
0	Neutro
1	Pouco quente
2	Quente
3	Muito quente

Tabela 8: Escala de PMV

O recomendado conforto térmico pela norma acima referida é de -0.5 a +0.5 para espaços interiores. O método PPD prevê a percentagem de pessoas ocupantes do espaço interior que estão insatisfeitas. É uma função de PMV, se a PMV aumenta, então a PPD também aumenta. O máximo deste índice é de 100% que prevê todas as pessoas insatisfeitas com o conforto térmico. A norma acima referida tem um intervalo aceitável de menos de 10% como o recomendado. A equação que calcula o PMV apenas se aplica a humanos expostos por um longo período de tempo a condições constantes a uma taxa metabólica constante, e segundo a referencia anterior, é dada por:

²Condições ambientais térmicas para ocupação humana

$$PMV = [0.303e^{-0.036M} + 0.28][(M - W) - 3.96e^{-8} f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4]] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) - 3.05[5.73 - 0.007(M - W) - p_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 0.0173m(5.815 - t_{cl})$$
(14)

Sendo funções:

$$f_{cl} = 1.0 + 0.2I_{cl}$$
(15)

$$t_{cl} = 35.7 - 0.0275(M - W) - R_{cl}[(M - W) - 3.05[5.73 - 0.007(M - W) - p_a]] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 0.0173m(5.815 - t_{cl})$$
(16)

$$R_{cl} = 0.155I_{cl}$$
(17)

$$h_c = 12.1(V)^{1/2}$$
(18)

Onde as variáveis tem a designação respetiva na tabela seguinte:

Como o PPD é uma função do PMV então:

$$PPD = 100 - 95e^{[-(0.3353PMV^4 + 0.2179PMV^2)]}$$
(19)

Dadas estas equações e definições consegue-se ter uma melhor noção dos gráficos a seguir. Com a simulação feita no add-in de Mecânica de Fluidos Computacional, estes são os gráficos que podemos retirar sobre os parâmetros de conforto:

Tabela 9: Designação de variáveis de conforto.

e	Número de euler (2.718)
f_{cl}	Fator roupa
h_c	Coefficiente de transferência de calor por convecção
I_{cl}	Isolamento de roupa
M	Taxa metabólica [W / m ²] 115 para todos os cenários
p_a	Pressão de vapor de ar [kPa]
R_{cl}	Isolamento térmico roupas
t_a	Temperatura do ar [°C]
t_{cl}	Temperatura da superfície de vestuário [°C]
t_r	Temperatura radiante média [°C]
V	Velocidade do ar [m / s]
W	Trabalho externo (assumido = 0)

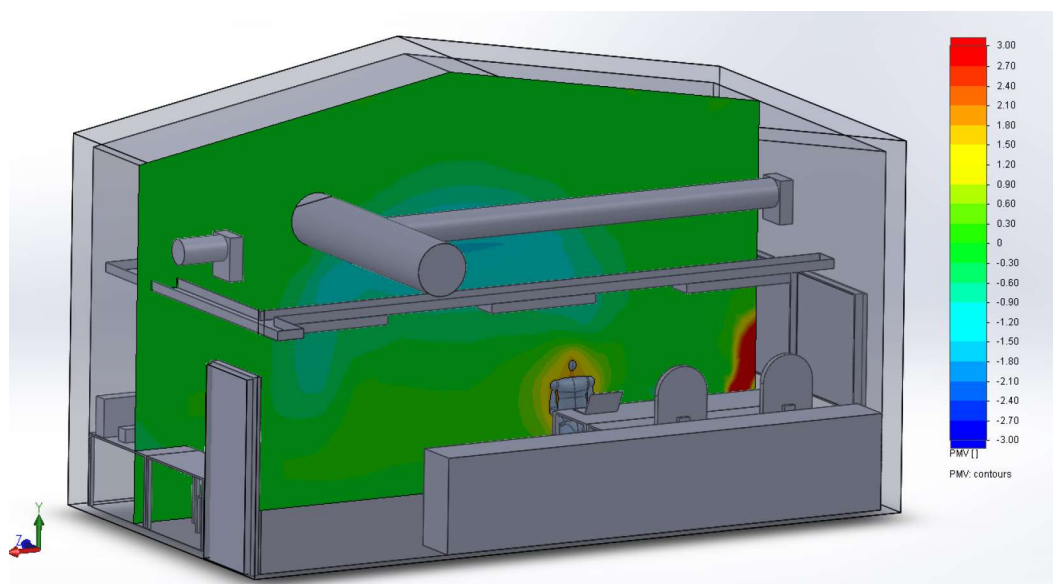


Figura 11: Plot PMV de um plano de corte perto da pessoa

3.6.5. Resultados da simulação

A simulação permite-nos obter vários tipos de gráficos. Os que interessam para este estudo são os que se relacionam com a temperatura, humidade e radiação. A informação retirada de cada um destes gráficos pode ser comparada com as medições experimentais feitas na prática. Isto ajuda a saber o erro do modelo. Ao conhecer a percentagem de erro que o modelo possui, pode então servir de base para propostas de melhorias a nível de eficiência de equipamentos e a sua disposição e a nível de conforto humano, sempre com o erro associado, devido a vários fatores, nomeadamente entradas e saídas de ar, que

são difíceis de controlar fisicamente. Estes fatores não foram incluídos na modelação.

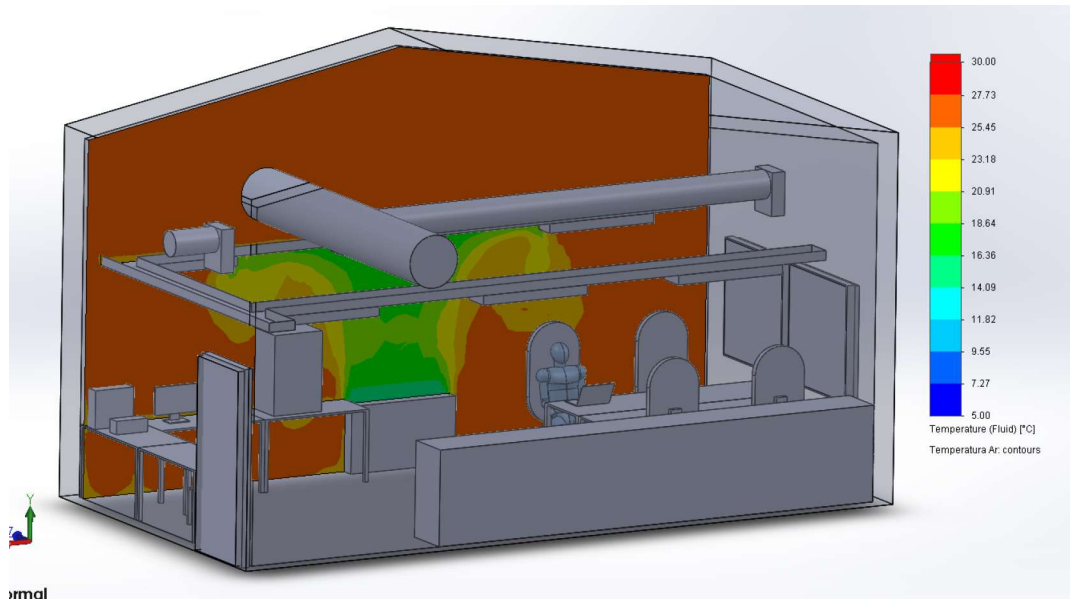


Figura 12: Plot de temperatura (Celsius)

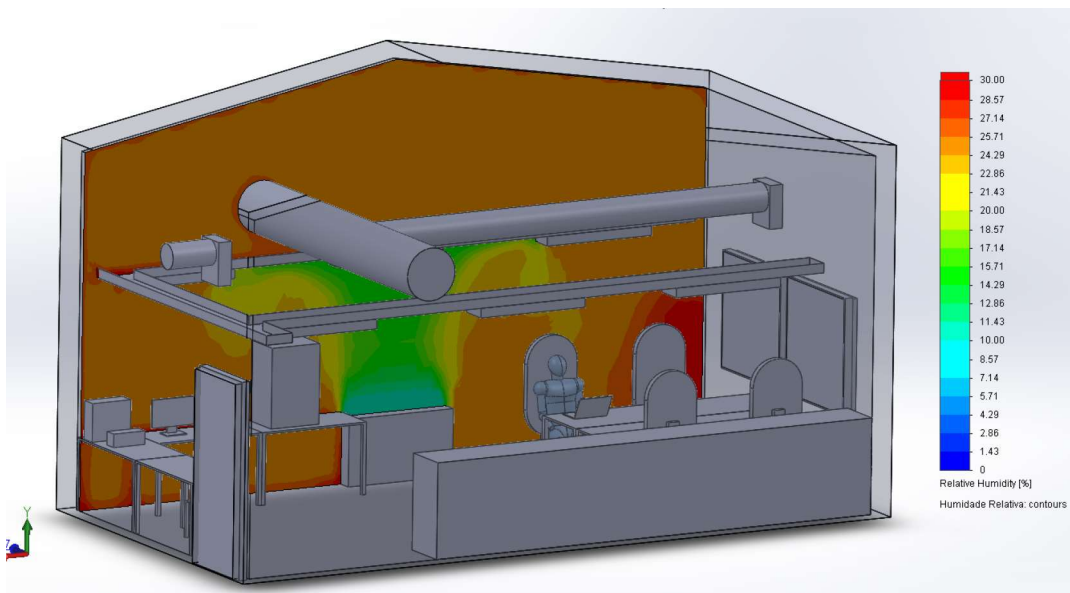


Figura 13: Plot de humidade relativa percentual (Vista 1)

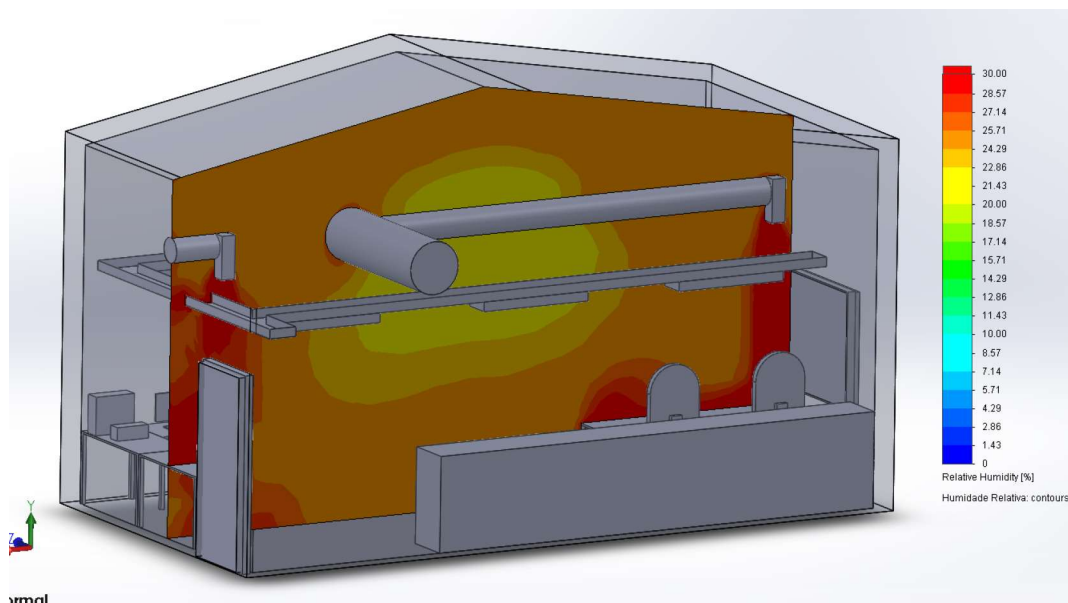


Figura 14: Plot de humidade relativa percentual (Vista 2)

A informação relevante que se retira de todos estes gráficos é dada pelo software que permite conhecer os valores mínimos, médios e máximos das variáveis quantitativas que estão no estudo.

Segue então a tabela:

Tabela 10: Valores mínimos, máximos e médios

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Médio
Temperatura do Fluido (Ar) Celsius	16,00	31,01	26,12
Humidade Relativa (%)	9,98	39,98	24,72
PMV	-3,780612155	8,33	-0,16
PPD (%)	5,00	100,00	8,72

Repare-se que os índices de PMV ultrapassam a escala. Isto é devido ao próprio alinhamento atribuído à simulação, pois o software fez os cálculos dentro e fora do edifício, pelo que a média de PMV é influenciada obviamente pelo ambiente exterior que se revela muito desconfortável. Como a escala de conforto máxima é de 3, o valor de 8.33 é o resultado dessa discrepância da análise interior e exterior, visto que o nível de conforto no telhado ao meio dia solar é muito em relação ao interior. Este parâmetro é meramente ilustrativo.

Feito isto, segue a seguinte tabela de erro relativamente à comparação entre os dados simulados e os recolhidos experimentalmente:

Tabela 11: Erros entre simulação e experimental

	Medida experimental		Medida do modelo		Erros percentuais	
	Temperatura do Ar (Celsius)	Humidade Relativa (%)	Temperatura do Ar (Celsius)	Humidade Relativa (%)	Erro relativo Temperatura do Ar (%)	Erro relativo Humidade relativa (%)
Mínimo	25,50	30,60	16,00	9,98	37,25	67,37
Máximo	28,40	47,70	31,01	39,97	9,18	16,20
Médio	26,70	37,20	26,12	24,72	2,17	33,54

Estas percentagens de erros são naturais. Visto que o modelo simulado está a contar apenas com parâmetros interiores e como se a sala fosse o edifício num todo. As medidas experimentais de temperatura e humidade foram feitas em apenas um ponto da sala, isto também afeta a comparação de dados. Este erro é também natural porque na modelação está presente apenas uma sala, e o software está a assumir que a radiação solar por exemplo está a incidir nos quatros lados da sala. Foram feitas simulações para descrever o comportamento térmico ao longo do tempo, mas a variação dos parâmetros com o tempo foi perto de zero, pelo que se procedeu para a seguinte fase.

4.2. Arquitetura de uma solução IoT Geral

A monitorização faz parte da solução IoT. Pelo que possui uma rede de sensores que podem ter diversas finalidades, das quais podem fazer leituras de corrente e tensão elétrica, temperatura, humidade, movimento, entre outros. Esta poderá ser chamada de camada 1, que abrange todos os nodes, sejam eles de que tipo for. Depois de feita a leitura, o Node terá de comunicar esses dados com um denominado Field Gateway para que haja uma centralização de dados recebidos e para que sejam tratados adequadamente. Assim o Field Gateway tem uma função de comandar e receber o feedback dos Nodes, e enviar esses dados para um servidor na cloud diretamente, ou ainda passar por um outro Gateway principal que poderá ser necessário devido a incapacidades de alcance físico do sinal. O Gateway terá a capacidade de não só enviar dados pela internet para o serviço de Cloud, como também de filtrar e decidir quais os dados identificados que deve enviar. Esta será a camada 2.

