



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Joaquim Vacas de Carvalho Castelo Pombas

**GESTÃO OTIMIZADA DE SISTEMAS DE  
CLIMATIZAÇÃO: ESTUDO DE CASO  
CONSIDERANDO O CONFORTO DOS OCUPANTES  
– TEMPERATURA E QUALIDADE DO AR  
INTERIOR**

VOLUME 1

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, ramo de Energias, sob a orientação do Sr. Professor Doutor Álvaro Filipe Peixoto Gomes e Eng. Luís Maria Camacho Cansado Carvalho, apresentado ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Setembro de 2022





FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
**COIMBRA**

**Gestão otimizada de sistemas de climatização:  
estudo de caso considerando o conforto dos  
ocupantes – temperatura e qualidade do ar  
interior**

**Presidente:**

Prof. Dr. Carlos Alberto Henggeler de Carvalho Antunes

**Orientadores:**

Prof. Dr. Álvaro Filipe Peixoto Gomes

Eng. Luís Maria Camacho Cansado Carvalho

**Vogal:**

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria do Carmo Raposo de Medeiros

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Coimbra, Setembro 2022



# Conteúdo

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Lista de Figuras</b>  | <b>vi</b>   |
| <b>Lista de Acrónimos</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>Resumo</b>  | <b>viii</b> |
| <b>Abstract</b>  | <b>x</b>    |
| <b>1 Introdução</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1 Contextualização . . . . .   | 1           |
| 1.2 Motivação e Objetivo . . . . .   | 2           |
| 1.3 Organização da Dissertação . . . . .   | 3           |
| <b>2 Estado da Arte</b>  | <b>5</b>    |
| 2.1 Sistemas de Gestão Técnica em Edifícios . . . . .  | 5           |
| 2.1.1 Edifícios inteligentes . . . . .   | 5           |
| 2.1.2 Evolução e Operação de Sistemas de Gestão Técnica . . . . .  | 6           |
| 2.1.3 Custos de operação em edifícios . . . . .  | 8           |
| 2.1.4 <i>Smart Readiness Indicator (SRI)</i> . . . . .   | 9           |
| 2.1.5 <i>Demand Response</i> no setor dos edifícios . . . . .  | 10          |
| 2.1.6 Protocolos de Comunicação . . . . .  | 11          |
| 2.1.7 Enquadramento Legislativo . . . . .  | 11          |
| 2.2 Ventilação com base nas necessidades em unidades AVAC . . . . .  | 13          |
| 2.2.1 Ventilação com base nas necessidades . . . . .   | 14          |
| 2.2.2 Benefícios da DCV baseada em CO <sub>2</sub> . . . . .   | 15          |
| 2.2.3 Níveis de CO <sub>2</sub> e ventilação . . . . .   | 15          |
| 2.2.4 Controlo de sistemas AVAC com objetivos económicos . . . . .   | 16          |
| 2.3 Algoritmos baseados na concentração de CO <sub>2</sub> para deteção de presença de ocupantes . . . . . | 16          |
| 2.3.1 Revisão de algoritmos de deteção com base nas concentrações de CO <sub>2</sub> . . . . .             | 17          |
| <b>3 Materiais e Métodos</b>   | <b>22</b>   |
| 3.1 Caracterização do sistema prévio à implementação da solução proposta . . . . .                         | 22          |
| 3.1.1 Problema . . . . .   | 23          |
| 3.2 <i>Hardware e Software</i> . . . . .   | 24          |
| 3.2.1 <i>EcoStruxure Building Operation</i> . . . . .  | 24          |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.2.2    | <i>Function Block Programming</i> . . . . .  | 25        |
| 3.2.3    | <i>Trend Logs, Extended Trend Logs, Trend Log Chart e Trend Log List</i> . . . . . | 28        |
| 3.2.4    | UTAs . . . . .   | 29        |
| 3.2.5    | Acesso ao Sistema de Gestão Técnica . . . . .                                      | 29        |
| <b>4</b> | <b>Procedimento e implementação do algoritmo</b>                                   | <b>31</b> |
| 4.1      | Proposta de otimização . . . . .   | 31        |
| 4.2      | Algoritmo de Controlo . . . . .  | 32        |
| <b>5</b> | <b>Análise de Resultados</b>   | <b>42</b> |
| 5.1      | CO <sub>2</sub> e Temperatura . . . . .  | 42        |
| 5.2      | Implementação CISCO . . . . .  | 46        |
| 5.3      | Análise relativa aos consumos . . . . .  | 48        |
| <b>6</b> | <b>Conclusão e trabalhos futuros</b>   | <b>50</b> |
|          | <b>Bibliografia</b>  | <b>55</b> |
|          | <b>Apêndices</b>   | <b>55</b> |
| <b>A</b> | <b>Planta Piso -2</b>  | <b>56</b> |
| <b>B</b> | <b>Planta Piso -1</b>  | <b>57</b> |
| <b>C</b> | <b>Planta Piso 0</b>   | <b>58</b> |
| <b>D</b> | <b>Planta Piso 1</b>   | <b>59</b> |
| <b>E</b> | <b>Planta Piso 2</b>   | <b>60</b> |
| <b>F</b> | <b>Salas e devidas UTAs</b>  | <b>61</b> |
| <b>G</b> | <b>Anfiteatro</b>  | <b>62</b> |
| <b>H</b> | <b>Sala de aula</b>  | <b>63</b> |
| <b>I</b> | <b>Unidades de Controlo local</b>  | <b>64</b> |
| <b>J</b> | <b><i>SmartX Automation Server</i> AS-P da Schneider Electric</b>                  | <b>65</b> |
| <b>K</b> | <b>UI-16 da Schneider Electric</b>   | <b>66</b> |
| <b>L</b> | <b>LK+CO<sub>2</sub> V da Thermokon</b>  | <b>67</b> |
| <b>M</b> | <b>Outros sinais relevantes para o funcionamento do sistema</b>                    | <b>68</b> |

**N Gráficos CO2 UTA\_11 e UTA\_14.15 69**

**O Gráficos Temperatura UTA\_04.05 71**





# Lista de Figuras

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.1  | Insatisfação, concentração de CO <sub>2</sub> e taxa de ventilação. . . . .                          | 2  |
| 2.1  | Objetivos da DSM . . . . .   | 10 |
| 2.2  | Evolução da micro e pequena produção . . . . .   | 11 |
| 2.3  | Tipos de SACE a adotar em função do tipo potência nominal global . . . . .                           | 12 |
| 2.4  | Requisitos mínimos de eficiência dos sistemas GTC, segundo a norma EN 15232 . . . . .                | 12 |
| 2.5  | Controlo com base nas necessidades dos espaços . . . . .   | 13 |
| 2.6  | Controlo de ar novo dos espaços . . . . .  | 13 |
| 2.7  | Concentrações de CO <sub>2</sub> e taxas de ventilação a diferentes níveis de ocupação . . . . .     | 19 |
| 2.8  | Estimativa de ocupação de uma sala de aula para um dia típico escolhido . . . . .                    | 20 |
| 2.9  | Controlo de ventilação para manter o <i>setpoint</i> de 600 ppm . . . . .                            | 20 |
| 2.10 | Controlo de ventilação para manter o <i>setpoint</i> de 700 ppm . . . . .                            | 21 |
| 2.11 | Taxa de ventilação média, ar novo total e consumo energético para diferentes . . . . .               | 21 |
| 3.1  | Representação UTA_02_03. . . . .   | 22 |
| 3.2  | (a) Sensor de presença e (b) Interruptor. . . . .  | 23 |
| 3.3  | Representação gráfica criada no <i>SmartStruxure</i> da NOVA SBE pela empresa Domótica SGTA. . . . . | 25 |
| 3.4  | Arquitetura tipo do <i>EcoStruxureware Building Operation</i> . . . . .                              | 25 |
| 3.5  | Bloco simples típico . . . . .   | 27 |
| 3.6  | Bloco de expressão típico. . . . .   | 27 |
| 3.7  | Bloco de operações típico. . . . .   | 27 |
| 3.8  | Bloco de sondas teste típico (Analog Output Test Probe). . . . .                                     | 28 |
| 3.9  | UTA. . . . .   | 29 |
| 3.10 | Menu Bloco D. . . . .  | 30 |
| 3.11 | Exemplo de uma janela no ambiente <i>Function Block Programming</i> . . . . .                        | 30 |
| 4.1  | Sondas Instaladas no retorno de cada sala. . . . .   | 31 |
| 4.2  | Pior concentração de CO <sub>2</sub> . . . . .   | 34 |
| 4.3  | Estado do sensor de ocupação e do botão . . . . .  | 34 |
| 4.4  | Controlo qualidade do ar. . . . .  | 36 |
| 4.5  | Controlo de Temperatura. . . . .   | 37 |
| 4.6  | Controlo dos registos da UTA. . . . .  | 39 |
| 4.7  | Controlo de horário. . . . .   | 39 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.8  | Controlo da qualidade do ar e da temperatura numa UTA com apenas 1 sala.   | 40 |
| 4.9  | Ausência de controlo de registos numa UTA com apenas 1 sala. . . . .   | 40 |
| 5.1  | Concentrações de CO2 na UTA_02_03 desde o dia 23 de abril até ao dia 24 de maio onde o eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas a correspondente concentração de CO2 em ppm. . . . .  | 42 |
| 5.2  | Concentrações de CO2 na UTA_02_03 desde o dia 24 de maio até ao dia 23 de junho onde o eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas a correspondente concentração de CO2 em ppm. . . . .  | 43 |
| 5.3  | Legenda das figuras 5.1, 5.2, 5.4, 5.5. . . . .  | 43 |
| 5.4  | Concentração média de CO2 desde o dia 23 de abril até ao dia 24 de maio. O eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas as correspondentes concentrações de CO2 em ppm. . . . .   | 44 |
| 5.5  | Concentração média de CO2 desde o dia 24 de maio até ao dia 24 de junho. O eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas as correspondentes concentrações de CO2 em ppm. . . . .   | 45 |
| 5.6  | Valores da temperatura na UTA_02_03 desde o dia 20 de abril até ao dia 21 de maio. O eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas as correspondentes temperaturas em graus Celsius. . . . .   | 45 |
| 5.7  | Valores da temperatura na UTA_02_03 desde o dia 21 de maio até ao dia 21 de junho. O eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas as correspondentes temperaturas em graus Celsius . . . . .  | 46 |
| 5.8  | Legenda das figuras 5.6 e 5.7 . . . . .  | 46 |
| 5.9  | Número de pessoas relacionado com a qualidade do ar para a UTA_02_03 desde 21 a 28 de junho. O eixo das abcissas representa os dias, o eixo das ordenadas do lado esquerdo as concentrações de CO2 em ppm e do lado direito o número de pessoas. . . . . | 47 |
| 5.10 | Legenda da figura 5.9 . . . . .  | 47 |
| 5.11 | Número de pessoas relacionado com a qualidade do ar para a UTA_06_07 desde 20 a 27 de junho. O eixo das abcissas representa os dias, o eixo das ordenadas do lado esquerdo as concentrações de CO2 em ppm e do lado direito o número de pessoas. . . . . | 48 |
| 5.12 | Legenda da figura 5.11 . . . . .   | 48 |
| A.1  | Planta Piso -2. . . . .  | 56 |
| B.1  | Planta Piso -1. . . . .  | 57 |
| C.1  | Planta Piso 0 . . . . .  | 58 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| D.1 | Planta Piso 1 . . . . .  | 59 |
| E.1 | Planta Piso 2 . . . . .  | 60 |
| F.1 | Salas e devidas UTAs . . . . .   | 61 |
| G.1 | Anfiteatro . . . . .   | 62 |
| H.1 | Sala de aula . . . . .   | 63 |
| I.1 | Quadros de Gestão Técnica (Unidades de Controlo local) . . . . .                         | 64 |
| J.1 | <i>SmartX Automation Server</i> AS-P da Schneider Electric. . . . .                      | 65 |
| K.1 | Módulos UI-16 da Schneider Electric. . . . .   | 66 |
| L.1 | Sonda LK+CO2 V da Thermokon. . . . .   | 67 |
| M.1 | Outros sinais relevantes para o funcionamento do sistema. . . . .                        | 68 |
| N.1 | Concentrações de CO2 na UTA_11 desde o dia 21 de março até ao dia 22 de maio. . . . .    | 69 |
| N.2 | Concentrações de CO2 na UTA_11 desde o dia 22 de maio até ao dia 22 de junho. . . . .    | 69 |
| N.3 | Concentrações de CO2 na UTA_14_15 desde o dia 21 de março até ao dia 22 de maio. . . . . | 70 |
| N.4 | Concentrações de CO2 na UTA_14_15 desde o dia 22 de maio até ao dia 22 de junho. . . . . | 70 |
| O.1 | Temperaturas na UTA_04_05 desde o dia 21 de março até ao dia 22 de maio. . . . .         | 71 |
| O.2 | Temperaturas na UTA_04_05 desde o dia 22 de maio até ao dia 22 de junho. . . . .         | 71 |
| O.3 | Temperaturas na UTA_04_05 desde o dia 21 de março até ao dia 22 de maio. . . . .         | 72 |
| O.4 | Temperaturas na UTA_04_05 desde o dia 24 de maio até ao dia 24 de junho. . . . .         | 72 |