A monitorização é a próxima fase do projeto. Foi feita uma pesquisa no mercado sobre que tipo de equipamento de monitorização elétrica existe. De todas as pesquisas e equipamentos vistos, foi decidido que a marca OEM seria a mais adequada pela sua boa relação preço-qualidade.

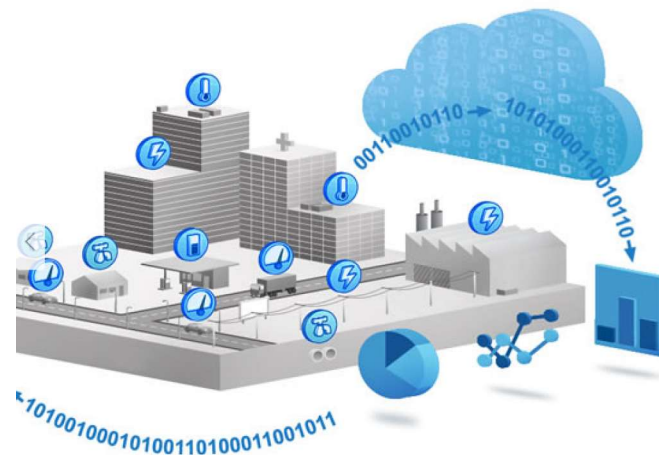


Figura 16: Ilustração das várias camadas de IoT

4.2.1. Primeira Camada (Node Layer)

Tudo começa na primeira camada, apelidada de Node Layer. É aqui que começa a real monitorização / leitura de dados gerados pela variável ambiente. Do sensor resultam impulsos elétricos que serão descodificados pelo micro-controlador e associados a uma escala que quantifique e caracterize essa variável. O micro-controlador é programado da maneira mais fiável para a leitura de dados ser o mais perto do correto (calibração). Por sua vez este micro-controlador estará ligado a um outro sistema que use um protocolo de comunicação standard, que servirá para enviar os dados através de uma ligação sem

fos. Considera-se assim que um Node é o conjunto do sensor com um micro-controlador e sistema de envio de dados wireless. Existem vários tipos de sensores, mas nesta dissertação estarão apenas discriminados os Nodes que foram usados. Para este caso foram usados sensores de corrente/tensão elétrica, temperatura, humidade,



Figura 17: Ilustração da primeira camada

4.2.2. Segunda Camada (Gateway Layer)

É nesta camada que começa o primeiro processamento de dados. Pode-se chamar a esta camada de Gateway Layer, e tem a função de receber todo o pacote de informação de leituras feitas pelos nodes, processar, filtrar dados e enviá-los para a seguinte camada.

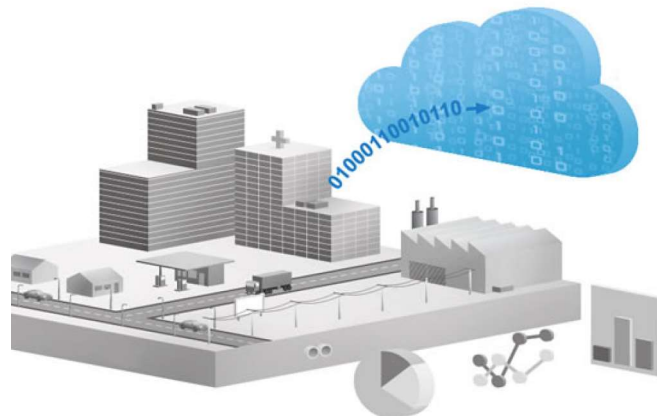


Figura 18: Ilustração da segunda camada

4.2.3. Terceira Camada (Server Layer)

Depois de enviados os dados da segunda camada, é nesta camada que chegam estes através de ligações de transferências de dados de longo alcance (Ethernet, Wi-Fi, etc...). Os dados são “descodificados” de um formato .JSON e interpretados pela ultima camada desta solução IoT.

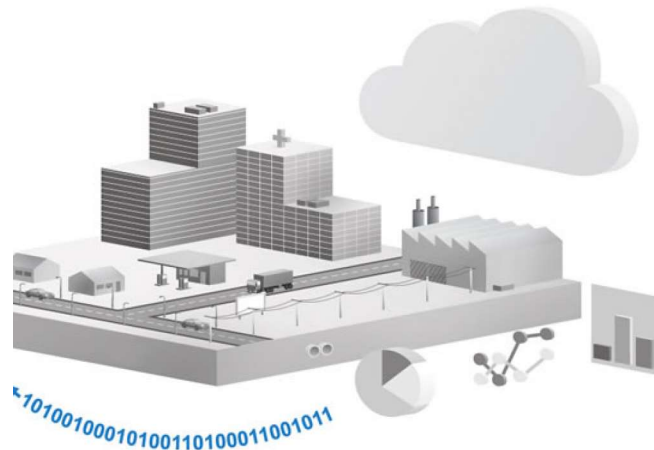


Figura 19: Ilustração da terceira camada

4.2.4. Quarta Camada (User Layer)

Por fim a última camada tem um propósito de apenas ilustrar através de gráficos, ou outras formas de visualização, de dados que são considerados “fiáveis” para que o utilizador possa ter algum poder de decisões que consistam em mudança de plano de eficiência energética.

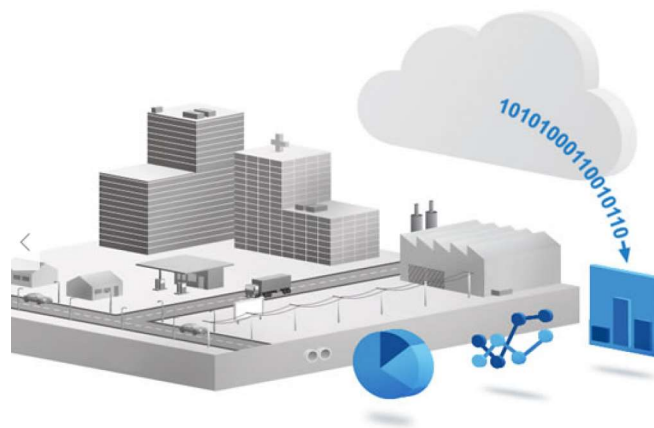


Figura 20: Ilustração da quarta camada

4.3. Solução IoT - Aplicação

Foi encontrada uma solução IoT existente no mercado que se considerou a mais adequada na relação preço/qualidade para uma recolha de dados de consumos elétricos. O equipamento é da marca OEM, empresa que se dedicou à criação de equipamento eletrónico com capacidade de medir correntes e tensões elétricas entre outros parâmetros, e que possui um serviço de nuvem chamado EmonCMS que permite ao utilizador visualizar e extrair os dados de qualquer sitio, basta ter internet. Tal como referido nos pontos anteriores sobre a arquitetura IoT, esta solução segue o mesmo princípio.

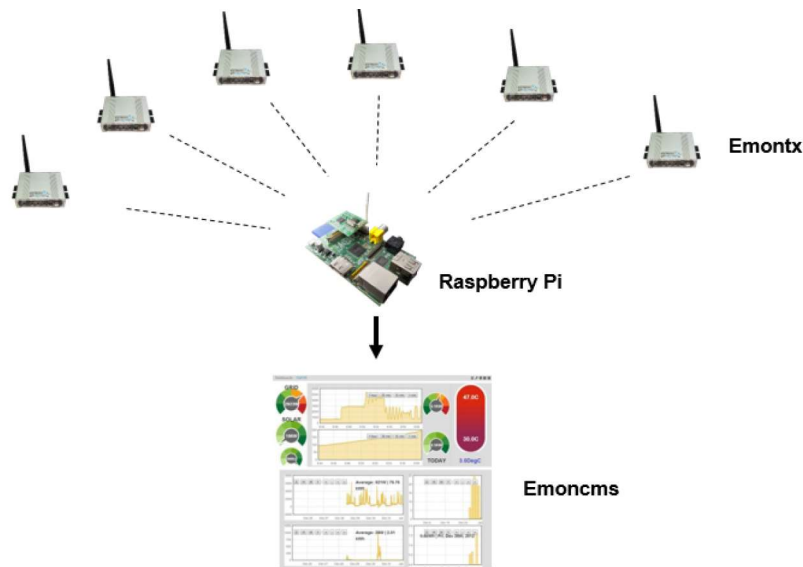


Figura 21: Arquitetura da solução IoT OEM

Os equipamentos que a marca disponibiliza são vários. Foi feita uma pesquisa mais aprofundada sobre os produtos afim de seleccionar os que interessam ao âmbito deste caso. Seguem os equipamentos e um resumo das suas características, que foram seleccionados:

- EmonTx
 - Medição de potência aparente, real e tensão RMS;
 - Microcontrolador Ciseco RFu328 com ATmega 328 com bootloader Arduino Uno;
 - RF Radio: HopeRF RFM12B 433Mhz (incluído) ou 868Mhz (não incluído);
 - 4 entradas CT sensor 3.5mm jack mais uma entrada de alta-sensibilidade (4.5kW max);
 - Entrada 9V AC-AC alimenta e faz a leitura da tensão alternada;
 - Power supply: 5V mini-USB ou 3 x pilhas AA;

- Sensor de temperatura on-board DS18B20.

Este equipamento tem a capacidade de medir os vários parâmetros elétricos em tempo real e enviá-los para recetor gateway EmonBase. Ele usa os sensores de corrente elétrica não invasivos SCT-013 [11] referidos nos tópicos abaixo, e um transformador AC-AC que mede a tensão alternada para completar a medição afim de obter valores de potências. É necessário programar este equipamento por meio do Arduino IDE³. Os códigos estão na Internet, e podem ser transferidos facilmente. Todas as configurações no código em anexo ficam por defeito. Depois disto o equipamento está pronto para instalar e monitorizar.

- EmonBase
 - Raspberry Pi com HAT RFM69Pi;
 - Com base no ATmega328, tem mais memória e suporte de série do hardware;
 - É executado no oscilador 8Mhz interna (para salvar os componentes desnecessários);
 - RFM69Pi [12] com ATmega328 permite a programação diretamente pelo Raspberry Pi usando avrdude

Este equipamento permite a receção dos dados lidos pelo EmonTx [13]. Ela faz numa primeira fase a filtragem na receção, por meio de código que identifica se o pacote com informação recebido é válido ou inválido. Isto é importante porque existe muita informação a circular na frequência rádio e ruído, que tem de haver um “handshake” com o pacote para validar. Depois de validado, o EmonBase envia essa informação para a cloud com serviços por parte da própria empresa OEM, que permitem armazenar e visualizar a informação na forma de gráficos. No anexo 5 encontram-se as imagens de cada dispositivo de monitorização.

4.3.1. Planeamento, Configuração e Instalação

Tendo como objetivo principal medir o maior número possível de diferenciais das divisões do edifício, e dentro de um limitado orçamento, foi feito um plano. Primeiramente foram feitos alguns testes, dos quais a termografia ao quadro feita em tópicos anteriores, que não mostra anomalias térmicas significantes.

De acordo com o orçamento e com as possibilidades, foram instalados 4 EmonTX no quadro parcial com 4 pinças a medir cada uma e 3 EmonTX no quadro parcial com 4 pinças no total.

Depois de adquiridos os equipamentos precedeu-se à sua configuração. Para configurar o EmonTX foi necessário descarregar programação já feita do seguinte site: <https://github.com/openenergymonitor/emonTxFirmware>. Este site pertence a um servidor em cloud em que todos os utilizadores podem modificar e melhorar o código (dependendo das permissões), é o resultado do esforço de todos os participantes no projeto OEM. O equipamento permite a sua programação diretamente por UART,

³Interface com compilador de código para a placa ARDUINO

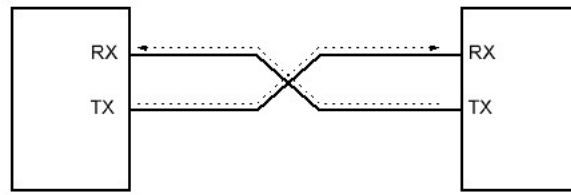


Figura 22: Esquema de comunicação do protocolo UART

e usando o software Arduino IDE foi feita a compilação e upload para o equipamento do código.

Com isto o EmonTX fica configurado para ler de 10 em 10 segundos medições analógicas do sensor de corrente e do transformador, enviando por ondas rádio sempre através do transmissor RFM69 para o recetor, e com isso o receptor (EmonPi) estima o fator de potencia e o consumo elétrico instantâneo, para além de mostrar a data e o momento em que foi medido.

De seguida foi a configuração do EmonPi, em que basta fazer a transferência da imagem .iso⁴ no seguinte site: <https://openenergymonitor.org/emon/node/10729>. Feita a transferência, é necessário escrever esta imagem em um cartão SD, com requisito de ter um espaço igual ou maior que 8GB, através do software Win32DiskImager®.

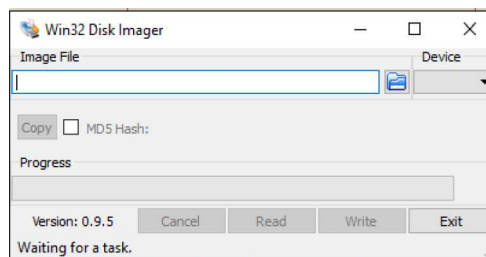


Figura 23: Janela do Win32DiskImager®

Feito isto basta inserir o cartão no EmonPi e ligar. O software embutido começa a correr e basta configurar a network Group e o numero dos nodes que irá receber dados.

O EmonPi fica então pronto para receber dados, tratá-los e enviá-los para a plataforma através da Cloud. A plataforma que é usada pertence também à empresa OEM, que se chama EmonCMS. Esta plataforma permite visualizar os dados, configurar o recetor e fazer backups da informação.

O sistema do recetor (EmonPi) possui um editor (chamado EmonHub) que informa a plataforma que tipo de dados está a receber de cada node. Basta atribuir o número ao node dentro do grupo certo para que os pacotes de informação correspondam; se correspondem então é um pacote válido. Este método serve essencialmente para selecionar

⁴Extensão de ficheiro que permite guardar uma réplica do sistema operativo com add-ons.

os pacotes que são dirigidos ao recetor, pois existem muitos outros sistemas alheios que podem estar a usar a mesma frequência de comunicação (neste caso 433MHZ). A comunicação é feita através de um protocolo chamado MQTT, em que o editor EmonHub também pode mostrar esses registos. A plataforma (EmonCMS) também permite visualizar dados que os transmissores (EmonTX) estão a enviar e decidir quais os nodes que queremos ativos. Os dashboards com vários widgets que podem ser adicionados, informam visualmente os consumos de acordo com a preferência do utilizador. O exemplo de dashboard realizado está no anexo 6.

Com todas as configurações feitas e testado o equipamento, seguiu-se então para a instalação dos equipamentos no edifício. A instalação ocorreu no ultimo trimestre de 2015. E esteve no âmbito de um projeto de monitorização energética do próprio edifício chamado de MEDE. A instalação teve a colaboração de José Ventura⁵. Todas as fotos da instalação estão no anexo 6.

4.3.2. Resultados da monitorização

Com a instalação feita, a informação começou a chegar à base de dados da plataforma, o que permitiu gerar gráficos elucidativos dos consumos instantâneos e acumulados que o edifício teve. Os equipamentos começaram a recolher informação desde 23 de Novembro de 2015, e continua até à presente data. A lista no anexo 1 representa todos diferenciais que se conseguiram monitorizar com o equipamento, e no anexo 2 estão todos os gráficos gerados que a plataforma permite obter.

Podem ser visualizados gráficos na escala diária, mensal e anual em kilowatts de cada node. Neste exemplo mostra-se a monitorização feita pelo node 6.

⁵colaborador da ADRAL

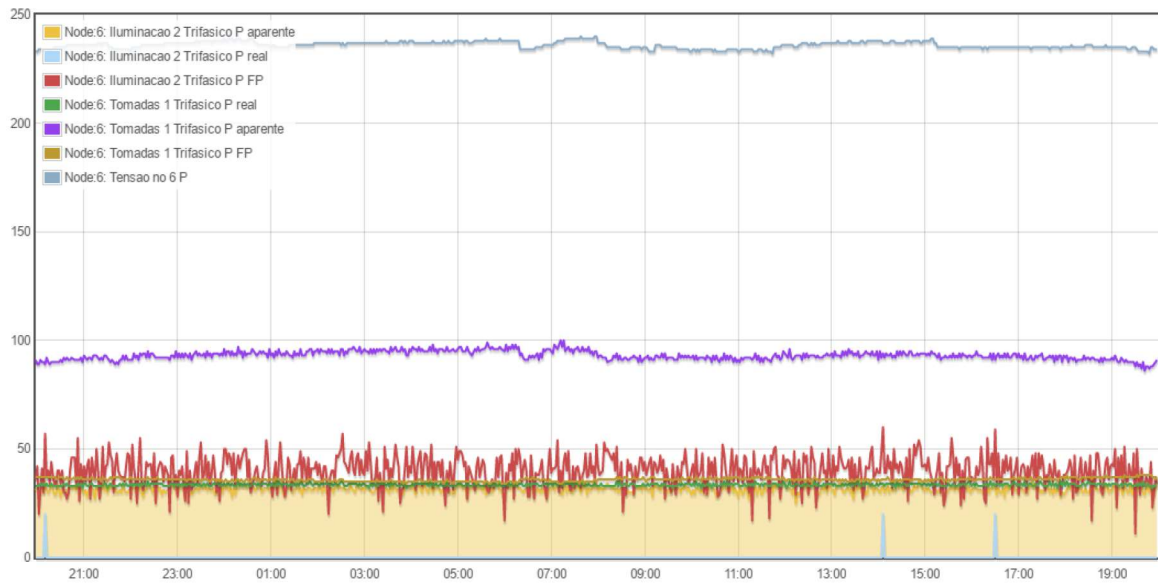


Figura 24: Gráfico do consumo do node 6 (Vista diária)

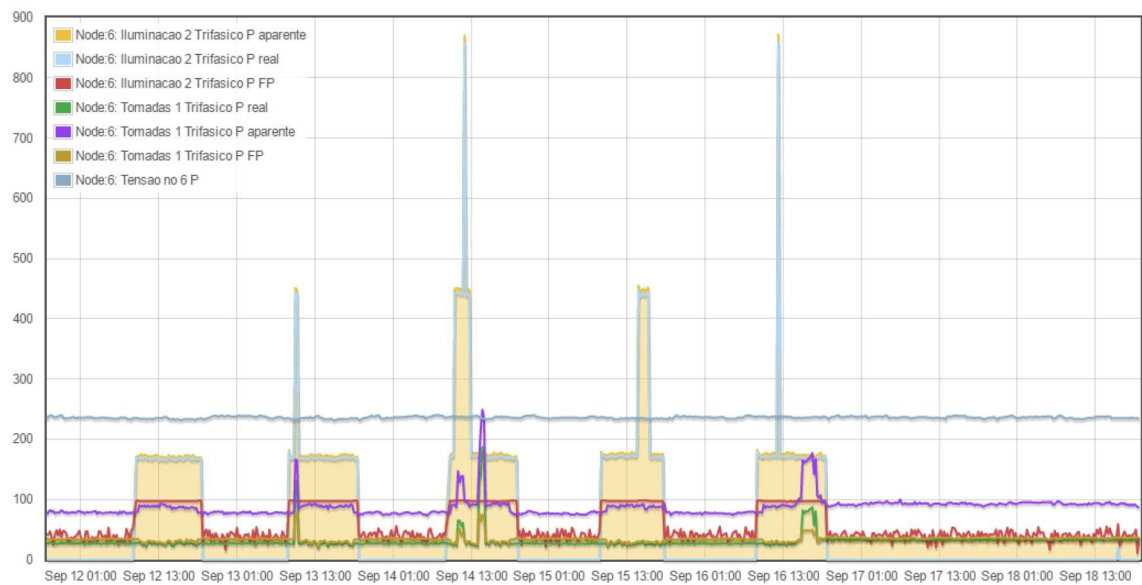


Figura 25: Gráfico do consumo do node 6 (Vista semanal)

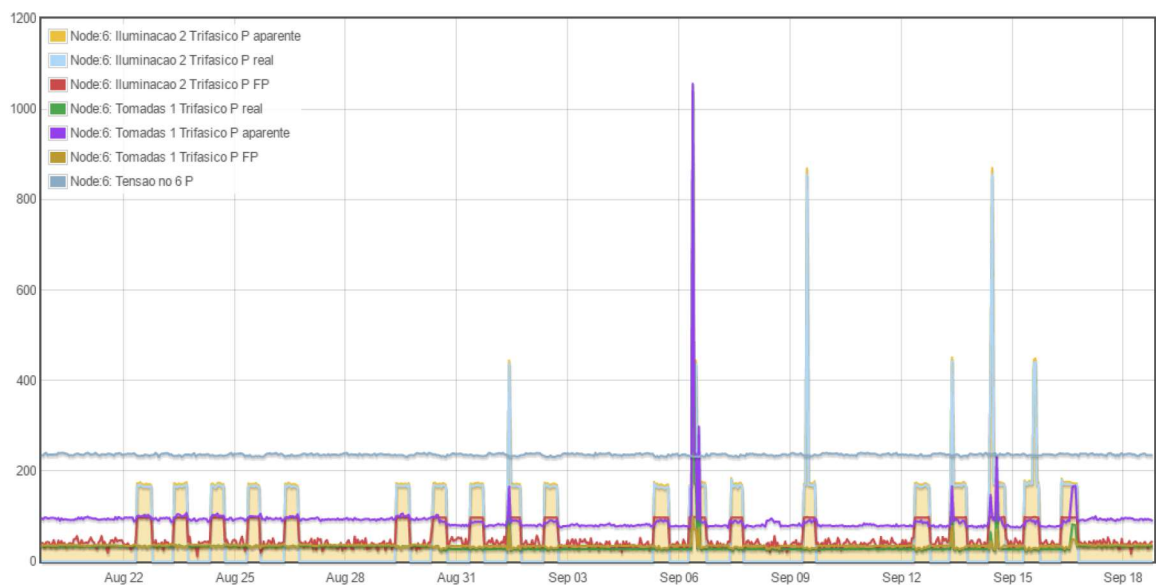


Figura 26: Gráfico do consumo do node 6 (Vista mensal)

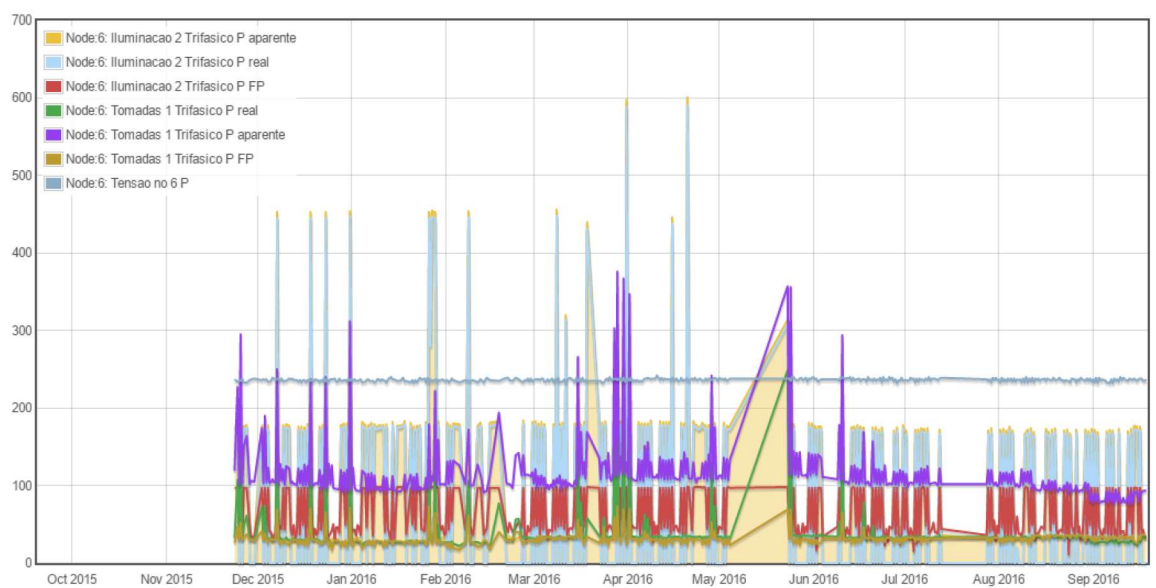


Figura 27: Gráfico do consumo do node 6 (Vista anual)

Note-se que alguns gráficos possuem segmentos com retas, isto acontece quando há falhas na monitorização pois não há informação, isto deve-se a situações em que o nodes se desligaram por motivos alheios ao projeto, e que são corrigidas com retas pela plataforma.

Também é possível recolher consumo acumulado de cada entrada de monitorização de cada node.

4.4. Solução IoT - Melhorias

Depois de testada a solução IoT selecionada, foram reconhecidas algumas necessidades de melhoria. Propôs-se então melhorias a nível de hardware e na abrangência de mais parâmetros que afetam a eficiência energética de um edifício. Um dos problemas atuais da solução testada, é que um equipamento EmonTX apenas tem capacidade para usar 4 sensores de corrente elétrica, e com esta alternativa essa capacidade seria estendida. Esta só possui equipamento de monitorização elétrica o que não é suficiente para uma solução de eficiência energética global, por isso esta alternativa usaria equipamentos que medem outros tipos de variáveis que influenciam a percentagem desta, tais como equipamento com sensores de temperatura, humidade e luminosidade, todos com eletrónica necessária para enviar e receber dados, e seria, nesta proposta de melhoria, adicionada a fórmula genérica de eficiência energética do edifício como indicador principal na visualização de informação que reúne todas essas variáveis, presente no algoritmo da plataforma.

Todas as componentes desta secção estão previstas apenas em protótipo virtual, pelo que não foi planeado criar fisicamente e implementar estas melhorias, esta parte levaria muito tempo e recursos que não estão ao alcance a curto prazo. Segue então descrição de todas as componentes que compõem esta proposta de melhoria. Note-se de que como não houve acesso a recursos suficientes para criar um protótipo físico destas placas eletrónicas, apenas foram concebidos os seus esquemas em software.

Tabela 12: Especificações do sensor SCT-013-000

Modelo	SCT-013-000
Corrente de entrada	0-100A
Tensão de saída	0-50mV
Precisão	±3%
Temperatura de operação	-25°C~+70°C

4.4.1. Node de corrente/tensão elétrica

Este node possui um sensor de corrente com a vantagem de ser não-invasivo, ou seja é um sensor do tipo clipper que mede o campo magnético que é gerado pela corrente que passa no fio de eletricidade. Com isso mede-se, de acordo com as teorias do eletromagnetismo, a intensidade de corrente. O sensor é do modelo SCT-013-000 [14] e consegue medir uma intensidade de corrente nominal de 150A. O sensor possui uma direção de medição de corrente, pelo que tem de estar coincidente com um diferencial de tensão positivo, caso contrario o sensor não irá medir de acordo com o esperado.

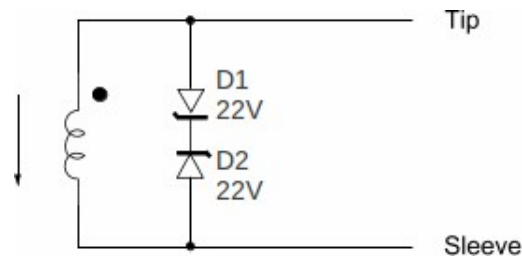


Figura 28: Esquema elétrico do sensor

As suas especificações são:

Para ligar este sensor a um micro-controlador são necessários alguns procedimentos. Portanto, como este sensor não possui uma adaptação para que o microcontrolador consiga ler corretamente os impulsos analógicos, é necessário adicionar a seguinte eletrônica representada no esquema abaixo.

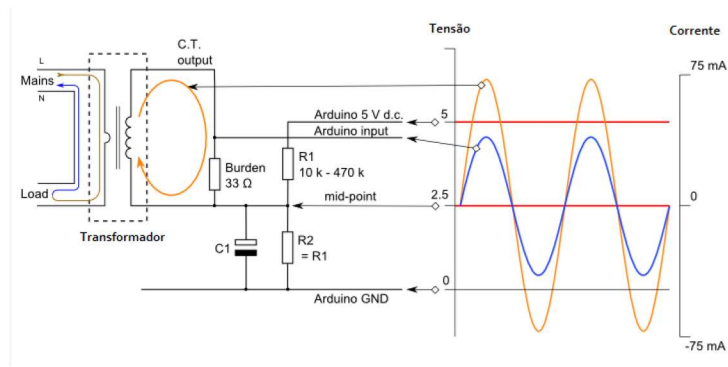


Figura 29: Esquema elétrico de divisor de tensão para o Micro-controlador

Para este sensor medir um output de corrente elétrica, é necessário uma resistência burden [15] num esquema de divisor de tensão. Para medir um output de tensão elétrica, esta resistência já não será necessária. Este sensor só pode medir até 100 A por isso para escolher uma resistência burden considera-se uma corrente RMS com esse valor.