# Lista de Acrónimos

**SBE** School of Business and Economics

**SACE** Sistemas de Automatização e Controlo de Edifícios

**UTA** Unidade de Tratamento de Ar

**OMS** Organização Mundial da Saúde

**UE** União Europeia

**AVAC** Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

**nZEB** Nearly Zero Energy Buildings

**BES** Sistemas de Armazenamento em Baterias

**SGT** Sistemas de Gestão Técnica

**IoT** Internet of things

**BIM** Gestão de Informação de Edifícios

**DCV** Demand Controlled Ventilation

**QAI** Qualidade do Ar Interior

**HR** Humidade Relativa

**ML** Machine Learning

**ASHRAE** Sociedade Americana de Engenharia de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado

**EBO** *EcoStruxure Building Operation*

**UT** Equipamentos Terminais

**DSM** *Demand Side Managment*



# Resumo

O presente trabalho apresenta o projeto de gestão otimizada do sistema de climatização e ventilação presente no Bloco D na School of Business and Economics (SBE) da Universidade Nova de Lisboa, em Carcavelos, com o objetivo de obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. O trabalho teve como finalidade o desenvolvimento de um algoritmo que tivesse em atenção a qualidade do ar interior, monitorizando e controlando a concentração de CO<sub>2</sub>, e o conforto dos ocupantes, garantindo o adequado controlo de temperatura.

Foi analisado e otimizado o comportamento das Unidades de Tratamento de Ar (UTAs) que tratam o ar das salas de aulas dos pisos -1, 0 e 1. O controlo, implementado desde a fase de construção, era feito com base apenas na ocupação, ou seja, se uma sala estivesse ocupada, o ar da mesma iria estar a ser tratado, se estivesse desocupada os registos de insuflação e extração correspondentes seriam fechados. Visto que a grande maioria das UTAs trata mais de uma sala e as sondas de temperatura e CO<sub>2</sub> estavam instaladas no retorno das UTAs, levava a que se fizesse um controlo conjunto do ar novo da UTA de igual forma para todas as salas tratadas da mesma máquina.

Foram instalados diversos componentes eletrónicos, nomeadamente: 32 sondas LK+CO<sub>2</sub> da Thermokon nas condutas de retorno de cada uma das salas garantindo a recolha de dados das concentrações de CO<sub>2</sub> e das temperaturas de todas as salas, 4 módulos UI-16 da Schneider Electric equipados com 16 entradas universais para medição dos sinais de CO<sub>2</sub> e de temperatura e um *SmartX Automation Server AS-P*, que gere os módulos a ele ligados, garantindo ainda a interação no Sistema de Gestão Técnica Centralizada (SGTC) do edifício.

Utilizaram-se os dados recolhidos pelas sondas e efetuou-se o tratamento do ar nas salas com base na pior concentração de CO<sub>2</sub> das salas, e criou-se uma curva que com base nos valores mínimos e máximos de concentração de CO<sub>2</sub>, escolhidos arbitrariamente, para que o pressão de ar da UTA variasse consoante estes valores. Para o controlo das temperaturas, monitorizaram-se os valores das mesmas para que se a temperatura numa das salas tiver um afastamento em relação a um certo *Setpoint* definido superior a um Delta, também escolhido arbitrariamente, a UTA passa a fornecer uma pressão de insuflação igual à pressão nominal e passa a tratar a temperatura do ar.

Todo este controlo foi possível a partir das ferramentas do sistema de gestão técnica do *Ecostruxure Building Operation* (EBO) e da *Function Block Programming*, que permite utilizar combinações de diferentes blocos de funções para se realizar a programação tendo em conta as necessidades.

No final, a programação foi implementada, e após um espaço de tempo de cerca de 2

meses, ao analisar os resultados relativos aos valores de CO<sub>2</sub> e de temperatura concluiu-se que o algoritmo funciona da forma desejada, e também se notou, a partir da média da percentagem de funcionamento do variador de velocidade da UTA quando esta esteve ligada, que esta diminuiu desde a data de implementação até à data atual, passando de 65.24% para 50.82%, correspondendo esta diferença a uma poupança de energia.

**Palavras-chave:** Gestão Otimizada, UTA, CO<sub>2</sub>, SGTC, *Ecostructure Building Operation*, *Function Block Programming*.





# Abstract

This work presents the project of optimized management of the air conditioning and ventilation system present in Block D at the School of Business and Economics (SBE) of the Universidade Nova de Lisboa, in Carcavelos, in order to obtain a Master's degree in Electrical and Computer Engineering. The aim of the work was to develop an algorithm that would take into account the indoor air quality, monitoring and controlling the CO<sub>2</sub> concentration, and the occupants's comfort, ensuring adequate temperature control.

The behaviour of the Air Handling Units (AHUs) that treat the air in the classrooms of floors -1, 0 and 1 was analysed and optimised. The control, implemented since the construction phase, was based only on occupancy, i.e. if a room was occupied, its air would be treated, if it was unoccupied the corresponding supply and extraction registers would be closed. Since the vast majority of AHUs treat more than one room and the temperature and CO<sub>2</sub> probes were installed in the return of the AHUs, there was a joint control of the new air of the AHU in the same way for all the treated rooms of the same machine.

Various electronic components were installed, namely: 32 Thermokon LK+CO<sub>2</sub> probes in the return ducts of each of the rooms, guaranteeing the collection of data on the CO<sub>2</sub> concentrations and temperatures of all the rooms, 4 Schneider Electric UI-16 modules equipped with 16 universal inputs for measuring the CO<sub>2</sub> and temperature signals and a SmartX Automation Server AS-P, which manages the modules connected to it, also guaranteeing interaction with the building's Centralised Technical Management System (TCMS).

The data collected by the probes was used and the air treatment in the rooms was carried out based on the worst CO<sub>2</sub> concentration of the rooms, and a curve was created based on the minimum and maximum values of CO<sub>2</sub> concentration, chosen arbitrarily, so that the air pressure of the AHU would vary according to these values. To control temperatures, the temperature values were monitored so that, if the temperature in one of the rooms deviates from a certain defined Setpoint greater than a Delta, also chosen arbitrarily, the air handling unit would start supplying an inflation pressure equal to the nominal pressure and would start treating the air temperature.

All this control was made possible by the tools of the Ecostruxure Building Operation (EBO) and the Function Block Programming, which allows combinations of different function blocks to be used to carry out programming according to needs.

In the end, the programming was implemented, and after a time span of around 2 months, on analysing the results related to the CO<sub>2</sub> and temperature values, it was concluded that the algorithm works as desired, and it was also noted, from the average

percentage value of operation of the variable speed drive of the AHU when it was switched on, that this value decreased from the implementation date to the current date, going from 65.24% to 50.82%, with this difference corresponding to an energy saving.

**Keywords:** Optimized Managment, AHU, CO2, *Ecostruxure Building Operation*, *Function Block Programming*, TCMS.



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

A necessidade de garantir qualidade adequada do ar em ambientes interiores tem sido uma das preocupações nas áreas dos edifícios e da climatização desde o final dos anos 70 [1]. Esta questão tem sido amplamente abordada, em diversos estudos que têm sido realizados [2][3], quer pela Organização Mundial da Saúde (OMS), quer por outras entidades/investigadores e, na União Europeia (UE), tem sido tida em consideração na legislação sobre os edifícios e nas funções de controlo, automação e gestão técnica [4].

A redução das necessidades de energia de um edifício, o recurso a sistemas ativos eficientes e a utilização dos diversos serviços de energia são determinantes no consumo energético do edificado. Relativamente à utilização destes serviços, verifica-se que o Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), no geral, usam mais energia do que qualquer outro equipamento ou sistema de um edifício. De acordo com um estudo [5], o consumo energético de um sistema AVAC num edifício pode representar desde 40% a 50% do uso total de energia. Está-se perante uma situação em que, por um lado, existe uma preocupação com o consumo energético nos sistemas de climatização/ventilação e, por outro lado, existe a necessidade de garantir adequadas condições de conforto e níveis de qualidade do ar nos espaços climatizados.

As condições de conforto, nomeadamente a temperatura, a humidade e a concentração de CO<sub>2</sub>, iluminação e ruído têm impacto significativo quer na produtividade, quer na saúde dos ocupantes [6], sendo relevante a exposição a compostos orgânicos voláteis, partículas em suspensão e outros contaminantes. É, por isso, de grande importância preservar estes parâmetros dentro dos níveis adequados quando se desenvolvem e operam os sistemas AVAC.

A operação e controlo eficiente dos sistemas técnicos dos edifícios podem permitir uma relevante poupança de energia, com a conseqüente redução dos custos associados e das emissões de gases com efeito de estufa, garantindo que se mantêm os níveis adequados de qualidade do ar e o conforto térmico.

Com uma adequada recolha e tratamento de dados e informação podem desenvolver-se e implementar algoritmos adequados de gestão/controlo do sistema, visando otimizar o

seu funcionamento.

## 1.2 Motivação e Objetivo

Uma má gestão de um sistema AVAC, associada à deficiente qualidade do ar interior, pode ter uma série de consequências com efeitos a nível individual como o desconforto, como se pode ver na figura 1.1, onde se pode constatar uma rápida degradação da perceção da qualidade do ar por parte dos ocupantes para taxas de concentração de CO<sub>2</sub> mais elevadas, normalmente associadas a taxas de renovação do ar mais baixas. Se a fraca qualidade do ar impacta a saúde e produtividade dos ocupantes, aumentar essa qualidade poderá querer significar aumento do consumo de energia. Existindo sempre a necessidade de cumprir os requisitos de qualidade do ar interior (QAI), a procura constante por manter os requisitos da QAI e conforto e a redução de custos deve levar em consideração formas mais económicas de o conseguir, nomeadamente através de uma gestão/controlo otimizada (por exemplo, o free cooling é uma técnica cuja utilidade para cada caso concreto deve ser avaliada). A otimização da operação destes sistemas pode melhorar o bem-estar dos ocupantes, pode prolongar o tempo de vida útil dos sistemas técnicos, se a otimização deste levar a tempos de operação mais curtos, ou de menor intensidade.

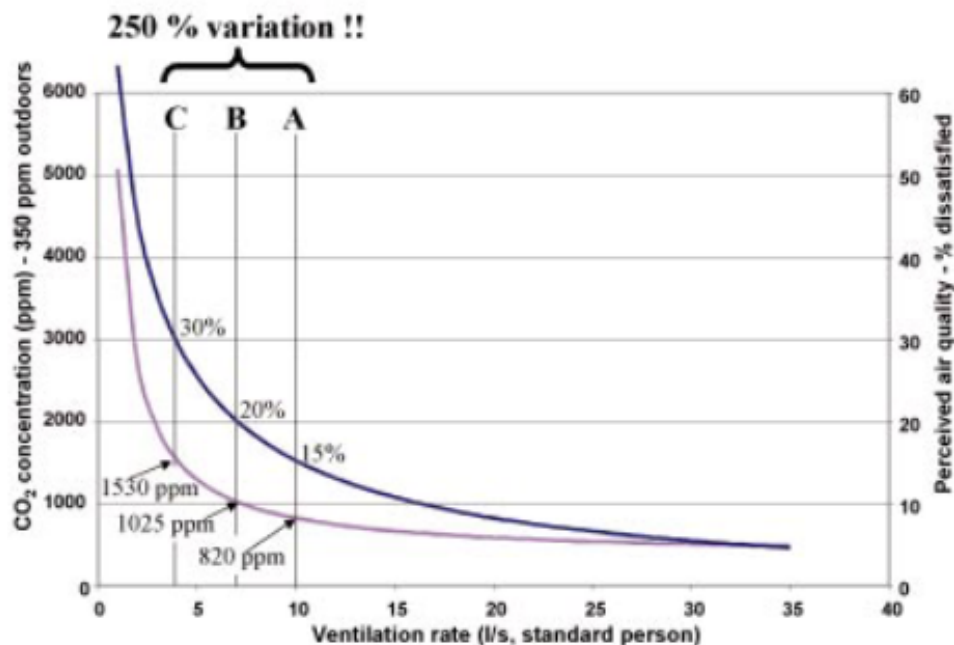


Figura 1.1: Insatisfação, concentração de CO<sub>2</sub> e taxa de ventilação [7].

O cumprimento obrigatório da norma NP EN 15232 [4], coloca uma série de desafios para o futuro relativamente à eficiência dos Sistemas de Gestão Técnica Centralizada (SGTC)

em edifícios, que determina novos níveis de consumos energéticos a cumprir, definindo 4 classes (A, B, C e D) relativas à eficiência dos SGTs, sendo que a classe D representa a categoria menos eficiente das 4 e a classe A a mais eficiente. Cada classe define especificações para, nomeadamente, ventilação, aquecimento, refrigeração, iluminação e interseção de luz solar no edifício. Para os proprietários dos edifícios são claros e significativos os ganhos em termos de eficiência, sendo que, para SGTs de classe B pode existir uma poupança energética de cerca de 20% e de 40% para alguns SGTs de classe A [8]. Atualmente, nos novos edifícios com mais de 290 kW de potência térmica nominal global, a classe mínima exigida é B, passando a ser obrigatória a classe A a partir de 1 de janeiro de 2025. De acordo com o n.º 12 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro [9], os edifícios devem garantir uma taxa de renovação de ar novo, com base em dois critérios:

- Critério de ocupação: Necessidade de caudal mínimo de ar novo consoante a concentração de poluentes e o número de ocupantes presentes no espaço ventilado;
- Critério do edifício: Ter em conta os materiais de construção, o revestimento e o tipo de mobiliário utilizado.

Tendo tudo isto em atenção, analisou-se o sistema previamente instalado e implementado, foi desenvolvido um novo algoritmo de controlo a ser implementado no SGT local, que visa satisfazer todos os requisitos legais (nomeadamente os relativos ao controlo e à qualidade do ar interior) e ao mesmo tempo minimizar os custos de operação. Após a sua implementação foi realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos nas duas situações de funcionamento: sem e com alterações no algoritmo de controlo, tendo em conta os fatores previamente mencionados, e foram tiradas as respetivas conclusões.

### 1.3 Organização da Dissertação

Este texto está dividido em 6 capítulos. Sendo que o primeiro, e atual capítulo (Introdução) serve de introdução ao trabalho no qual existe um enquadramento do tema, e se abordam os objetivos que levaram à realização deste. O segundo capítulo (Estado de Arte) apresenta uma breve introdução aos sistemas de gestão técnica, à *Demand Controlled Ventilation*, e apresenta também uma visão atualizada e análise dos requisitos habitualmente usados nos algoritmos de controlo em SGTs. O terceiro capítulo (Materiais e Métodos), aborda as metodologias aplicadas para todo o desenvolvimento do algoritmo, desde os programas utilizados, à caracterização do sistema presente na faculdade e terminando com a explicação de todo o algoritmo de controlo. No quarto capítulo (Análise de Resultados), foram analisados todos os resultados a partir de gráficos das variáveis utilizadas para o desenvolvimento do algoritmo. O quinto capítulo (Conclusão) apresenta as conclusões que se tiraram do trabalho e discutem-se implementações e alterações futuras. E, finalmente, no sexto capítulo (Plano de Trabalho) é apresentado todo o plano de trabalho desde o

início ao término do desenvolvimento do mesmo.





## Capítulo 2

# Estado da Arte

### 2.1 Sistemas de Gestão Técnica em Edifícios

#### 2.1.1 Edifícios inteligentes

Os edifícios têm sido alvo de grandes desenvolvimentos, quer em termos de regulamentação quer em termos tecnológicos, ao longo dos últimos anos por razões económicas e devido a uma maior consciencialização da comunidade para a necessidade de limitar a utilização de fontes convencionais de energia (combustíveis fósseis). Os edifícios, dotados de sistemas e algoritmos de gestão adequados, podem ter um papel ativo na mudança para uma utilização mais racional de energia, e também contribuir para a rápida transição para fontes mais sustentáveis e a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa. A automatização nos edifícios deve, todavia, ter sempre presente critérios e requisitos, como a qualidade do ar interior, custos de funcionamento, consumo de energia, bem-estar, produtividade e conforto [10]. Os desenvolvimentos e a disseminação no setor de tecnologias de monitorização, análise e gestão tem levado ao aparecimento de diversas designações e abordagens para estes tipos de edifício como, p.e: edifícios verdes ou sustentáveis, são edifícios que, devido ao seu design de construção e às suas características, podem manter ou melhorar a "qualidade de vida" dos locais onde se encontram [11]; os nZEB que são edifícios com um desempenho energético muito elevado em que, o seu quase nulo ou muito baixo consumo de energia é coberto na totalidade ou em grande parte por fontes de energia renovável[12]; e edifícios inteligentes, que são equipados com tecnologia e sistemas energéticos com forte componente de automação, gestão otimizada dos equipamentos, conforto dos ocupantes, e uso racional de energia [13]. A necessidade de, aquando do desempenho das suas funções, ter que se considerar também os requisitos da utilização eficiente de energia e o conforto dos ocupantes é o maior desafio no que toca aos edifícios inteligentes. Os edifícios inteligentes no futuro devem ser capazes de adaptar o consumo de acordo com as necessidades, a disponibilidade de energia e os custos associados. Podem, desta forma, contribuir mais ativamente para a operação dos sistemas de energia [14]. De forma mais simples, pode-se assumir que a estrutura dos sistemas de energia num edifício inteligente é composta pelos seguintes componentes: acesso às redes de energia, geração, redes de distribuição e consumo, armazenamento, controlo com base nas reais necessidades e comunicação entre sistemas [15].

Os sistemas de energia estão a passar por uma transformação profunda, em que a geração baseada em fontes renováveis variáveis tem uma contribuição cada vez mais significativa. Devido às características intrínsecas dessas fontes, a adaptabilidade e flexibilidade dos edifícios será muito importante.

Devido às características das fontes de energia renováveis variáveis, o armazenamento, quer ao nível das redes quer ao nível local, terá um papel ainda mais relevante do que atualmente nos futuros sistemas de energia. Existem, habitualmente, dois tipos de armazenamento de energia em edifícios: os Sistemas de Armazenamento em Baterias (BES) que podem ser utilizados para a redução do pico da procura, regulação de frequência, equilíbrio de carga e na redução de custos [16], e os Sistemas de Armazenamento de Energia Térmica, usados para a redução do pico da carga e a flexibilidade dos consumos de energia das cargas térmicas. Este tipo de sistemas é um dos alvos preferenciais para a gestão/controlo da utilização da energia em edifícios.

As estratégias de gestão da procura têm impacto na utilização de energia. Uma das formas básicas de lidar com a gestão da procura é através da mudança do comportamento típico dos consumidores, como são os edifícios [17]. Para motivar os consumidores a utilizar a energia de forma racional são oferecidos incentivos monetários. Pelo que foi referido, depreende-se o quão importante são os sistemas de gestão e controlo de sistemas ativos nos edifícios para uma utilização mais racional da energia

Os sistemas de automação podem ser classificados com base num conjunto de critérios: complexidade, aplicação, funções de controlo, integração, interface com os ocupantes, entre outros. A integração destes sistemas no edificado tende a melhorar e facilitar a operação destes. Considerando a aplicação destes sistemas, a automatização dos processos pode ser classificada em três graus: A monitorização das variáveis do sistema para determinar as grandezas técnicas e os aspetos tecnológicos; o controlo automático, que inclui a aquisição e o tratamento da informação, para que se possa melhorar o funcionamento do sistema; e o modo de controlo por parte do utilizador, que completa a monitorização, fornece informações sobre ações de controlo das instalações de acordo com critérios preestabelecidos.

### **2.1.2 Evolução e Operação de Sistemas de Gestão Técnica**

Os Sistemas de Gestão Técnica (SGT) são, essencialmente, sistemas de controlo baseados em controladores que monitorizam e gerem as instalações técnicas dos edifícios, nomeadamente sistemas AVAC, de iluminação, de incêndio, de segurança, elevadores e escadas/tapetes rolantes e de energia. Estes vários subsistemas de um edifício têm sido tradicionalmente operados separadamente, cada um com o seu próprio *Hardware* e rede

de dados, no entanto, à medida que estes aumentavam em número, também aumentava a necessidade de haver soluções integradas [18]. A penetração de capacidade flexível de produção e armazenamento de energia renovável aumentou a complexidade dos sistemas, e criou a necessidade de uma nova forma de gestão dos edifícios, a fim de reduzir os custos globais crescentes [18]. A implementação desta gestão integrada dos diversos sistemas técnicos levou a que nos SGT modernos a análise de tendências históricas seja combinada com a recolha de dados em tempo real para otimizar os subsistemas já referidos. Ao, p.e., monitorizar e controlar constantemente a qualidade do ar, o SGT pode proporcionar um ambiente interior adequado aumentando a produtividade dos ocupantes. Além disso, ao monitorizar e controlar diferentes parâmetros dos sistemas técnicos, o SGT pode otimizar a programação de manutenção e reduzir os tempos de paragem [18]. Também a possibilidade de acesso remoto aos SGT é hoje uma realidade, permitindo assim uma maior flexibilidade para os operadores dos edifícios, assegurando o adequado funcionamento de todos os equipamentos do sistema. Os sistemas de alarme em conjunto com os sistemas AVAC, de segurança e de incêndio, permitem respostas imediatas e eficazes a qualquer ocorrência de emergência que possa surgir. Todos estes desenvolvimentos foram potenciados com o surgimento e aplicação da Internet das Coisas (*IoT*), em edifícios inteligentes, principalmente nos últimos anos, combinado com as outras tendências já referidas que promovem o crescimento do mercado dos SGT [19]. A *IoT* leva ao desenvolvimento de SGT, com igual ou menor custo de *Hardware*, com inteligência incorporada, avanços na análise preditiva e crescimento dos serviços baseados na *Cloud* [20]. Também a adoção da Gestão de Informação de Edifícios (BIM), implica grandes mudanças, não só na fase de construção de edifícios, mas também em toda a sua operação.