Para obter a corrente máxima:

$$I_{picoPrimario} = I_{rms} * \sqrt{2} = 141.4 \quad (20)$$

Pode-se então também obter a corrente do secundário, sabendo que este sensor tem uma bobine de 2000 voltas:

$$I_{picoSecundário} = I_{picoPrimario}/2000 = 0.0707 \quad (21)$$

Como se irá usar um microcontrolador ATMEGA328 [16], é preciso ter em conta a sua limitação de leitura direta de tensões máximas de 5V, pelo que a tensão de referencia será dividida por 2 para maximizar a resolução da leitura, pois a tensão na resistência burden terá de ser metade da tensão de referencia do microcontrolador.

$$R_{Burden} = \left(\frac{AREF}{2}\right)/I_{picoSecundário} = 35.4\Omega \quad (22)$$

Como este valor de resistência não é comum no mercado, pode usar-se 33Ω pois se for maior que 35 Ω, a tensão máxima poderá ultrapassar a AREF [17] do microcontrolador podendo resultar em descalibração. O objetivo é criar um protótipo de uma placa que incorpore todo o circuito descrito acima com adição do micro-controlador e sistema de envio de dados. A conceção da placa passa por usar um programa chamado EAGLE® [18] que permite a criação do circuito esquemático e da placa eletrónica em si. A construção desta PCB foi baseada nos esquemas já existentes da placa EmonTx referida em tópicos anteriores. Foram adicionadas mais duas entradas para sensores de corrente, e retirados alguns componentes que para prototipagem não são necessários. O esquema da PCB melhorado encontra-se no anexo 7

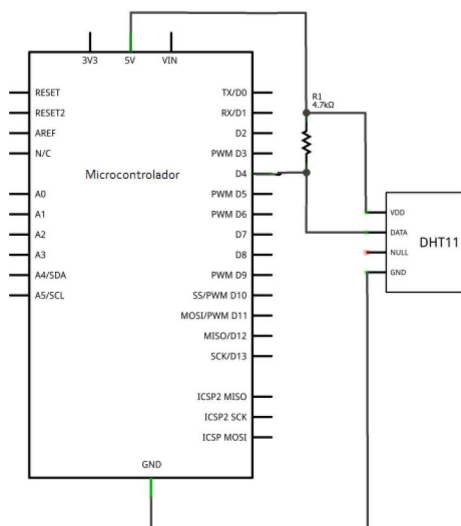


Figura 30: Esquema de ligações para o sensor DHT11

4.4.2. Node de temperatura / humidade

Este node serve para a medição de uma escala de temperaturas tanto interior como exterior, e também leitura de humidade relativa, especifica, ou até mesmo a medição do ponto de orvalho. O sensor usado é o modelo DHT11 [19, 20], e mede a temperatura e a humidade ao mesmo tempo. As suas especificações técnicas são as seguintes:

Tabela 13: Especificações do sensor DHT11

Modelo	DHT11
Intervalo de medição	20-90%hr, 0-50 °C
Precisão de medição humidade relativa	±5%hr
Precisão de medição temperatura	±2°C
Resolução	1%hr e 1°C para 8bits
Tensão nominal	5.5V Max

A humidade relativa depende em grande parte da temperatura. Embora a tecnologia de compensação de temperatura seja usada para garantir uma medição precisa de humidade relativa, ainda é recomendável manter os sensores de humidade e temperatura sob a mesma temperatura de trabalho. Este tipo de sensores devem ser montados nos locais onde exista menos incidência de calor possível. Uma longa exposição à luz solar e ultravioleta pode diminuir o desempenho do sensor.

A conceção deste node é semelhante à anterior, apenas foi alterado o esquema eletrónico que permite a compatibilidade com a leitura analógica do microcontrolador.

Isto é útil pois permite uma monitorização do ambiente ou até mesmo usar comparações das leituras com as bases de dados de previsão de tempo, já que estas variáveis podem

indicar futuras precipitações. Para esta melhoria proposta será útil, pois mudanças do clima afetam diretamente a eficiência energética do edifício. Também existe o potencial de monitorizar parâmetros que afetem diretamente o conforto das pessoas que frequentam o espaço. Todos os esquemas de conceção deste node encontram-se no anexo 7.

4.4.3. Node de luminosidade

O node de luminosidade tem capacidade de medir a luminosidade através da leitura de dados provenientes do sensor. Tal como os outros nodes que compõem o sistema, ele irá medir, processar e enviar através de transmissor, a informação para a estação recetora. A configuração do esquema eletrónico e da placa de prototipagem são semelhantes aos restantes nodes, apenas foi modificado o esquema eletrónico que permite o microcontrolador ler os inputs analógicos do sensor de luminosidade LDR.

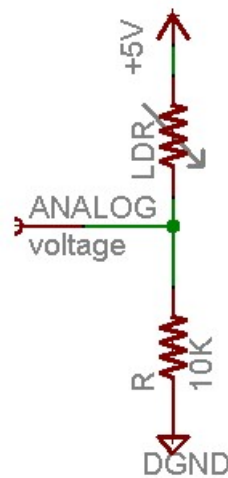


Figura 31: Esquema eletrónico para o sensor LDR

O sensor de luminosidade usado seria o modelo PDV-P8001 [21] com as seguintes especificações resumidas:

Tabela 14: Especificações do sensor PDV-P8001

Modelo	PDV-P8001
Tensão de pico	150 V
Dissipação de potência contínua	320 × 240
Temperatura de operação	Min: -30°C, Max: 75°C

A calibração deste sensor foi apenas feita ao nível de software com algoritmos de programação pré-definidos. O método de conceção usado deste node foi similar aos anteriores. Está presente no anexo 7 a imagem descritiva dos esquemas elétricos e da placa de prototipagem.

5. Controlo

5.1. Introdução ao Machine Learning

Machine Learning [22] pode ser definido como uma extração semi-automatizada de conhecimento a partir de um conjunto de informações. É um ramo da ciência computacional que evoluiu a partir de estudos de reconhecimento de padrões e teoria da inteligência artificial. Resumindo, o seu objetivo é generalizar resultados a partir de informação recolhida que representa o que foi experienciado, e com isso obter previsões e exemplos de informação futura. Os dados provêm de geralmente de conjuntos de dados com distribuições probabilísticas desconhecidas, e o algoritmo tem de aprender e construir um modelo que se enquadra nesse conjunto para obter previsões relativamente fiáveis. Geralmente quanto mais informação recolhida mais fiável o modelo se pode tornar, em termos de precisão de treino.

Resumindo:

- Pode ser usada com questões que pode ser respondidas através da recolha de dados;
- Extração automática: o computador faz o tratamento de dados automaticamente;
- Requer muitas decisões humanas para chegar a um bom modelo.

Existem duas categorias principais de Machine Learning:

- Supervised Learning: Faz previsões usando um determinado conjunto de dados. Decisões “Verdadeiro” ou “Falso”, tal como a figura 32 ilustra.



Figura 32: Exemplo de seleção de email de spam/não spam

- Unsupervised Learning: Não possui uma resposta única. Extrai a informação e criar clusters desse conjunto. Tal como a figura 33 indica.

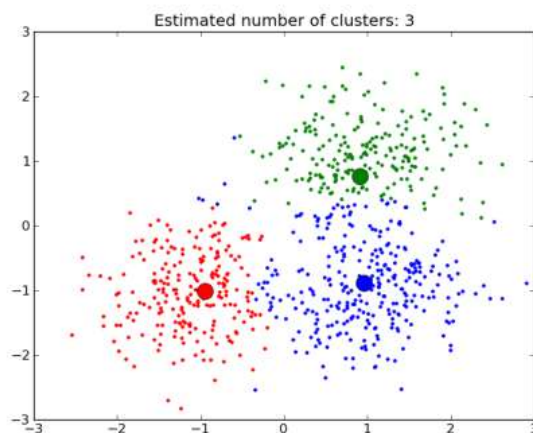


Figura 33: Dados dispersos e previsões de Clusters.

Para uma abordagem de Supervised Learning os principais passos são:

1. Treinar o modelo de Machine Learning usando dados etiquetados, com o seus atributos correspondentes (Input);
2. O modelo aprende e extrai a relação entre os atributos de cada entidade;
3. O algoritmo prossegue à criação de novas previsões de dados para os quais a entidade é desconhecida.

5.2. Previsão

A parte mais complicada na gestão energética é sem dúvida o controlo. Porque implica uma série de intervenções que se podem tornar muito dispendiosas em tempo e trabalho, e claro em termos financeiros. É por isso que esta parte do projeto se vincula em controlo com condições ideais (instalações e equipamentos compatíveis com controlo remoto e em cloud). Uma boa gestão pressupõe um bom controlo, e um bom controlo pode definir-se pela envolvente de vários instrumentos e tecnologias. Uma delas é a tecnologia de Machine Learning como já foi referida. O potencial de uso desta é de permitir que para além da monitorização e recolha de dados, seja feita uma decisão inteligente e otimizada, para que esta seja atuada nos componentes necessários a controlar. A vantagem é a de fechar o ciclo de análise, recolha de dados e controlo automaticamente. O que esta tecnologia faz é prever resultados de acordo com os dados recolhidos. Depois de feita essa previsão, o algoritmo de controlo poderia atuar no equipamento antes de consumir energia.

Foram feitos testes e investigação para este projeto envolvendo esta área. Primeiramente foi instalado um conjunto de software que instala todas as bibliotecas e programas necessários para correr uma análise de previsão chamado de Anaconda [23]. Depois disso

foi instalado um software que permite fazer o interface com a linguagem de programação Python [24] e as bibliotecas de previsão, chamado de PyCharm [25] com a interface ilustrada na figura abaixo.

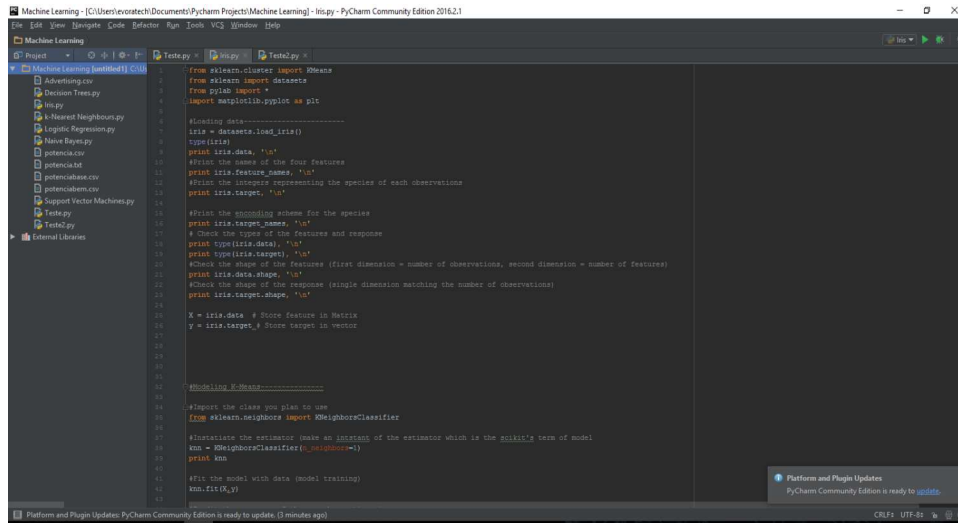


Figura 34: Interface com PyCharm

Talvez a biblioteca mais importante do conjunto de módulos que foram instalados, seja a biblioteca scikit-learn [26], isto porque:

- Possui uma interface consistente para todos os modelos de machine learning atuais;
- Permite alterar muitos parâmetros de afinação, mas já vem bem parametrizado por defeito;
- Muito boa documentação;
- Boa compatibilidade com outras bibliotecas existentes;
- Comunidade ativa para desenvolvimento e suporte.

O próximo passo será decidir qual o melhor modelo a seguir. A imagem abaixo ajuda nessa decisão.

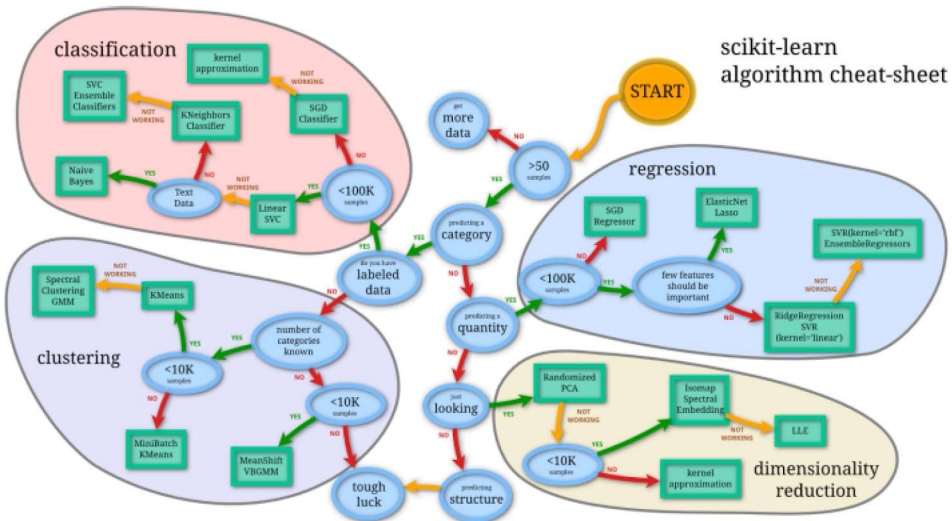


Figura 35: Diagrama de decisão

Como os dados são recebidos num curto intervalo de tempo, então a quantidade de dados é muito maior que 50 amostras. Deseja-se prever uma categoria a que esses dados pertencem, passa-se então para um modelo de classificação. Como existem mais do que 100 mil dados então o diagrama aponta para numa primeira tentativa usar o modelo de SVC linear.

Parte III.

Conclusão

Como consideração final, penso que a área da eficiência energética está ter cada vez mais importância a vários níveis. Com a necessidade de recursos energéticos mais limpos e mais eficientes, é importante estudar todas as possibilidades de análise e otimização do sistema envolvente. É possível monitorizar cada vez mais variáveis que influenciam direta ou indiretamente a eficiência global, e isso permite obter uma visão mais ampla e mais completa dos fatores que provocam uma queda na percentagem desta. Como interesse final acaba na maioria das vezes em poupar em termos económicos, e como consequência a racionalização de recursos e otimização de uso, deve existir a atuação direta ou passiva nos componentes do sistema, seja por meios invasivos ou por promoção de métodos mais limpos e eficientes por parte dos utilizadores. Como esses componentes não estão preparados para um controlo direto, muitas das vezes é complicada a atuação, e por isso torna-se necessário a sensibilização dos utilizadores dos sistema. A parte de controlo pode ser otimizada através de modelos matemáticos que compõem o ramo da inteligência artificial, que ainda é uma área híbrida em desenvolvimento e investigação, mas que revela muito potencial. Existe uma grande necessidade de desenvolver dispositivos mais eficientes na medição e plataformas de gestão dedicadas com capacidades de decisão automática, mas com o tempo eventualmente chegaremos a este ponto.