Cada evolução de BIM facilita ainda mais a integração de sistemas complexos em edifícios, p.e., na arquitetura, engenharia, entre outros. Os BIM também permitem a incorporação de soluções de SGT na fase de conceção do projeto. Isto melhora a integração de SGT, reduzindo assim os preços operacionais dos edifícios [18]. À medida que os SGT e a *IoT* continuam a crescer, a redução de custos será maior tal como as respetivas tecnologias inovadoras. Embora o custo inicial dos SGT possa considerar-se significativo, os benefícios do investimento são claros, como amplamente demonstrado em diversos edifícios, de distintos segmentos e em diversos mercados/geografias. Os SGT permitirão não apenas reduzir os custos com a utilização dos edifícios, mas também ter em consideração as necessidades dos utilizadores, a disponibilidade de energia gerada localmente e ainda a possibilidade de os edifícios (sistemas de geração) interagirem de forma ativa com as redes de energia.

A Diretiva Comunitária 2018/844 veio estabelecer em definitivo em Portugal o termo SACE - Sistema de Automatização e Controlo do Edifício, tendo a transposição para a legislação portuguesa, nomeadamente a Portaria nº 138-I/2021 estabelecido que os SACE são obrigatórios em edifícios com potência nominal global (térmica) igual ou superior a 100 kW, sendo abaixo desse valor considerados SARC - Sistema Autónomo de Regulação e Controlo. Os próprios SACE são definidos como SGT - Sistema de Gestão Técnica, quando a potência nominal global é inferior a 290 kW e SGTC - Sistema de Gestão Técnica Centralizada para potências superiores a este valor.

### **2.1.3 Custos de operação em edifícios**

A longo prazo, os proprietários dos edifícios podem esperar que os custos de operação destes também diminuam, seja porque os consumos de energia vinda da rede diminuam, seja porque a utilização dos serviços de energia permite que se use a energia em períodos de tempo onde é mais barata (tarifas variáveis com a hora do dia). Os sistemas de automação e controlo de edifícios (SACE) ajudam, especialmente a poupar nas despesas através da implementação de várias estratégias de monitorização e controlo de equipamentos eletromecânicos:

- Os SACE permitem a previsão da ocupação no edifício ao recolher dados sobre a iluminação e dos sistemas AVAC, podendo depois satisfazer essas necessidades de forma mais eficiente;
- Os SACE podem adequar/adaptar a operação dos sistemas ativos de acordo com as necessidades, p.e., adaptar o funcionamento dos sistemas de iluminação de acordo com as necessidades das tarefas a executar e a disponibilidade da iluminação natural;
- Os SACE podem contribuir para uma identificação/comunicação mais rápida e detalhada de falhas. Sem esta comunicação, podia ser gasto muito tempo num diagnóstico manual do problema. Podem também prolongar a vida de equipamentos eletromecânicos ao identificar rapidamente e notificar sistemas defeituosos reduzindo assim o risco de danos desses equipamentos, o potencial de avaria e os custos de substituição.

Um melhor controlo interior do edifício, permite aos operadores dos sistemas mais controlo sob o conforto dos ocupantes. Não só o aquecimento e arrefecimento do espaço será mais eficiente, como também a qualidade do ar e a iluminação também irão melhorar, o que, terá impacto no conforto e na produtividade dos ocupantes dos edifícios.

Tendo em conta que os SACE podem contribuir para a redução do consumo de energia dos edifícios e podem facilitar a disseminação de geração local baseada em fontes renováveis, a sua implementação é determinante para a redução dos gases com efeito de

estufa e a consequente neutralidade carbónica ao nível dos edifícios [21].

Com o aumento da consciencialização e das preocupações com a utilização de energia e os avanços das tecnologias rentáveis, a eficiência energética está a tornar-se rapidamente uma parte importante na gestão de edifícios, gestão de instalações e estratégias de operações [22]. De acordo com [23], com um SGT bem implementado a poupança de energia no que toca ao ar condicionado pode atingir os 10%, o que representa até 7% do consumo total de energia do setor dos edifícios. Mas a grande mais valia dos SGT será a possibilidade de gerir de forma integrada os diversos recursos energéticos que estão à disposição nos edifícios: produção local, energia da rede, armazenamento e carga controlável.

#### 2.1.4 *Smart Readiness Indicator (SRI)*

Existe uma clara necessidade de avançar com a renovação de edifícios, devendo essa oportunidade ser aproveitada para aumentar a disseminação de de tecnologias inteligentes e eficientes.

A atual diretiva do desempenho energético dos edifícios (EPBD) procura o desenvolvimento de um indicador, a aplicar no setor dos edifícios, capaz de caracterizar a prontidão de um edifício para reagir a estímulos do exterior ao mesmo tempo que se mantém reativo aos utilizadores e com elevado desempenho energético. Este indicador, o *Smart Readiness Indicator* (SRI) visa tornar esta "inteligência" dos edifícios um conceito mais concreto para os utilizadores dos mesmos [24], tendo como vantagens a utilização otimizada de energia em função da produção local, pedidos da rede, gestão otimizada dos recursos locais, diagnósticos automáticos e o aumento do conforto para os utilizadores dos edifícios a partir da automação [24].

Tendo em conta os requisitos da EPBD foram determinadas 3 funcionalidades de inteligência nos edifícios: A capacidade de manter o desempenho de eficiência energética e de operação, p.e., a partir do uso de fontes renováveis, adaptar a operação dos edifícios para atender às necessidades dos ocupantes (qualidade do ar interior, aquecimento/arrefecimento, interface intuitiva) e flexibilidade da procura de energia do edificado (*Demand Response*, flexibilidade de carga) [24]. Os serviços do SRI são estruturados para 9 áreas: ventilação, iluminação, aquecimento, arrefecimento, água quente sanitária, envolvente dos edifícios, carregamento de veículos elétricos, rede elétrica e monitorização e controlo [24].

Tendo as avaliações para cada um dos pontos referidos em cima, é calculado o SRI percentual que representa o quão perto, ou longe, o edifício em análise se encontra do edifício padrão (a que corresponde um SRI de 100%) [24].

### 2.1.5 *Demand Response* no setor dos edifícios

Um dos principais objetivos e preocupações relativamente à gestão global do sistema elétrico é garantir a manutenção do equilíbrio Geração-Consumo. Tendo em conta os significativos avanços tecnológicos, relativamente às energias renováveis, o facto de se terem tornado economicamente atrativas e o peso considerável e crescente no setor elétrico surgiram diversos desafios no que diz respeito aos sistemas de energia elétrica, devido à insignificante capacidade de armazenamento e controlabilidade dos recursos primários (vento e sol) [25]. Com a imensa penetração da geração renovável variável surgem novos desafios para os operadores dos sistemas de energia elétrica, sendo que, um dos principais é a "redução da flexibilidade do lado da oferta [25]. Estes desafios levam a uma mudança de paradigma onde se passa de um conceito de 3Ds da energia - Descarbonização, descentralização e digitalização - para 4Ds, onde neste se inclui também a Disrupção do lado da procura, onde o consumidor passa a ser um "agente com papel central e preponderante no processo de transição energética [25].

Aqui entra a *Demand Side Management* (DSM) com o propósito de gerir a carga em resposta a sinais da rede elétrica, como se pode ver na figura 2.1, onde se têm definidos alguns dos objetivos da DSM e as alterações que podem ser realizadas pelos consumidores.

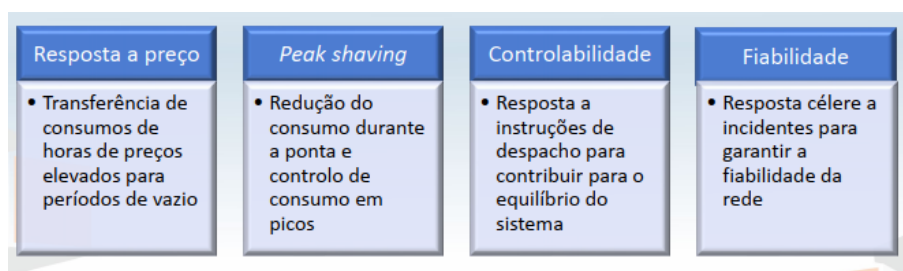


Figura 2.1: Objetivos da DSM [25] .

Existe um grande potencial por parte dos edifícios para a flexibilização do consumo. Tem-se observado também uma evolução da micro e pequena produção, como se pode ver pela figura 2.2, onde se passa de uma micro geração, onde não existe autoconsumo devido ao facto de a produção e o consumo serem independentes, para um autoconsumo individual onde a produção já é utilizada para autoconsumo para as comunidades energéticas onde a produção é dividida entre vizinhos [25].

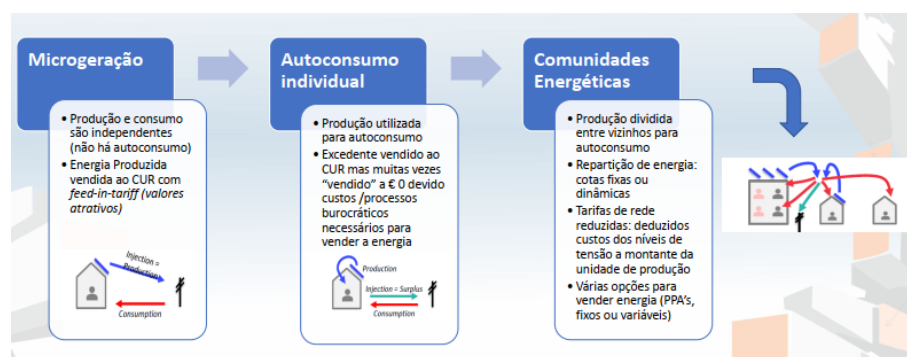


Figura 2.2: Evolução da micro e pequena produção [25] .

### 2.1.6 Protocolos de Comunicação

A gestão integrada dos diversos SGT, que existem nas diversas funções dos edifícios, exige a capacidade de comunicação entre os diferentes sistemas. Ou seja, são precisos protocolos de comunicação adequados. Os protocolos são linguagens através das quais dois ou mais dispositivos comunicam e efetuam trocas de informação, sendo estes equipados com microprocessadores. Ambos os dispositivos têm de conhecer a estrutura de dados de modo a facilitar a troca de informação. Existem quatro pontos chave relativos aos protocolos:

- Abertos;
- *Standard*;
- Interoperáveis
- Proprietários.

Um protocolo é aberto quando o criador do protocolo o torna disponível a todos. O protocolo *standard* exige que todas as entidades envolvidas cheguem a um acordo relativamente a uma estrutura de dados que possa ser implementada nos seus respetivos dispositivos. Se houver consistência na indústria relativamente à escolha dos protocolos estes tornam-se protocolos *standard* na indústria, p.e., BACnet, Modbus, entre outros. A interoperabilidade é a característica de um protocolo que o torna operável em diversos sistemas diferentes. E, finalmente, os protocolos proprietários são protocolos que são restritos ao criador do dispositivo, ao não partilharem a estrutura de dados [26]. Para que os diferentes sub sistemas comuniquem, os modernos SACE fazem a integração destes, permitindo a que cada um tenha a sua própria "linguagem".

### 2.1.7 Enquadramento Legislativo

O quadro legislativo nacional que regula o projeto, execução, condução e manutenção dos SACE está ancorado no Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro (transpõe



a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944) que, entre outros objetivos, estabelece os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, com o objetivo de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético através do estabelecimento de requisitos aplicáveis à sua modernização e renovação. As características técnicas dos SACE estão definidas na Portaria n.º 138-I/2021 de 1 de julho que regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas, sendo o ponto 6, desta portaria totalmente dedicado aos SACE. Nos edifícios de serviços, novos ou existentes, que tenham uma potência térmica nominal global igual ou superior a 290 kW, como se observar na figura 2.3, será obrigatório a instalação de um Sistema de Gestão Técnica Centralizada com os requisitos mínimos de acordo com a norma NP EN15232-1 2020 – Classe B ou Classe A – de acordo com as datas da figura 2.4 da referida portaria.

| Potência nominal global   | Tipo de SACE  |
|---|---|
| $100 \text{ kW} \leq P_c < 290 \text{ kW}$<br>$290 \text{ kW} \leq P_c$ | Sistema de Gestão Técnica.<br>Sistema de Gestão Técnica Centralizada. |

Figura 2.3: Tipos de SACE a adotar em função do tipo potência nominal global [4] .

| Data de aplicação do requisito                  | Classe de eficiência energética |
|---|---------------------------------|
| Entrada em vigor da presente portaria . . . . . | Classe B.                       |
| A partir de 1 de janeiro de 2025 . . . . .      | Classe A.                       |

Figura 2.4: Requisitos mínimos de eficiência dos sistemas GTC, segundo a norma EN 15232 [4] .

A norma EN15232 tem como princípio orientador o controlo com base nas reais necessidades de cada um dos espaços (*demand control*), conforme se depreende da figura 2.5.

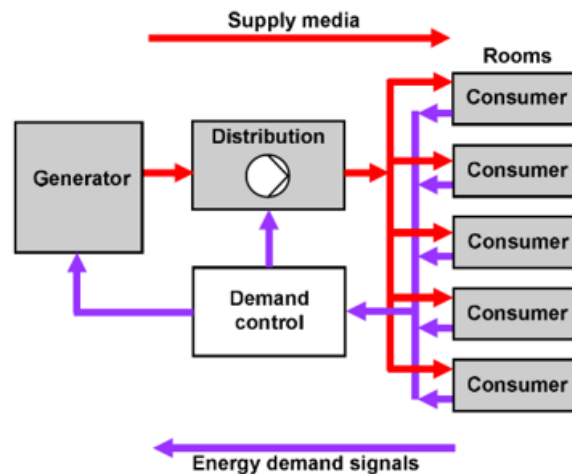


Figura 2.5: Controlo com base nas necessidades dos espaços [27] .

No que se refere ao controlo do ar novo dos espaços, para o cumprimento da Classe B ou Classe A da referida norma, a função 4.4 do quadro 5 (figura 2.6) impõe que o controlo do caudal de ar novo tenha em conta a ocupação dos espaços.

| Funções |  | Classes |   |   |   |
|---------|--|---------|---|---|---|
|         |  | D       | C | B | A |
| 4.4     | Controlo de caudal do ar novo exterior   |         |   |   |   |
| 0       | Proporção fixa de ar novo/caudal de ar novo constante                                      | x       |   |   |   |
| 1       | Proporção de ar novo por patamares (baixo/alto) /caudal de ar novo com programação horária | x       | x |   |   |
| 2       | Proporção de ar novo por patamares (baixo/alto) /caudal de ar novo (ocupação)              | x       | x | x |   |
| 3       | Controlo variável  | x       | x | x | x |

Figura 2.6: Controlo de ar novo dos espaços [27] .

## 2.2 Ventilação com base nas necessidades em unidades AVAC

Ventilação é o nome que se dá ao processo de trazer ar exterior para o interior de um edifício e vice versa. Tendo em conta as condições de temperatura e humidade do ar exterior e dos requisitos pretendidos para o interior, o ar ventilado deve normalmente ser aquecido ou arrefecido e/ou humidificado ou desumidificado [28]. Assim sendo, o tratamento do ar ventilado pode representar uma parte significativa do consumo energético dos sistemas AVAC. As taxas de ventilação ou quantidade de ar novo em metros cúbicos por minuto ( $m^3/min$ ) que um sistema de tratamento de ar fornece para o interior de um edifício é calculado tendo em conta a ocupação máxima dos diversos espaços do edifício. Na realidade, a ocupação raramente se aproxima da ocupação máxima e não é invulgar para uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) operar continuamente à taxa máxima de

ventilação, independentemente de o espaço se encontrar completa ou parcialmente ocupado [28]. Isto resulta, frequentemente, em sobre ventilação, o que resulta em custos energéticos mais elevados do que o necessário.

### 2.2.1 Ventilação com base nas necessidades

Os edifícios não requerem a insuflação de ar novo a 100% durante todo o tempo. devido ao facto de o número de pessoas num edifício variar ao longo do dia, também a procura de ar novo varia. A *Demand Controlled Ventilation* (DCV) é um método de controlo da taxa de ar novo com base em padrões de ocupação [28]. Sendo o sistema capaz de ajustar a taxa de ventilação de forma contínua e automática. Essencialmente, o controlo é conseguido através de um ou vários sensores que respondem à variação de ocupação [28]. O sinal do sensor é aplicado a um sistema de controlo que ajusta a taxa de ar novo através da UTA, assegurando assim que a boa qualidade do ar interior é mantida continuamente. Existem três estratégias primárias frequentemente utilizadas [28]:

- **Horários de Ocupação:** Insuflação de ar durante as horas ocupadas, conforme os horários de ocupação, e mínima ou nenhuma insuflação de ar novo durante as horas não ocupadas. Podem ser utilizados temporizadores simples para ligar ou desligar a UTA em horários definidos [28];
- **Sensores de Ocupação:** Insuflar ar novo durante os períodos de ocupação consoante a deteção pelos sensores, com a mínima ou nenhuma insuflação de ar novo quando a sala está desocupada. O sistema pode usar sensores de proximidade que podem controlar a taxa de insuflação de acordo com a deteção de ocupação e número de ocupantes num espaço a qualquer altura [28];
- **Sensores de Concentração de CO<sub>2</sub>:** Insuflar ar novo suficiente para manter a concentração de CO<sub>2</sub> dentro dos limites [28].

As duas primeiras estratégias baseiam-se em estimativas e aproximações e podem não garantir os resultados esperados (ótimos) [28]. Ainda assim, estas estratégias representam melhorias significativas em comparação à insuflação de ar novo a uma percentagem fixa. Atualmente estão a surgir no mercado soluções de DCV baseadas em sistemas de contagem de pessoas, permitindo obter melhores resultados que os conseguidos com a simples ocupação dada por um sensor utilizado para este efeito. Grande parte dos sistemas modernos de DCV utilizam sensores de CO<sub>2</sub> para se poder monitorizar continuamente os níveis de CO<sub>2</sub> no interior e fornecer informações em tempo real para regular taxa de ar novo adequada para a ventilação. A utilização de sensores de CO<sub>2</sub> permite um controlo mais rigoroso sobre a ventilação [28].

## 2.2.2 Benefícios da DCV baseada em CO<sub>2</sub>

A sobre ventilação é um dos fatores que pode contribuir para os consumos desnecessários de energia num edifício, isto deve-se ao facto de a maioria dos sistemas de ventilação nos edifícios insuflarem ar a uma percentagem fixa ou constante nos espaços representando assim o principal motivo para a aplicação da DCV [28]. Comparativamente a uma abordagem com taxa de ventilação fixa, a DCV oferece as seguintes vantagens:

- A sobre ventilação é evitada, mantendo a boa qualidade do ar interior (QAI) e fornecendo o caudal necessário de ar novo por pessoa, especificado pelas normas [28];
- Redução dos consumos de energia ao evitar o tratamento (aquecimento ou arrefecimento e humedificação ou desumidificação) de mais ar do que aquele que é necessário [28];
- Permite monitorizar a ocupação e as taxas de ventilação de um edifício a qualquer instante [28];
- Fornece informação relevante sobre tendências de ocupação, que podem ser úteis para futuras análises, planeamento operacional, manutenção dos equipamentos e segurança no espaço [28];
- Em alguns edifícios, a infiltração de ar ou janelas abertas podem ser uma fonte de ar novo. Um sensor de CO<sub>2</sub> irá considerar a contribuição da infiltração de ar, e apenas requer que o sistema de ventilação compense a ventilação necessária para que os valores de CO<sub>2</sub> se mantenham dentro dos valores adequados [28];
- A ventilação pode ser controlada zona a zona, com base nas necessidades reais, quando se adota a estratégia apropriada de controlo do edifício [28];
- Permite a implementação de diferentes estratégias de controlo, p.e., quando exigidas pela legislação. Esta abordagem é altamente adaptável à alteração das utilizações dos edifícios e a quaisquer alterações que possam ocorrer no futuro [28].

## 2.2.3 Níveis de CO<sub>2</sub> e ventilação

As pessoas expiram continuamente quantidades previsíveis de CO<sub>2</sub>. Como a produção de CO<sub>2</sub> é bastante consistente com a ocupação, esta é um indicador fiável da qualidade do ar e da taxa de ventilação adequada [28]. Um nível elevado de CO<sub>2</sub> numa sala (>1000 ppm) indica ventilação insuficiente e um nível baixo (<600 ppm) pode sugerir que se possa baixar a taxa de ventilação e, assim, manter uma qualidade do ar interior adequada com um menor consumo de energia [28]. Este estudo [29] mostra que um critério de insatisfação dos ocupantes de 20% corresponde a um nível de CO<sub>2</sub> de 1000 ppm. Daí o valor de 1000 ppm ter sido muitas vezes interpretado como a concentração máxima de CO<sub>2</sub> para uma qualidade aceitável do ar interior [28].

## 2.2.4 Controlo de sistemas AVAC com objetivos económicos

Se a temperatura do ar exterior for menor que a temperatura do ar reciclado, os registos da UTA devem ser capazes de abrir completamente permitindo assim o *"free" cooling*, que é um método económico de reduzir a temperatura dentro de um edifício sem o uso de refrigeração mecânica. Este método permite reduzir os custos de operação visto que é mais vantajoso economicamente tratar o ar exterior do que o ar reciclado. Embora o *"free" cooling* possa levar a reduções de custos de operação para sistemas AVAC para climas frios e também possa melhorar a qualidade do ar interior, o uso deste não é aconselhado para locais em que o clima seja quente e húmido. Outro nome que se pode dar ao método *"free" cooling* é o modo/controlo economizador.

Nos diversos edifícios que são dotados deste tipo de controlo deve ser permitido ao economizador a sua sobreposição ao controlo DCV assim permitindo aumentar a insuflação do ar exterior antes dos horários de funcionamento deste para que seja feita a ventilação para reduzir as concentrações dos poluentes que se possam acumular durante a noite.

Este controlo economizador deve estar também diretamente ligado às leituras dos diversos sensores que se encontram no edificado de modo a que se evite a sobre ventilação perante uma situação em que o número de ocupantes não seja grande o suficiente para se fazer este tratamento.