Parte IV.

Trabalho futuro

Este projeto tem potencial para crescer, visto que envolve áreas em evolução na indústria. Com mais desenvolvimento a longo prazo poderia tornar-se numa forte ferramenta para a área da eficiência energética. Referem-se alguns pontos que poderiam ser desenvolvidos a longo prazo e com condições melhoradas.

- Construção do edifício em 3D e simulação Mecânica de Fluidos Computacional:
 - Hoje em dia é mais acessível criar objetos em 3D. Discretizar todos os objetos e materiais que compõem o edifício a estudar, complementaria a simulação com recurso à computação de fluidos dinâmicos. Apenas requereria um computador com alto processamento de informação e processamento gráfico, capaz de simular em tempo viável as variações térmicas do edifício.

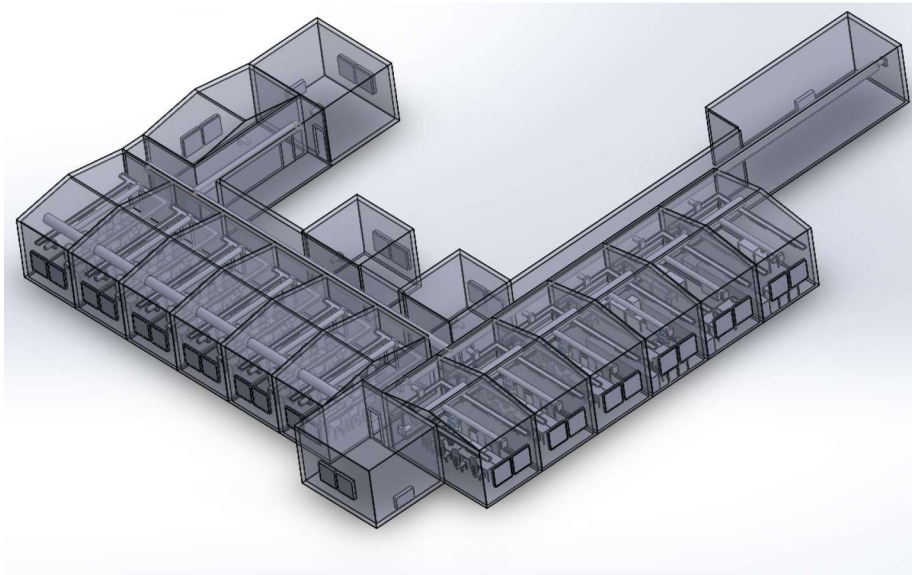


Figura 36: Modelo 3D do edifício do Évoratech

- Dispositivos híbridos de controlo e monitorização
 - A criação de dispositivos de controlo seria o próximo passo para a gestão energética. É realmente complicado aplicar dispositivos de controlo pela razão de que é necessário haver invasão do equipamento. Mas a mudança estaria em criar dispositivos menos invasivos possível para monitorização e controlo, tais como os que já existem de controlo monofásico, mas com conexão compatível com o conceito IoT.



Figura 37: Exemplo de controlador Wireless monofásico

- Criação de uma plataforma de controlo
 - Apenas uma plataforma de visualização de dados não seria suficiente. A plataforma que recebesse a informação teria de ser capaz também de decidir qual a melhor forma de controlar e gerir os recursos do edifício de maneira a aumentar a eficiência energética. A plataforma tinha de estar capacitada com vários algoritmos de decisão baseados em Machine Learning que seriam o “cérebro” da gestão e controlo da energia.
- Desenvolvimento e otimização do algoritmo de controlo
 - Existem muitos modelos de decisão. O trabalho desenvolvido seria o de afinar cada vez mais os parâmetros do modelo matemático em concordância com as medições feitas constantemente pelo sistema de monitorização.

Referências

- [1] - Iot fundamentos, http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Converging_Technologies_for_Smart_Environments_and_Integrated_Ecosystems_IERC_Book_Op
Acessado a: 10-04-2016.
- [2] - DigiCapital, <http://www.digi-capital.com/>, Acessado a: 10-04-2016.
- [3] - Navier-stokes, <http://www.claymath.org/millennium-problems/navier%E2%80%9393stokes-equation>, Acessado a: 15-04-2016.
- [4] - Flow simulation - base numerica, https://www.solidworks.com/sw/docs/Flow_Basis_of_CAD_Embedded_CFD_Whitepaper.pdf, Acessado a: 10-04-2016.
- [5] - Numero de reynolds, <https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/reynolds.html>, Acessado a: 29-08-2016.
- [6] - Aproximação de favre, https://www.cfd-online.com/Wiki/Favre_averaged_Navier-Stokes_equations, Acessado a: 15-04-2016.
- [7] - Lam-bremhorst, http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/d_enc/turmod/enc_t344.htm, Acessado a: 10-04-2016.
- [8] - Flow simulation, <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/flow-simulation.htm>, Acessado a: 10-04-2016.
- [9] - Conforto térmico humano, <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/human-thermal-comfort>, Acessado a: 14-05-2016.
- [10] - Norma 55-2013 - condições ambientais térmicas para ocupação humana, <https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/standard-55>, Acessado a: 20-06-2016.
- [11] - Datasheet sct-013-000, http://garden.seeedstudio.com/images/1/10/SCT013-000_datasheet.pdf, Acessado a: 19-09-2016.
- [12] - Rfm69pi, https://wiki.openenergymonitor.org/index.php/RFM69Pi_V3, Acessado a: 09-02-2016.
- [13] - Emontxv3.4, https://wiki.openenergymonitor.org/index.php/EmonTx_V3.4, Acessado a: 09-07-2016.
- [14] - Sensores ct, <https://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/ct-sensors-interface>, Acessado a: 15-01-2016.
- [15] - Resistencia burden, <http://jeelabs.org/book/1512a/>, Acessado a: 18-08-2016.
- [16] - Atmega328, http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Summary.pdf, Acessado a: 07-07-2016.
- [17] - Aref, <https://www.arduino.cc/en/Reference/AnalogReference>, Acessado a: 07-07-2016.

[18] - Software eagle, <https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-install-and-setup-eagle>, Acessado a: 07-07-2016.

[19] - Interface com sensor de humidade, <http://blog.adrianoponte.com/sensor-de-temperatura-e-unidade-dht11-com-arduino/>, Acessado a: 22-01-2016.

[20] - Datasheet dht11, <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>, Acessado a: 19-09-2016.

[21] - Ldr - informação, <https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/010/127/original/PDV-P8001.pdf>, Acessado a: 21-09-2016.

[22] - Aprendizagem automática, <https://pt.coursera.org/learn/machine-learning>, Acessado a: 16-02-2016.

[23] - Package anaconda, <https://docs.continuum.io/anaconda/>, Acessado a: 25-04-2016.

[24] - Python - documentação, <https://docs.python.org/3/>, Acessado a: 27-04-2016.

[25] - Software pycharm, <https://www.jetbrains.com/pycharm/>, Acessado a: 25-04-2016.

[26] - scikit-learn - documentação, <http://scikit-learn.org/stable/documentation.html>, Acessado a: 27-04-2016.

ANEXOS

Anexo 1 - Lista dos componentes monitorizados

Tabela 15: Lista de equipamentos monitorizados

Node	Identificação	Componente
6,8,10	Tomadas 1	Salas 1 a 8
7	Iluminação 1	Hall de entrada; Sala bastidor; WC; Recepção; Salas 1 e 2; Iluminação de emergência; equipamento de telecomando
6,8,10	Iluminação 2	Corredor; Salas 3 a 8; Iluminação de emergência
9	Tomadas 2	Sala do bastidor; recepção; Equipamento de telecomando
14	Equipamentos	Central Incêndio; Bastidor; Central Intrusão
7,9,14	AVAC	-
7,9,14	Fresadora CNC	-
13	Tomadas 3	Salas. 13- 15
11	Tomadas 4	Salas 8 a 11
12	Iluminação 3	Corredor; Salas 11 a 15; Iluminação de emergência
13	Iluminação 4	Corredor; Salas 8 a 10; Iluminação de emergência; telecomando