## 2.3 Algoritmos baseados na concentração de CO<sub>2</sub> para deteção de presença de ocupantes

Estão em desenvolvimento diversas tecnologias que permitirão obter informação coerente do número de pessoas num determinado espaço, estas tecnologias são bastante recentes e a implementação destas representam um custo significativo nos sistemas de gestão [30]. Os sensores de movimento dão a informação para que foram concebidos - a ocupação/não ocupação. Para além disso, numa sala onde uma pessoa permanece imóvel, ou numa sala onde as pessoas estão localizadas num ângulo morto dos sensores, devido à geometria da sala, os sensores de movimento a atuar como sensores de ocupação levam podem levar a informação enviesada [30]. Assim sendo, vários estudos propõem distintas estratégias para contrariar este efeito, p.e., estratégias numéricas baseadas nos efeitos da ocupação humana sobre parâmetros que podem ser medidos por sensores reais: à exceção da concentração de CO<sub>2</sub>, podem ser utilizadas outras variáveis para se calcular a probabilidade de ocupação: temperatura, humidade relativa, iluminação, entre outras [30]. Existem diversos estudos em que o uso de diversos tipos de sensores em simultâneo para estimar a ocupação é analisado [31] [32] [33]. Todos estes estudos concluem que a concentração de CO<sub>2</sub> é a informação mais rigorosa para estimar a ocupação. Isto leva à criação de algoritmos

de conceção para estimar a ocupação com base apenas nas concentrações de CO<sub>2</sub>. São construídas várias estratégias, das quais muitas resultam do problema da DCV:

- Modelos probabilísticos como [34] permitem detetar com precisão dezenas de ocupantes [30];
- Métodos baseados em concentrações estáveis de CO<sub>2</sub> como [35] são capazes de determinar centenas de ocupantes [30];
- Métodos baseados em redes neuronais [36] [30].

### 2.3.1 Revisão de algoritmos de deteção com base nas concentrações de CO<sub>2</sub>

Como já foi mencionado em cima, no ponto 2.2.1, a DCV é capaz, em alguns casos, de manter a qualidade do ar interior necessária, reduzindo ao mesmo tempo o consumo energético. Os níveis de CO<sub>2</sub> no interior são utilizados como referência para a qualidade do ar interior. Sendo os ocupantes dos espaços os maiores produtores de CO<sub>2</sub>, isto resulta num aumento das concentrações no interior relativamente aos níveis no exterior ao longo do tempo e quando o número de ocupantes aumenta [37]. O sistema AVAC pode modificar as taxas de ventilação em resposta a variações na produção interna de CO<sub>2</sub>, i.e., a taxa de ventilação é regulada ao longo do tempo em resposta a sinais da concentração de CO<sub>2</sub> no interior. Ao utilizar este método, pode-se reduzir o consumo energético através da reavaliação das necessidades de ventilação com base no nível de ocupação [37]. Em certas áreas em que o ar é tratado, como salas de aulas, auditórios, entre outras, o número de ocupantes e as suas atividades podem ser monitorizadas para validar os modelos de previsão de CO<sub>2</sub>.

Os autores em [37] escolheram uma das salas de aulas mais ocupadas foi escolhida para se conduzir a recolha de dados relativos às concentrações de CO<sub>2</sub>. O número de ocupantes foi monitorizado com base nos horários das aulas de segunda a sexta-feira. Assumiu-se que mais de 50% dos alunos chegariam no espaço de tempo de 10 minutos após o início da aula, e que todos os alunos sairiam dentro de 3 minutos após o final da aula [37]. De modo a assegurar uma boa qualidade do ar interior, o sistema AVAC devia adotar um certo tipo de funcionamento antes que o nível de CO<sub>2</sub> excedesse o seu valor em estado estacionário. Logo, o algoritmo de controlo deveria prever com antecedência o nível de concentração de CO<sub>2</sub> e deveria controlar o sistema AVAC antes das condições de estado estacionário [37]. O sistema anterior ao analisado considerava um número fixo de ocupantes enquanto o sistema proposto no artigo se baseia no algoritmo de estimativa de ocupação em tempo real. Assumiu-se que o número de ocupantes era constante durante períodos de curto prazo, como 10 minutos, e mudava durante períodos mais prolongados, tais como uma hora [37]. Consequentemente, utilizou-se a taxa total de geração de CO<sub>2</sub> na sala para

os 10 minutos seguintes. Como a resolução de dados para o processo de programação de Machine Learning (MLP) é de 1 minuto, calculou-se a média das dez previsões seguintes a cada etapa. Isto também ajudou a reduzir o erro associado às previsões da MLP [37].

Devido ao facto de o número de ocupantes e as suas atividades serem, em grande parte, incertas, os modelos de previsão de CO2 podem não ter o melhor desempenho [38]. Por isso foram utilizados algoritmos baseados em Machine Learning, que se provam benéficos no que toca a este aspeto, sendo capazes de aprender a incerteza e variabilidade associadas aos dados de CO2 [37]. Foram então, ainda no documento, comparados 6 destes algoritmos e escolhido o que tinha o melhor desempenho ao longo de diferentes horizontes de previsão.

A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE) sugere a seguinte fórmula como equação que relaciona a concentração de CO2 e o número de ocupantes [39]:

$$V \times \frac{dC}{dt} = Q \times C_0 - Q \times C + G \times P \quad (2.1)$$

- $V$  é o volume da sala em  $[(m^3)]$ ;
- $Q$  é a taxa de ventilação  $[(m^3/s)]$ ;
- $C$  é a concentração de CO2 na sala em [ppm];
- $C_0$  é a concentração exterior de CO2 em [ppm];
- $G$  e a geração de CO2 por pessoa em  $[ppm \ m^3/s]$ ;
- $P$  é a ocupação da sala (número de pessoas).

Assumindo que as taxas de ocupação/geração e ventilação são constantes ao longo do tempo, a relação é a seguinte:

$$C(t) = C_0 + \frac{G \times P}{Q} \times \left(1 - e^{-\frac{Q \times t}{V}}\right) \quad (2.2)$$

Em cima tem-se que  $Q/V$  é o volume de troca de ar com o exterior e o inverso,  $V/Q$ , é a constante de tempo do sistema. Se, quando a aula começar, a concentração de CO2 é igual à do exterior e, se à medida que a ocupação vai aumentando, a concentração também aumentar a uma taxa determinada pela relação entre a taxa de ventilação do sistema AVAC e o volume da sala, a sala vai chegar a uma concentração estável [39] que, à medida que o tempo tende para infinito, é:

$$C_u = C_0 + \frac{G \times P}{Q} \quad (2.3)$$

A partir da figura 2.7 podem ver-se as concentrações de CO<sub>2</sub> para as taxas de ventilação para diferentes níveis de ocupação. Quanto mais ocupado se encontra o espaço, maior a ventilação para manter o nível de CO<sub>2</sub>.

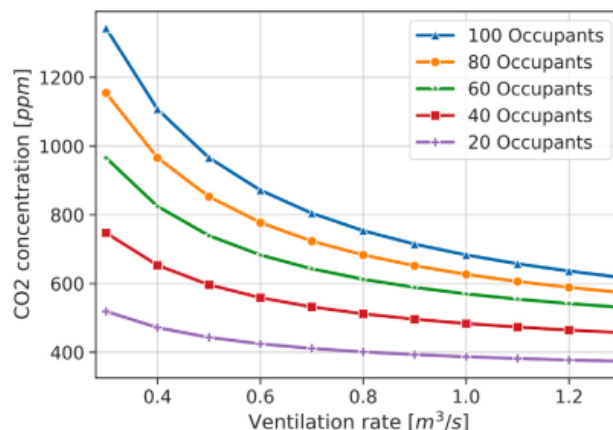


Figura 2.7: Concentração de Equilíbrio de CO<sub>2</sub> e taxas de ventilação a diferentes níveis de ocupação [37].

As equações 2.2-2.4, foram utilizadas para validar os resultados da estimativa de ocupação para uma das salas de aula onde os dados relativos ao tamanho desta, o número de ocupantes e atividades estavam disponíveis [37]. O sensor presente no espaço foi utilizado para medir a concentração CO<sub>2</sub> na sala com uma taxa de amostragem de 1 amostra por minuto. O *Setpoint* de número de ocupantes responsável pela taxa de alteração dos níveis de CO<sub>2</sub> foi calculado para os horários das aulas ao longo da semana. O volume da sala de aula escolhida para a monitorização é de  $500 m^3$  e o caudal máximo do sistema AVAC é de  $0,9 m^3/s$  [37]. O período de ocupação e o ritmo de entrada e de saída dos ocupantes foram comparados com dados reais para determinar o desempenho do modelo de ocupação. Pode-se observar pela figura 2.8, a estimativa da taxa de ocupação para um dia típico [37]. Com base na previsão, um mecanismo de monitorização que assegura que as concentrações de CO<sub>2</sub> nunca ultrapassem um certo limite pré-estabelecido foi posto em prática [37].



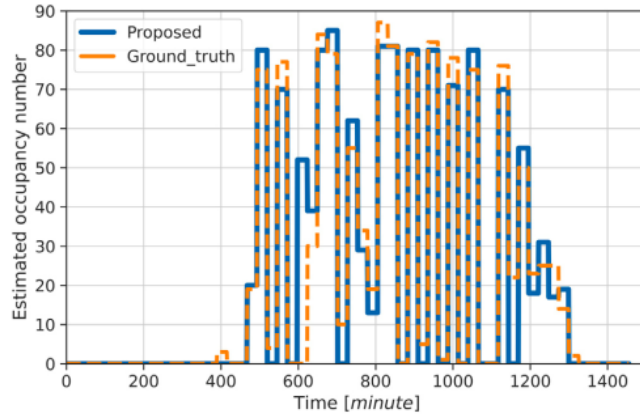


Figura 2.8: Estimativa de ocupação de uma sala de aula para um dia típico escolhido [37].

Para limites de CO<sub>2</sub> de 600 ppm e 700 ppm, a ventilação controlada e o CO<sub>2</sub> no interior podem ser vistos nas figuras 2.9 e 2.10 respetivamente.

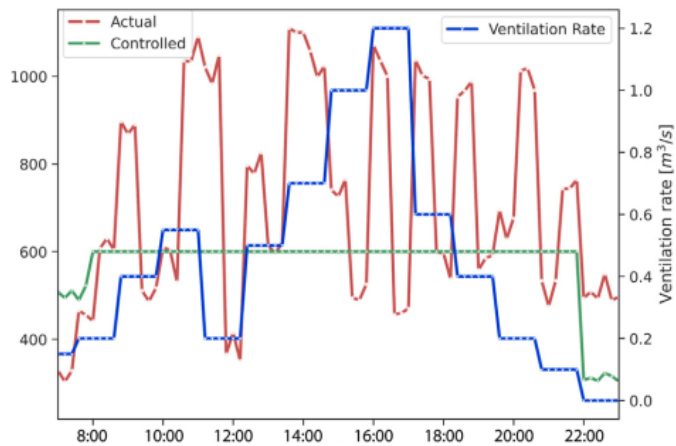


Figura 2.9: Controle de ventilação para manter o *setpoint* de 600 ppm [37].

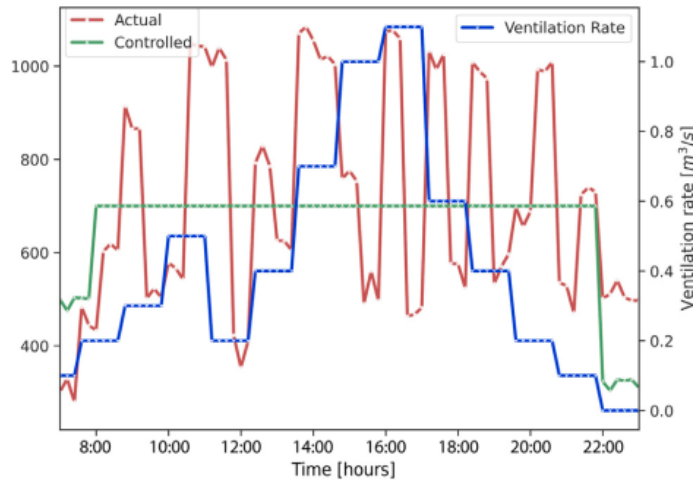


Figura 2.10: Controlo de ventilação para manter o *setpoint* de 700 ppm [37].

Como se pôde verificar pelo artigo, o sistema de controlo tentou seguir estes *Setpoints* ao baixar as taxas de ventilação sempre que a ocupação diminui e o contrário quando a ocupação aumenta. As taxas de ventilação para o limite de 600 ppm foram normalmente superiores ao limite de 700 ppm, normalmente, uma vez que o ventilador teve de trabalhar mais para compensar a geração em excesso de CO<sub>2</sub> [37]. Isto significa que o *Setpoint* tem um grande impacto no consumo energético do sistema. Para os *Setpoints* de 600 ppm e 700 ppm, para o dia escolhido, a ventilação interior global (ar novo) foi de 22438,8 m<sup>3</sup> e 18860,6 m<sup>3</sup> respetivamente [37]. Pode observar-se o valor das taxas de ventilação e o consumo energético para diferentes *Setpoints*, entre 500 e 1000 ppm, na figura 2.11. Pode ainda constatar-se diferença entre o consumo energético total no sistema proposto e o que se encontrava previamente a funcionar (com caudal médio de 0,9 m<sup>3</sup>/s. Como se pode ver, as taxas de ar novo e de consumo energético são reduzidas para *Setpoints* de CO<sub>2</sub> mais elevados [37]. Conseguem-se com este estudo poupanças energéticas significativas quando comparando com os métodos convencionais de caudal constante (ON/OFF).

| System       | Average fan flowrate [m <sup>3</sup> /s] | Operation hours | Total fresh air [m <sup>3</sup> ] | Energy consumption [kWh] | Energy saving [%] |
|--------------|--|-----------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Current      | 0.9000                                   | 10              | 32400.0                           | 36.0                     | -                 |
| DCV-500 ppm  | 0.7435                                   | 10              | 26766.0                           | 29.7                     | 17.5              |
| DCV-600 ppm  | 0.6233                                   | 10              | 22438.8                           | 24.9                     | 30.8              |
| DCV-700 ppm  | 0.5238                                   | 10              | 18860.6                           | 21.0                     | 41.6              |
| DCV-800 ppm  | 0.4873                                   | 10              | 17542.8                           | 19.5                     | 45.8              |
| DCV-900 ppm  | 0.4513                                   | 10              | 16246.8                           | 18.1                     | 49.7              |
| DCV-1000 ppm | 0.4366                                   | 10              | 15717.6                           | 17.5                     | 51.4              |

Figura 2.11: Taxa de ventilação média, ar novo total e consumo energético para diferentes *Setpoints* [37].



# Capítulo 3

## Materiais e Métodos

### 3.1 Caracterização do sistema prévio à implementação da solução proposta

Apenas foi analisado o funcionamento do sistema no Bloco D da Universidade NOVA SBE. Este é composto por 5 pisos, sendo que, o piso -2 (ver Apêndice A) é um piso subterrâneo onde se encontram as Unidades de Tratamento de Ar (UTA), os quadros elétricos e os quadros relativos aos controladores do Sistema de Gestão técnica, o piso 2 (ver Apêndice E) é composto por, essencialmente, gabinetes climatizados por equipamentos terminais (UTs), e os restantes pisos, nomeadamente os -1, 0 e 1 são pisos compostos por gabinetes, salas de aula e anfiteatros. Dessa forma, foi analisado e otimizado o comportamento das UTAs que tratam o ar das salas de aulas dos pisos -1, 0 e 1 (ver Apêndices B, C e D), num total de 29 salas e um anfiteatro (ver Apêndices G e H). As UTAs têm um algoritmo de controlo interno, com as quais apenas se comunica via integração, apenas se manipulam as variáveis de *Setpoint* de entrada nesse algoritmo para que a UTA funcione do modo desejado, p.e., não é possível manipular diretamente o variador de velocidade, apenas é possível alterar os valores de *Setpoint* de pressão. O sistema é composto por 14 UTAs, existindo UTAs a tratar o ar em uma, duas, três ou quatro salas. Pode-se observar (ver Apêndice F), as salas e as UTAs correspondentes. Na figura 3.1 apresenta-se a representação de uma UTA do sistema, neste caso a UTA\_02.03.

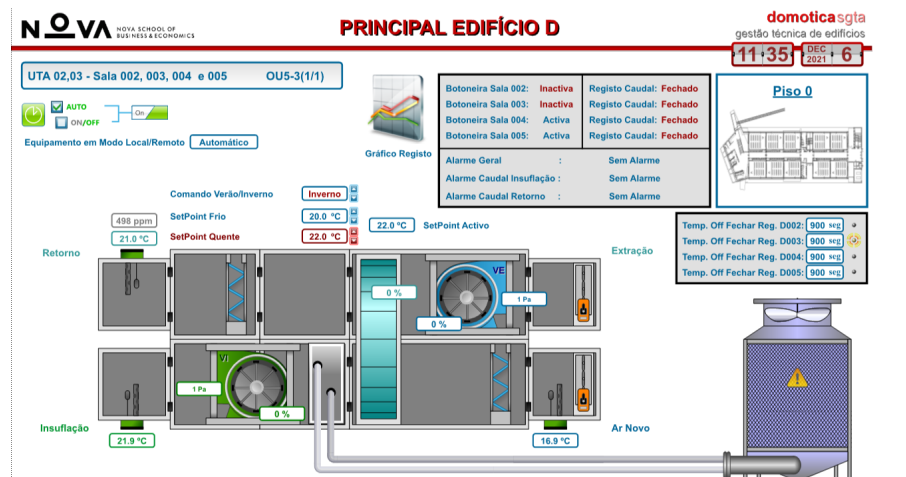


Figura 3.1: Representação UTA\_02.03 [40] .

Da observação da figura 3.1, verifica-se que esta UTA trata o ar de 4 salas, nomeadamente a sala 002, 003, 004 e 005. Pode também verificar-se que a partir do sinóptico de cada UTA, pode ter-se acesso a algumas variáveis, como sejam a qualidade do ar no conjunto das salas (retorno), dada pela concentração de CO<sub>2</sub> em ppm e a temperatura de retorno, variáveis estas usadas para controlar a insuflação e o caudal de ar novo de modo a proporcionar as condições mais favoráveis aos ocupantes. Previamente as UTAS estavam a fazer um controlo do ar novo das salas, única e exclusivamente, com base na ocupação, a partir de sensores de presença montados em cada uma das salas, como os da figura 3.2 (a). O controlo que se fazia, observado na figura 3.1 pela variável “Temp. Off Fechar Reg. D”, funciona da seguinte forma: se a sala estiver desocupada, ao fim de 900 segundos fecha-se o registo de ar novo na sala, sendo este tipo de controlo já individualizado por espaço. Os ocupantes das salas têm a opção de ter o controlo de ar novo e climatização ligado ou desligado, sendo isto possível através de interruptores instalados nas salas, como o que se pode ver na figura 3.2 (b).



Figura 3.2: (a) Sensor de presença e (b) Interruptor.

### 3.1.1 Problema

Na situação encontrada aquando do início desta dissertação, como as sondas de recolha de dados (concentração de CO<sub>2</sub> e temperatura) estavam instaladas no retorno das unidades, o controlo efetuado implicava alterações no ar novo para todas as salas alimentadas por uma dada UTA, ou seja, o sistema ainda não estava preparado para fazer um controlo individual para cada um dos espaços. Em tal situação, p.e., se se tivesse uma sala com uma concentração de CO<sub>2</sub> de 1000 ppm e outra com 500 ppm, para uma UTA que tratasse o ar de duas salas, obter-se-ia na sonda de retorno uma concentração de 750 ppm (média das duas salas), tem-se uma sala com uma maior necessidade de ar novo do que outra, que o sistema não era capaz de reconhecer. Para além disso, no sistema prévio à imple-

mentação, o controlo do ar novo na sala era efetuado com base apenas na ocupação, pelo que o sistema não fazia distinção, neste controlo, do número de pessoas na sala. p.e., se se tivesse uma sala com 50 pessoas o caudal de ar insuflado nesse espaço seria semelhante ao caudal insuflado numa outra sala da mesma UTA ocupado por 1 ou 2 pessoas apenas, o que corresponderia nesta última sala a um caudal de ar superior ao necessário para garantir a qualidade de ar a temperatura de conforto, o que corresponde a um consumo energético desnecessário. O objetivo é assim evitar caudais de ar desnecessários, tendo em conta a ocupação da sala (a partir da concentração de CO<sub>2</sub>), e um melhor controlo dos caudais de ar novo, para cada uma das salas, tendo em conta não só a qualidade do ar em si, mas garantindo também o conforto térmico dos ocupantes, tendo ainda em atenção os custos de operação do sistema.

## **3.2 *Hardware e Software***

### **3.2.1 *EcoStruxure Building Operation***

O *SmartStruxure* é uma solução integrada para a gestão de edifícios que combina o controlo ambiental, gestão de recursos energéticos e aplicações de segurança [41]. É possível personalizar o sistema para qualquer aplicação de gestão de edifícios, incluindo pequenos edifícios de escritórios, campus de Universidades, como é o caso desta dissertação, entre outros. Pode-se configurar e gerir o sistema a partir do *EcoStruxure Building Operation WorkStation*. As *Workstations* executam o *software EcoStruxure Building Operation* para monitorizar, controlar e criar relatórios para todos os aspetos do sistema de gestão do edifício. Podem ligar-se *workstations* entre si e aos controladores *Automation Servers* a partir da rede Ethernet [41].

O *software EcoStruxure* é uma plataforma de arquitetura aberta, fornece um conjunto de ferramentas abrangente e personalizável que controla e monitoriza o sistema de gestão de instalações por meio de redes Ethernet e redes de campo (*Field Bus*) [41]. Inclui uma ferramenta de edição gráfica com o objetivo de criar exibições personalizadas, como as que se podem observar na figura 3.3, para que se possam disponibilizar apresentações facilmente interpretadas das informações de monitorização da instalação e acomodar a gestão e controlo central dos equipamentos da instalação [41]. As *WorkStations* monitorizam e gerem a operação dos sistemas, incluindo a monitorização suplementar e os relatórios de informação das aplicações de controlo [41]. Após a projeção e programação, as aplicações de controlo nos *Automation Servers*, o sistema *EcoStruxure* fornece o acesso restrito aos controladores responsáveis pela execução das tarefas [41].

O *EcoStruxure Building Operation* (EBO) corresponde à designação que a *Schneider Electric* atribuiu às ferramentas de *software* do sistema de gestão técnica, como o *Enter-*

*prise Server*, o *Reports Server*, o *Workstation* e o *WebStation* [41]. O *Workstation* fornece um ambiente completo para controlar e monitorizar todos os componentes do sistema. É também a interface onde os utilizadores acedem aos seus servidores da ferramenta *EcoStruxure*. É possível visualizar e gerir gráficos, alarmes, horários, *trend logs* e relatórios relativos aos programas implementados do SGT. Os engenheiros podem configurar e manter todos os aspetos de uma solução *SmartStruxure* [41].