Anexo 2 - Planta do edifício com referências



Figura 38: Planta do edifício Évoratech

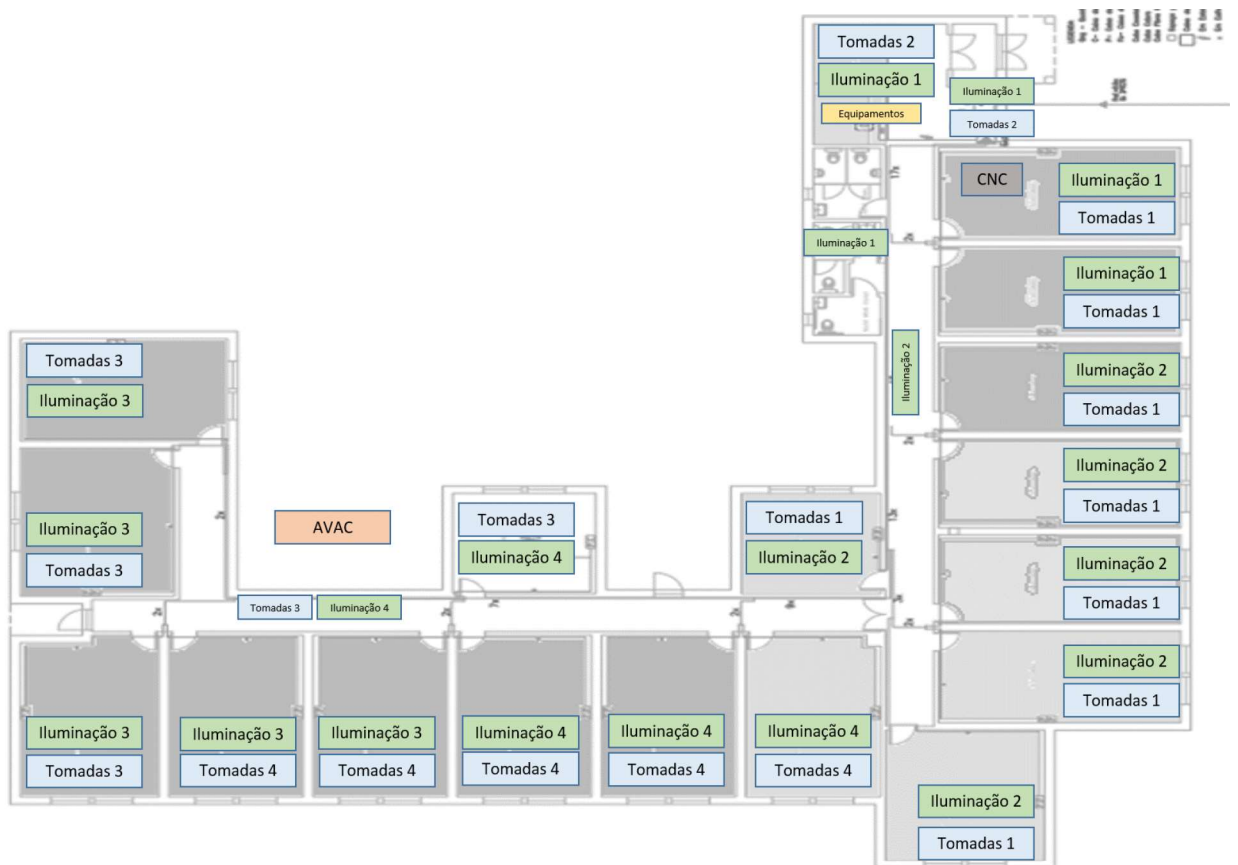


Figura 39: Posição dos componentes no edifício

Anexo 3 - Fotos térmicas

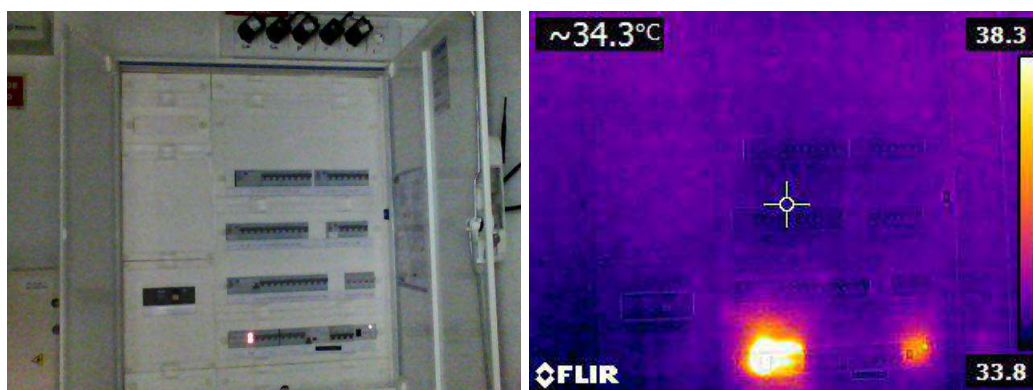


Figura 40: Quadro geral

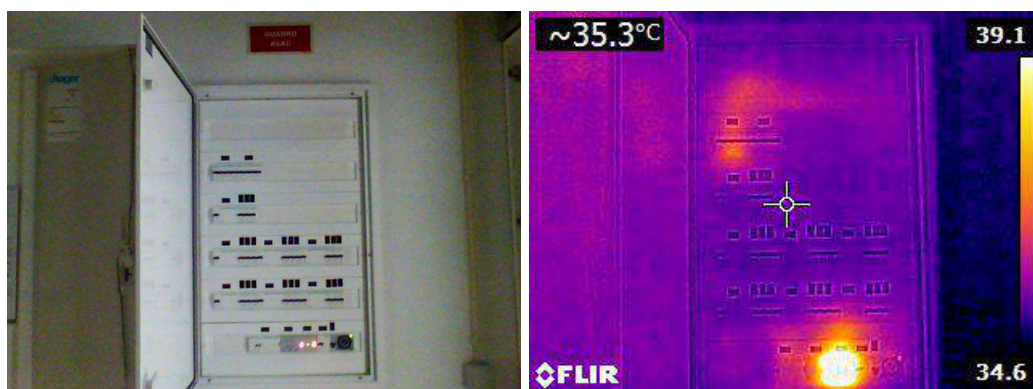


Figura 41: Quadro do AVAC

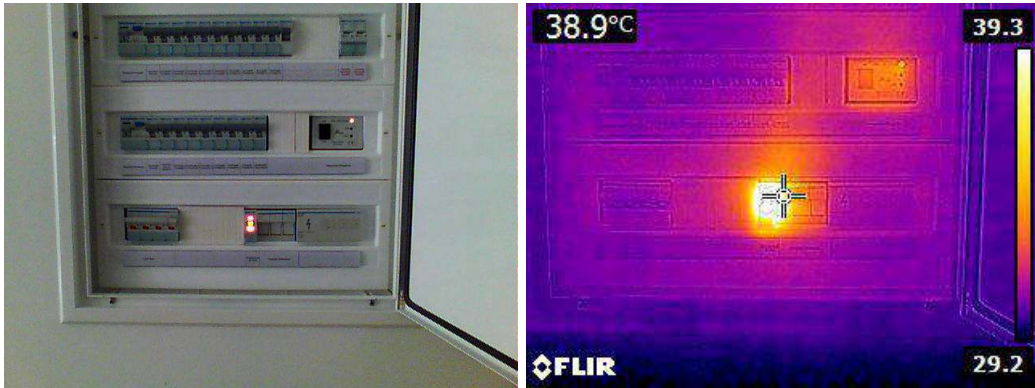


Figura 42: Quadro parcial

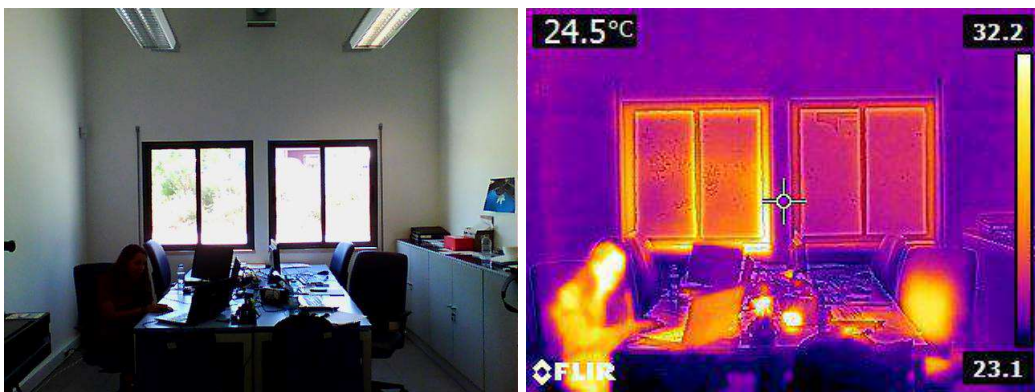


Figura 43: Foto térmica da Sala 5 - Vista para as janelas

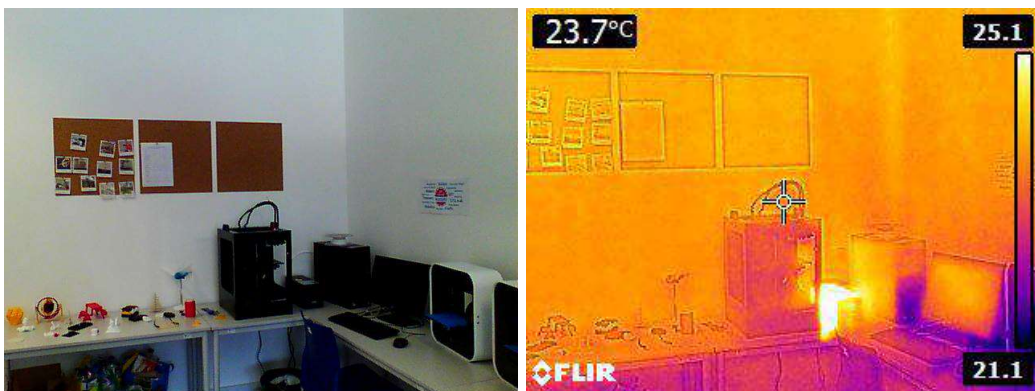


Figura 44: Foto térmica da Sala 5 - Equipamentos

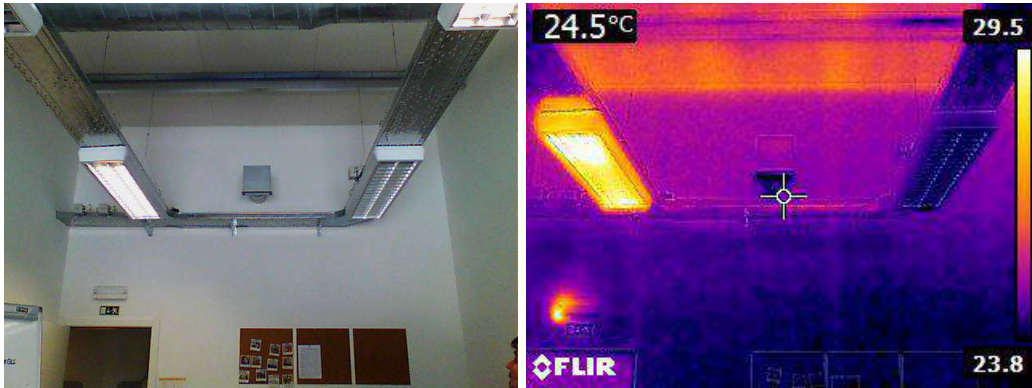


Figura 45: Foto térmica da Sala 5 - Iluminações

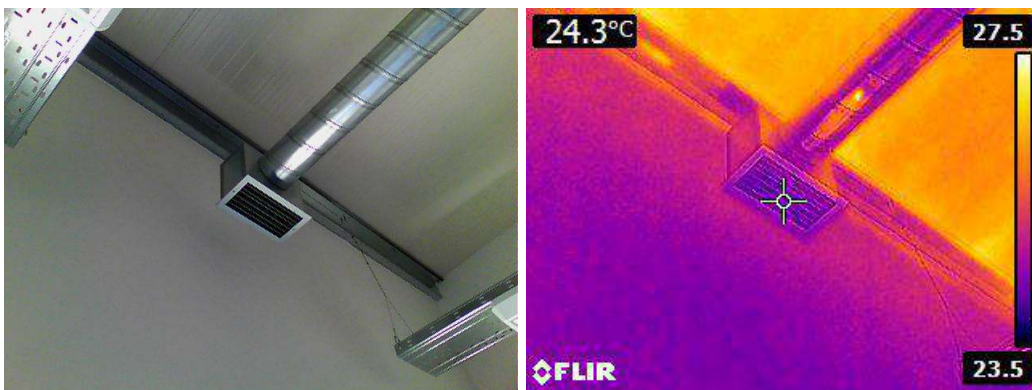


Figura 46: Foto térmica da Sala 5 - Ventilador

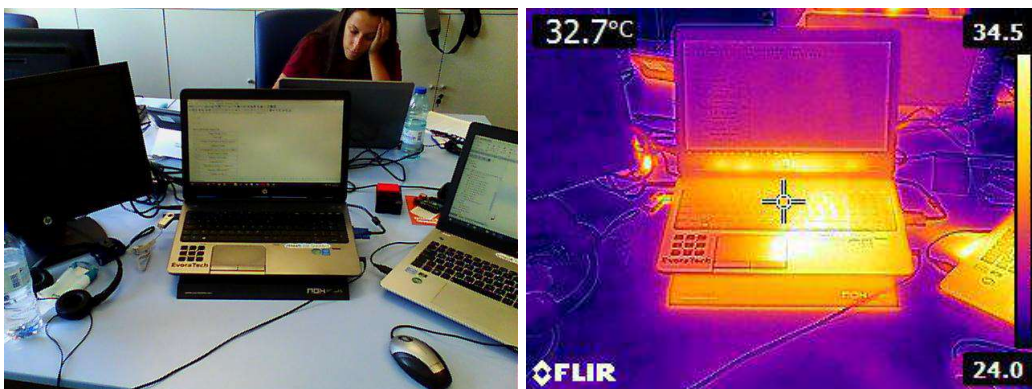


Figura 47: Foto térmica da Sala 5 - Portátil

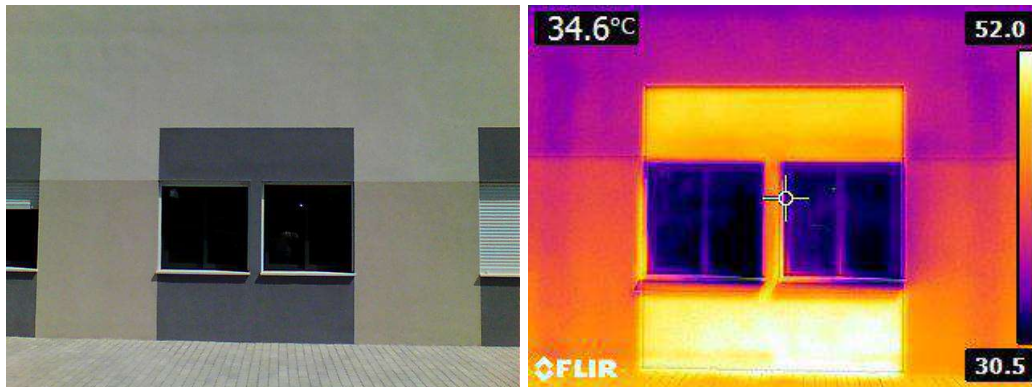


Figura 48: Foto térmica da Sala 5 - Parte exterior (Recolhida pelas 10h)



Figura 49: Foto térmica da Sala 3 - Unidade térmica

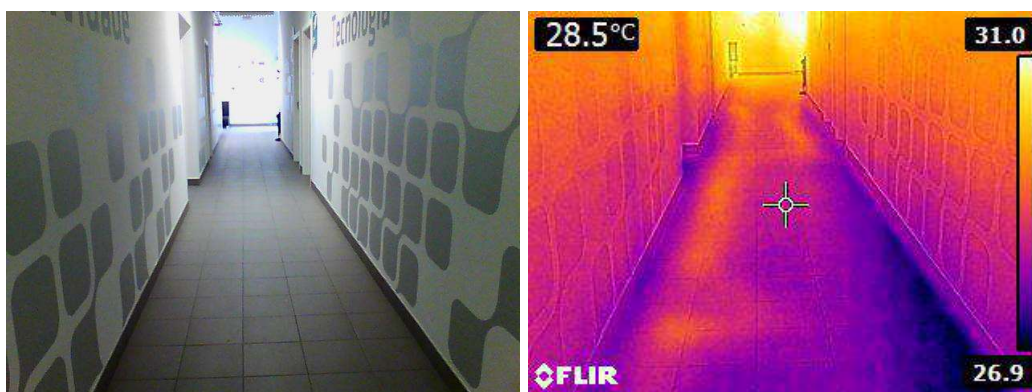


Figura 50: Foto térmica dos tubos de água das unidades terminais

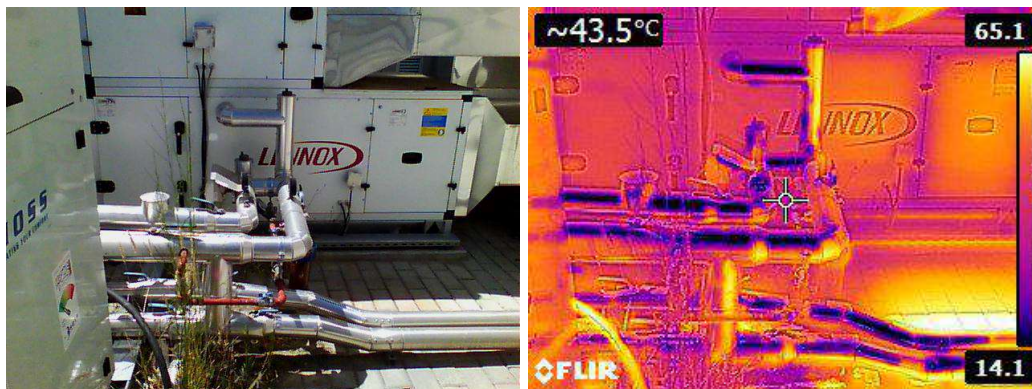


Figura 51: Tubos de circulação de água quente/fria (AVAC)

Anexo 4 - Equipamentos - Fotos e simulação 3D



Figura 52: Equipamento de iluminação



Figura 53: Equipamentos - UPS, PC fixo, Monitor, Impressora 3D e Portátil

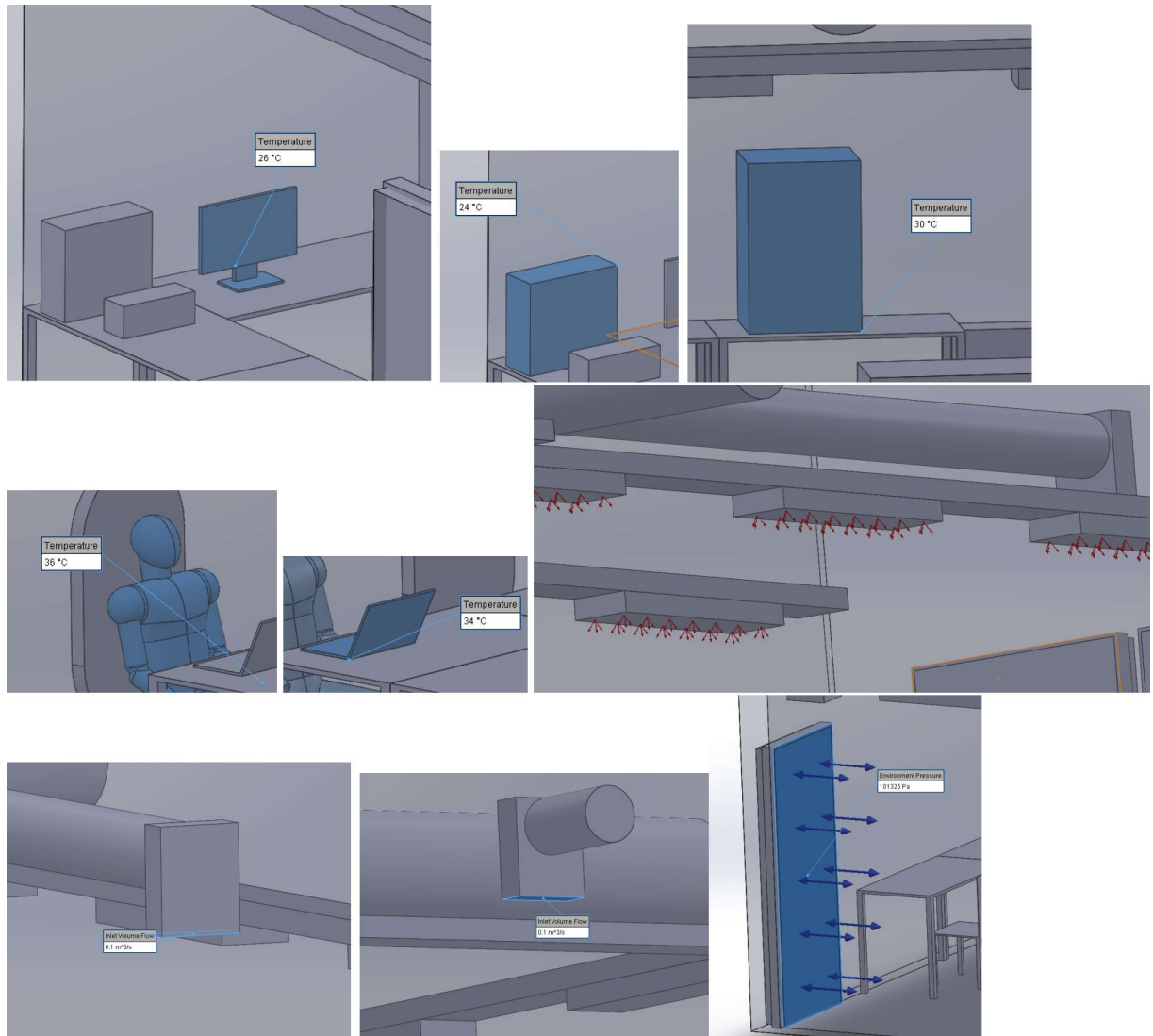


Figura 54: Atribuições dos componentes

Anexo 5 - Componentes da instalação IoT

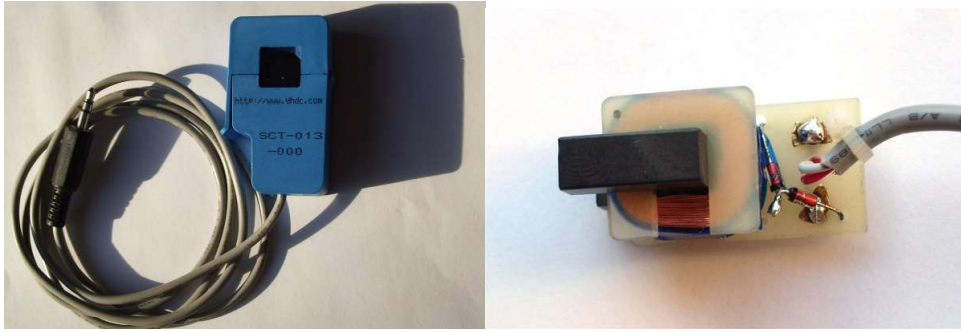


Figura 55: Sensor de corrente elétrica SCT-013-000

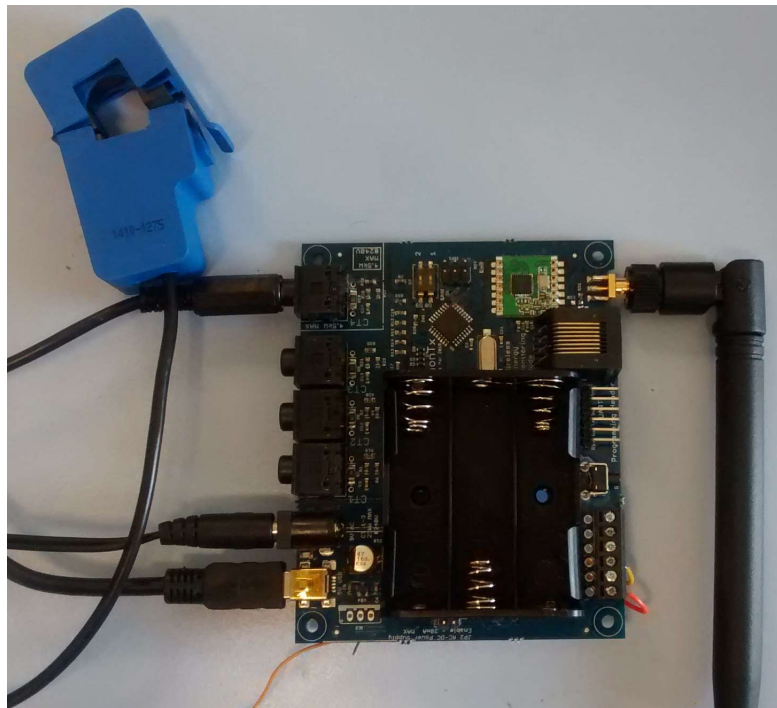


Figura 56: OEM EmonTx



Figura 57: OEM EmonBase

Anexo 6 - Imagens da instalação e configuração da solução IoT



Figura 58: Interface do EmonCMS - Dashboards



Figura 59: Instalação no quadro geral



Figura 60: Transformadores para medição de tensão AC no quadro geral

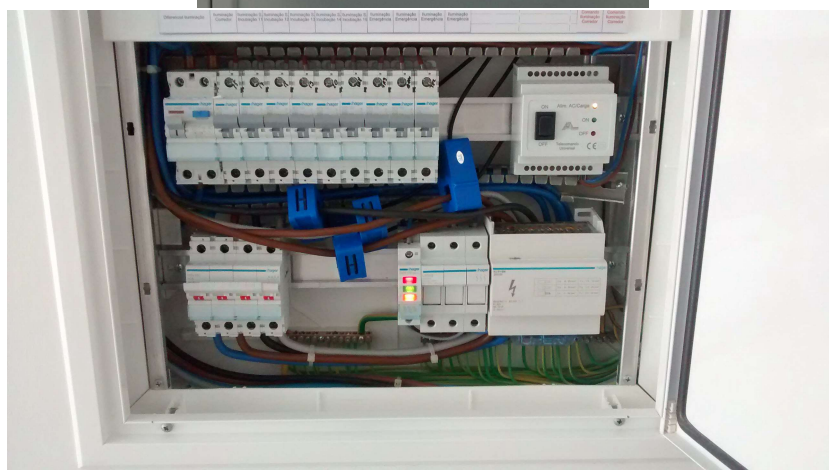


Figura 61: Instalação do equipamento no Quadro Parcial



Figura 62: Transformadores para medição de tensão AC no quadro parcial

EmonHub Nodes Feeds Vis Dashboard Apps Extras Admin Account Logout Wifi

EmonHub Config Editor

Save Editor emonhub.log view emoncms.log view

```

firmware =V1_6_emonTxV3_4_DiscreteSampling
hardware = emonTx_(NodeID_DIP_Switch1:OFF)
[[[rx]]]
names = power1, apower1, pf1, power2, apower2, pf2, power3, apower3, pf3, power4, apower4, pf4, Vrms, pulse #Firmware V1.6
#names = power1, power2, power3, power4, Vrms, temp #Firmware =<V1.4 (un-comment)
datacode = h
scales = 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 #Firmware V1.6
units =W,VA,C,W,VA,C,W,VA,C,W,VA,C,V,p #FirmwareV1.6
#scales = 1,1,1,1,0.01,0.1 #Firmware =<V1.4 (un-comment)
#units =W,W,W,W,V,C #Firmware =<V1.4 (un-comment)

[[7]]
nodename = emonTx_7
firmware =V1_6_emonTxV3_4_DiscreteSampling
hardware = emonTx_(NodeID_DIP_Switch1:OFF)
[[[rx]]]
names = power1, apower1, pf1, power2, apower2, pf2, power3, apower3, pf3, power4, apower4, pf4, Vrms, pulse #Firmware V1.6
#names = power1, power2, power3, power4, Vrms, temp #Firmware =<V1.4 (un-comment)
datacode = h
scales = 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 #Firmware V1.6
units =W,VA,C,W,VA,C,W,VA,C,W,VA,C,V,p #FirmwareV1.6
#scales = 1,1,1,1,0.01,0.1 #Firmware =<V1.4 (un-comment)
#units =W,W,W,W,V,C #Firmware =<V1.4 (un-comment)

```

Figura 63: Editor EmonHub

EmonHub Nodes Feeds Vis Dashboard Apps Extras Admin Account Logout Wifi

EmonHub Config Editor

Editor emonhub.log view emoncms.log view

```

2016-09-07 03:39:43,879 DEBUG RFM2Pi 2993126 Sent to channel' : ToEmonCMS
2016-09-07 03:39:44,905 DEBUG RFM2Pi 2993127 NEW FRAME : OK 14 0 0 0 0 0 0 226 0 46 1 74 0 133 0 162 0 82 0 0 0 0 0 0 0 237 0 0 0 (-52)
2016-09-07 03:39:44,907 DEBUG RFM2Pi 2993127 Timestamp : 1473219584.9
2016-09-07 03:39:44,908 DEBUG RFM2Pi 2993127 From Node : 14
2016-09-07 03:39:44,908 DEBUG RFM2Pi 2993127 Values : [0, 0, 0, 226, 302, 74, 133, 162, 82, 0, 0, 0, 237, 0]
2016-09-07 03:39:44,909 DEBUG RFM2Pi 2993127 RSSI : -52
2016-09-07 03:39:44,910 INFO RFM2Pi Publishing: emonhub/rx/14/values 0,0,0,226,302,74,133,162,82,0,0,0,237,0
2016-09-07 03:39:44,911 DEBUG RFM2Pi 2993127 adding frame to buffer => [1473219584, 14, 0, 0, 0, 226, 302, 74, 133, 162, 82, 0, 0, 237, 0, -52]
2016-09-07 03:39:44,912 DEBUG RFM2Pi 2993127 Sent to channel' : ToEmonCMS
2016-09-07 03:39:45,432 DEBUG RFM2Pi 2993128 NEW FRAME : OK 11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 27 0 98 0 27 0 237 0 0 0 (-47)
2016-09-07 03:39:45,435 DEBUG RFM2Pi 2993128 Timestamp : 1473219585.43
2016-09-07 03:39:45,436 DEBUG RFM2Pi 2993128 From Node : 11
2016-09-07 03:39:45,437 DEBUG RFM2Pi 2993128 Values : [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 27, 98, 27, 237, 0]
2016-09-07 03:39:45,437 DEBUG RFM2Pi 2993128 RSSI : -47
2016-09-07 03:39:45,438 INFO RFM2Pi Publishing: emonhub/rx/11/values 0,0,0,0,0,0,0,0,27,98,27,237,0
2016-09-07 03:39:45,441 DEBUG RFM2Pi 2993128 adding frame to buffer => [1473219585, 11, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 27, 98, 27, 237, 0, -47]
2016-09-07 03:39:45,442 DEBUG RFM2Pi 2993128 Sent to channel' : ToEmonCMS
2016-09-07 03:39:45,547 DEBUG RFM2Pi 2993129 NEW FRAME : OK 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 32 0 42 0 26 0 77 0 34 0 237 0 0 0 (-52)
2016-09-07 03:39:45,549 DEBUG RFM2Pi 2993129 Timestamp : 1473219585.55
2016-09-07 03:39:45,550 DEBUG RFM2Pi 2993129 From Node : 6
2016-09-07 03:39:45,550 DEBUG RFM2Pi 2993129 Values : [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 32, 42, 26, 77, 34, 237, 0]

```

Figura 64: Registo de entrada de pacotes de informação do EmonHub

EmonHub Config Editor

Editor emonhub.log view emoncms.log view

```

2016-9-7 03:39:40 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/14/values 0,0,0,213,283,75,133,162,82,0,0,0,237,0
2016-9-7 03:39:41 MQTT INFO Reloading config
2016-9-7 03:39:41 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/9/values 206,211,97,21,45,48,0,0,0,0,0,238,0
2016-9-7 03:39:41 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/6/values 0,0,0,0,0,0,0,33,33,26,76,34,237,0
2016-9-7 03:39:42 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/11/values 0,0,0,0,0,0,0,0,0,23,95,25,237,0
2016-9-7 03:39:42 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/14/values 0,0,0,224,299,74,132,161,82,0,0,0,237,0
2016-9-7 03:39:43 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/6/values 0,0,0,0,0,0,0,31,29,27,76,35,237,0
2016-9-7 03:39:43 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/9/values 207,213,97,20,43,46,0,0,0,0,0,238,0
2016-9-7 03:39:43 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/11/values 0,0,0,0,0,0,0,0,0,23,95,24,237,0
2016-9-7 03:39:44 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/14/values 0,0,0,226,302,74,133,162,82,0,0,0,237,0
2016-9-7 03:39:45 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/11/values 0,0,0,0,0,0,0,0,0,27,98,27,237,0
2016-9-7 03:39:45 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/6/values 0,0,0,0,0,0,0,32,42,26,77,34,237,0
2016-9-7 03:39:45 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/9/values 207,212,97,22,44,51,0,0,0,0,0,238,0
2016-9-7 03:39:47 MQTT INFO Reloading config
2016-9-7 03:39:47 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/14/values 0,0,0,213,281,75,133,162,82,0,0,0,238,0
2016-9-7 03:39:47 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/11/values 0,0,0,0,0,0,0,0,0,24,96,25,237,0
2016-9-7 03:39:47 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/6/values 0,0,0,0,0,0,0,32,37,27,77,35,237,0
2016-9-7 03:39:47 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/9/values 209,214,97,21,44,48,0,0,0,0,0,238,0
2016-9-7 03:39:48 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/11/values 0,0,0,0,0,0,0,0,0,22,94,24,237,0
2016-9-7 03:39:49 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/14/values 0,0,0,210,278,75,132,160,82,0,0,0,238,0
2016-9-7 03:39:49 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/6/values 0,0,0,0,0,0,0,32,43,28,79,35,237,0
2016-9-7 03:39:52 MQTT INFO Received mqtt message: emonhub/rx/9/values 207,212,97,21,43,49,0,0,0,0,0,238,0

```

Figura 65: Registro de mensagens MQTT no editor EmonHub

Nodes

1:	inactive
3:	inactive
5: emonPi	inactive
6: emonTx_6	1s ago
7: emonTx_7	4s ago
8: emonTx_8	3s ago
9: emonTx_9	3s ago
10: emonTx_10	2s ago
11: emonTx_11	2s ago
12: emonTx_12	3s ago
13: emonTx_13	6s ago
14: emonTx_14	3s ago
15:	inactive
19: emonTH 1	inactive

Name: emonTx_9

Node id: 9
Node key: emonTx_9
Node hardware: emonTx_(NodeID_DIP_Switch1:OFF)
Node firmware: V1_6_emonTxV3_4_DiscreteSampling

Rx Variables

Rx ID	Name	Last updated	Value	RSSI:
1	power1	3s ago	879 W	🔌
2	apower1	3s ago	917 VA	🔌
3	pf1	3s ago	95 C	🔌
4	power2	3s ago	145 W	🔌
5	apower2	3s ago	318 VA	🔌
6	pf2	3s ago	45 C	🔌
7	power3	3s ago	0 W	🔌
8	apower3	3s ago	0 VA	🔌

Figura 66: Visualização de cada node

Anexo 7 - Esquemas das placas IoT para melhoria

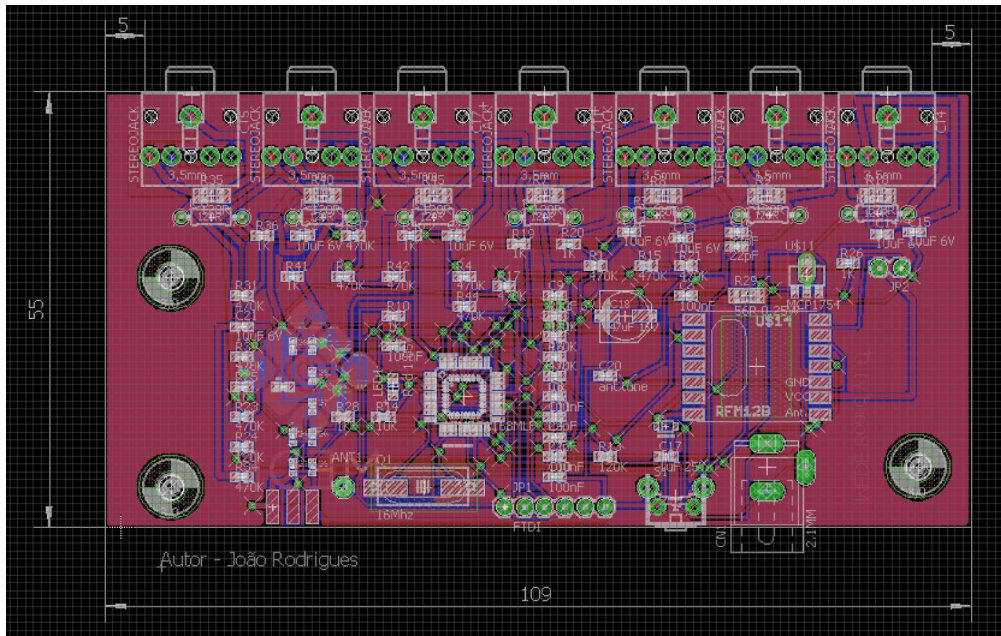


Figura 67: Protótipo de PCB do node de corrente/tensão elétrica

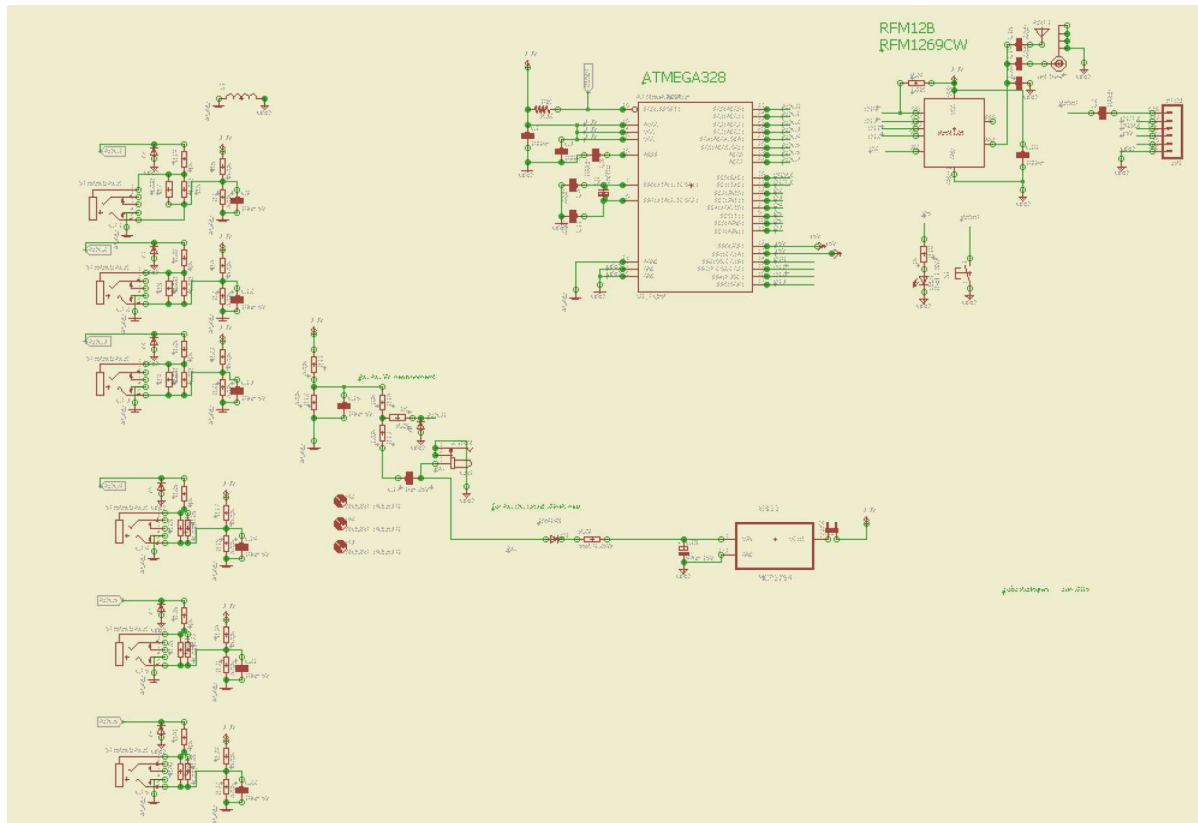


Figura 68: Esquema elétrico da PCB do node de corrente/tensão elétrica

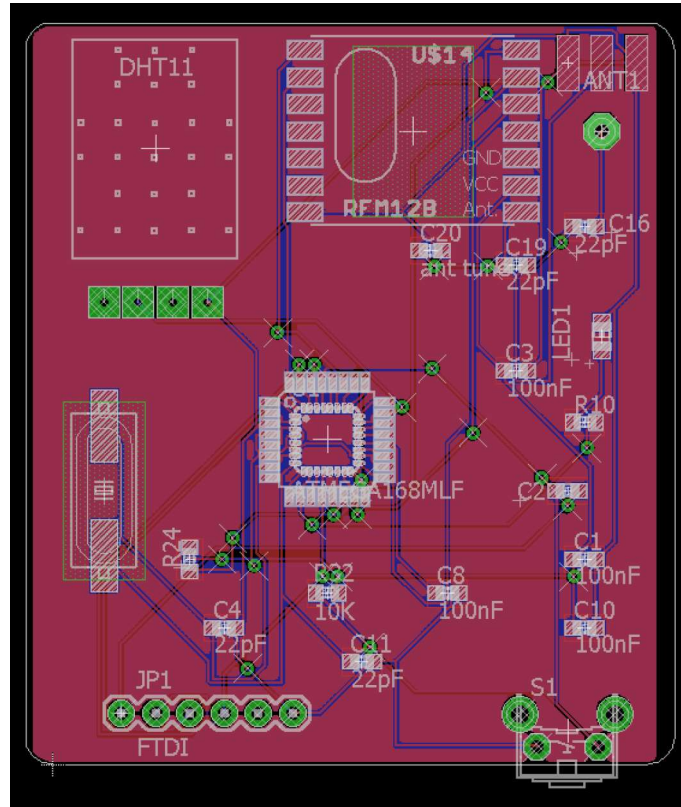


Figura 69: Esquema da PCB do node de temperatura / humidade

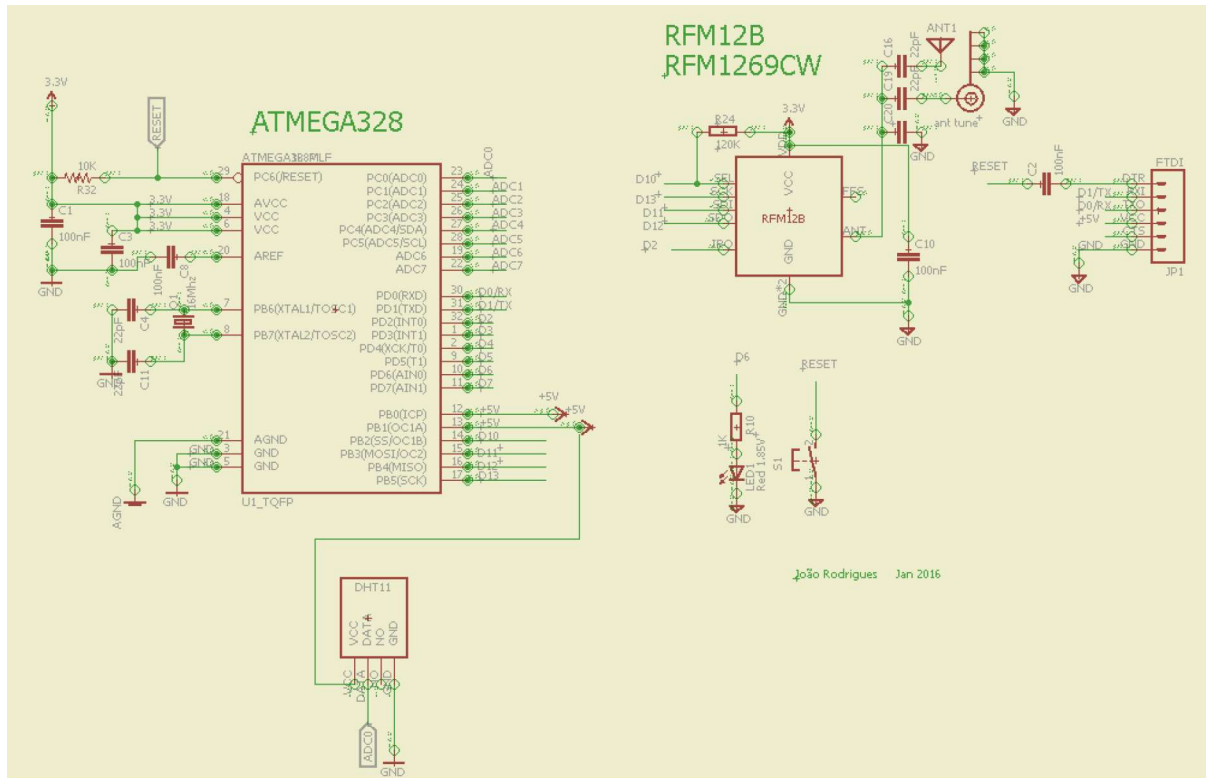


Figura 70: Esquema elétrico da PCB do node de temperatura / humidade

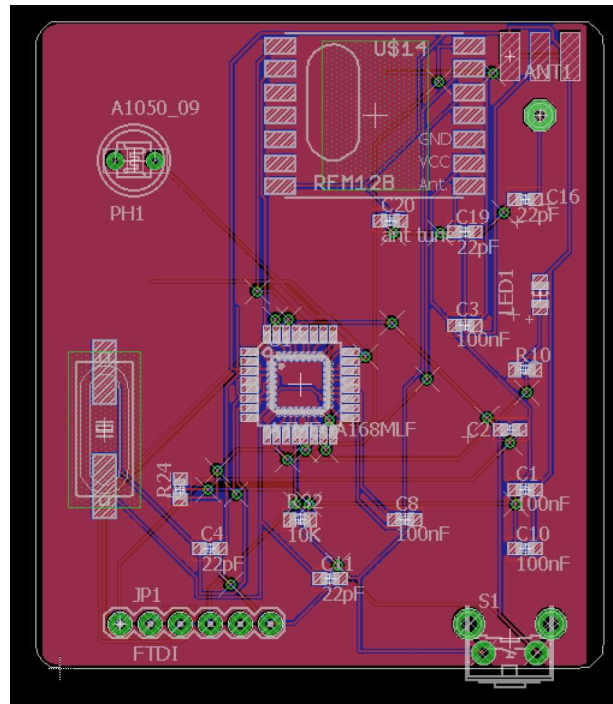


Figura 71: Esquema da PCB do node de luminosidade

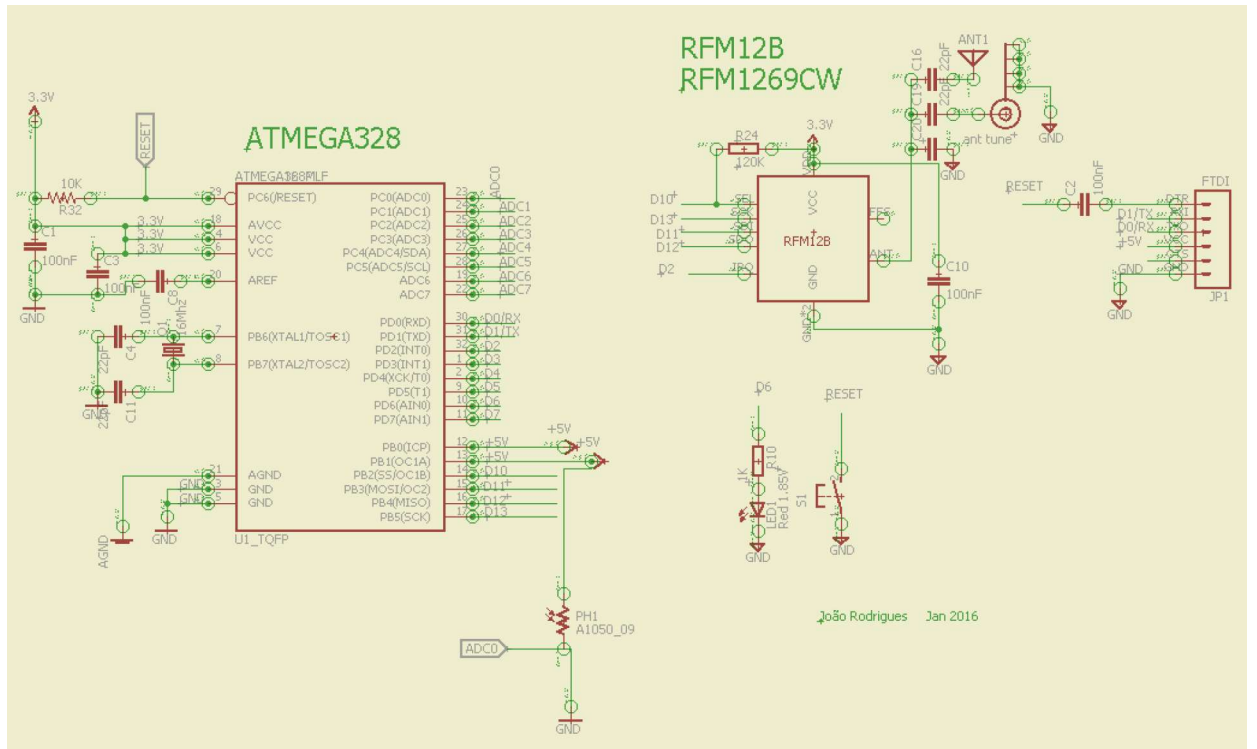


Figura 72: Esquema elétrico da PCB do node de luminosidade