Figura 3.3: Representação gráfica criada no *SmartStruxure* da NOVA SBE pela empresa Domótica SGTA [40] .

Pode observar-se na figura 3.4 a arquitetura *standard* deste tipo de sistemas do ambiente *EcoStruxure Building Operation*

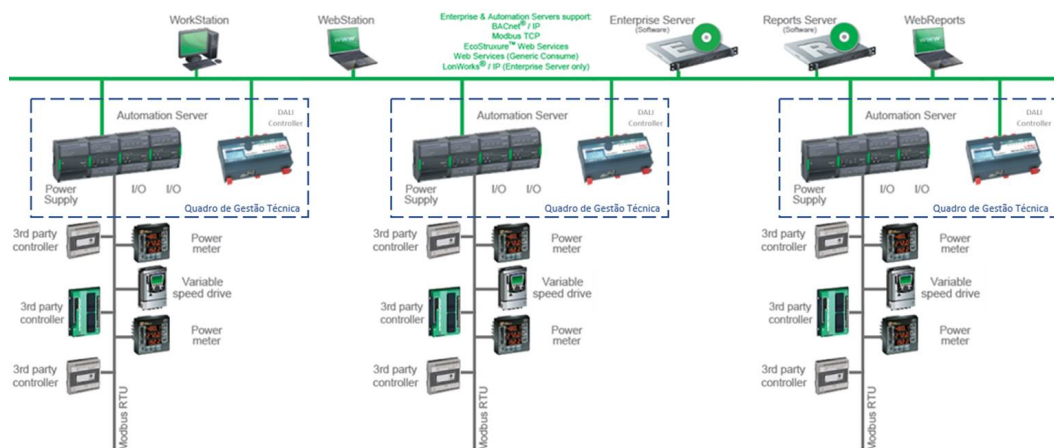


Figura 3.4: Arquitetura tipo do *EcoStruxureware Building Operation*. [40] .

### 3.2.2 *Function Block Programming*

O *Function Block Programming* é uma ferramenta de programação para a edição gráfica de *software* dedicada ao controlo dos dispositivos *Automation Server*, como é o caso para

este trabalho dos servidores AS-P. A programação é efetuada a partir da utilização de diversas combinações de diferentes blocos de funções e os resultados das respectivas funções são transferidos para outros blocos de funções utilizando ligações entre eles [41]. São criados programas de Blocos de Funções ao reunir um conjunto de blocos que recebem dados do campo (entradas) e de seguida processam a informação e geram uma ação específica para controlar um edifício [41].

Ao programar um programa de blocos no *Function Block Editor*, definem-se as funções, utilizando elementos gráficos que se colocam no diagrama de blocos de funções tendo este dois elementos principais: os blocos simples que processam os dados e as ligações que transmitem os dados entre os blocos [41]. Os sinais de entrada para os blocos são processados e originam um único sinal de saída. Cada bloco de funções pode ter um ou diversos parâmetros que processam os sinais de entrada. Os parâmetros podem ser definidos como valores numéricos ou como identificadores (constantes) [41]. O sinal de saída é transmitido para outros blocos. O sinal segue o caminho definido pelas ligações, que representam o fluxo de dados durante a execução do programa. Os dados fluem normalmente da esquerda para a direita no diagrama, exceto quando uma ligação é utilizada para fechar um *loop* (retroação) [41].

Os blocos intermédios, que efetuam cálculos e tomam decisões lógicas, estão localizados entre os blocos de fonte e os blocos de destino. Estes blocos são orientados na direção do fluxo de dados [41].

Uma das quatro classes de blocos de funções no *Function Block Programming* são os blocos simples, sendo que as outras classes são, nomeadamente, os blocos de expressões, os blocos de operações e os blocos de sondas de teste. Cada bloco simples tem um número fixo de entradas e parâmetros e geram um único sinal de saída. Um exemplo de um bloco simples pode ser visto na figura 3.5.

Estes podem ser divididos nos seguintes grupos:

- Blocos de ligação [41];
- Fontes de Sinais [41];
- Funções lógicas [41];
- Funções não lineares [41];
- Blocos de atraso (Delay) [41];
- Controladores e filtros [41];
- Acumuladores [41];
- Variáveis do sistema [41];
- Blocos de horário e de alarme [41];
- Funções de transformação [41].



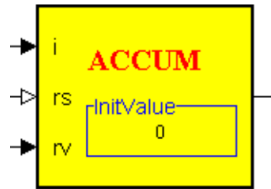


Figura 3.5: Bloco simples típico [41] .

Os blocos de expressões são blocos com um parâmetro, que é uma expressão aritmética ou lógica, sendo que este parâmetro pode ser simples ou complexo [41]. Dependendo da expressão, o bloco pode ter poucas ou inúmeras entradas. Um exemplo deste tipo de blocos pode ser visto na figura 3.6. Escolhe-se o tipo de bloco de expressão consoante o tipo de saída requerido, podendo este ser binário (lógico), real ou inteiro [41].

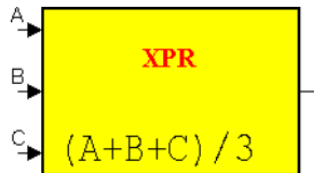


Figura 3.6: Bloco de expressão típico [41] .

Os blocos de operações são divididos, tal como nos blocos simples, em grupos:

- Constantes [41];
- Operações lógicas [41];
- Operações matemáticas [41];
- Operadores de comparação [41];
- Operadores de operação de bits [41].

Um exemplo de um bloco de operações, neste caso uma soma, pode ser visto na figura 3.7.

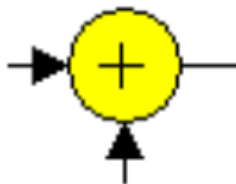


Figura 3.7: Bloco de operações típico [41] .

Finalmente, os blocos de sondas de teste são utilizados para a amostragem do estado das saídas. Estes blocos são também utilizados para escrever os valores calculados para as

entradas quando se utiliza um modelo do sistema controlado durante uma simulação [41]. Um exemplo deste bloco pode ser observado na figura 3.8.



Figura 3.8: Bloco de sondas teste típico (Analog Output Test Probe) [41] .

### 3.2.3 *Trend Logs, Extended Trend Logs, Trend Log Chart e Trend Log List*

Utiliza-se um *Trend Log* para recolher dados e arquivá-los nos registos, sendo que, um registo contém um valor de registo ou um evento, bem como a sua data de recolha e um comentário adicional [41]. Um *Trend Log* pode registar uma variável analógica, digital ou inteira. Por razões de desempenho e para tornar os *Trend Logs* menos sensíveis ao evento de um *Automation Server* ficar *offline*, recomenda-se que estes se coloquem o mais próximo possível da variável registada [41]. De preferência, no servidor onde a variável registada se encontra. Por exemplo, se um sensor estiver ligado a um *Automation Server*, o *Trend Log* que regista, p.e., a temperatura, deve ser criado nesse *Automation Server*. É possível utilizar *Extended Trends* para estruturar os dados de registo e para que estes possam ser armazenados onde houver maior capacidade de armazenamento, como para o disco de um computador [41]. Quando se cria um *Trend Log*, o programa ajuda a configurar um *Extended Trend*, uma *Trend Log List* e um *Trend Chart*, bem como o tipo de *Trend Log* escolhido. Os diferentes tipos de *Trend Logs* são os seguintes [41]:

- *Trend Logs* de Intervalo: Recolhe dados num intervalo de tempo específico [41];
- *Trend Logs* de Medida: Estes *Trend Logs* são acionados por variáveis, com funcionalidades extra para tratar os cálculos de consumo independentemente da troca de contador, ou do *rollover* do contador [41];
- *Trend Logs* de Mudança de Valor: Este tipo de *Trend Log* regista a variável cada vez que a diferença entre o valor atual e o ultimo valor de registo excede um delta [41];
- *Trend Log* Manual: Regista os dados que o utilizador introduz manualmente. Não regista uma variável. Utilizar este tipo de *Trend Log* quando os valores de dispositivos *offline* têm de ser registados manualmente no *Trend Log* [41];
- *Trend Logs* Implícitos: É um *Trend Log* do tipo mudança de valor que monitoriza a variável IO e regista um novo valor se a variável exceder um delta. Cada valor de registo é armazenado como um registo no *Trend Log* [41].

### 3.2.4 UTAs

As unidades de tratamento de ar (UTAs) são uma das melhores formas de garantir uma boa qualidade do ar nos edifícios. Estas são utilizadas para tratar e fazer circular o ar sendo parte do sistema de ventilação, aquecimento e ar condicionado. Uma UTA é, normalmente, uma grande caixa metálica que se liga às condutas que canalizam o ar tratado num determinado espaço (insuflação) e o devolve à UTA (retorno). No interior da UTA existem, tipicamente, dois ventiladores - insuflação e extração - e uma roda térmica ou outro equipamento para recuperação de calor. As unidades retiram ar do exterior, filtram e aquecem/arrefecem e/ou humidificam/desumidificam esse ar através de distintas soluções técnicas (baterias de água fria/quente, expansão direta, entre outras). Quando as necessidades, relativamente à qualidade do ar, são menores, o ar dos espaços pode ser recirculado de modo a reduzir o consumo energético. As UTAs da Faculdade NOVA SBE têm caudal de ar variável adaptando-se à abertura/fecho dos registos

A figura 3.9 representa esquematicamente uma das UTAs instaladas na Faculdade NOVA SBE.

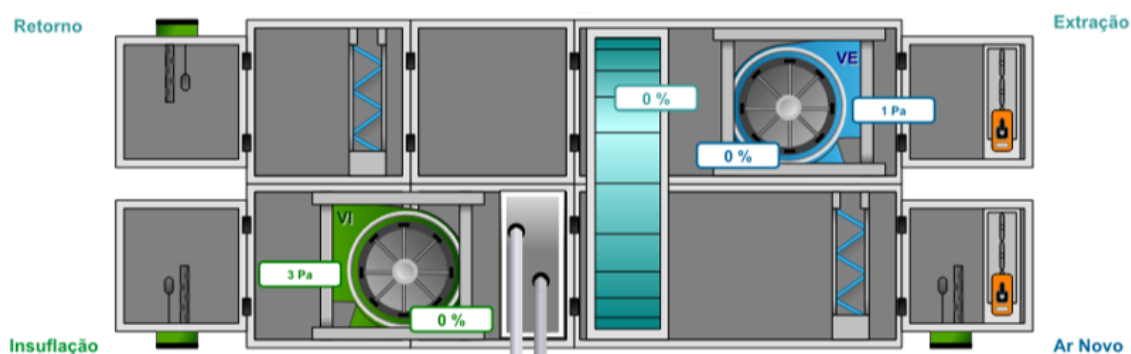


Figura 3.9: UTA [40] .

### 3.2.5 Acesso ao Sistema de Gestão Técnica

A interface Homem-Máquina é realizada através do programa *Building Operation WorkStation* ao efetuar o *login* com as credenciais de um dos operadores registados no sistema. A partir deste ponto tem-se acesso ao SGT, através do menu principal. O utilizador tem a opção de aceder a qualquer bloco do edifício, e também de aceder à informação relativa à iluminação exterior, elevadores, contagem da água, analisadores de rede, e dados gerais sobre as UTAs, como pode ser observado na figura 3.3. Ao aceder a um dos blocos do edifício, é possível navegar entre as diferentes plantas dos pisos (ver Apêndices A-E), os dados relativos às UTAs deste bloco e às imagens das UTAs, como se pode observar pela figura 3.10.



Figura 3.10: Menu Bloco D. [40] .

E ao aceder a uma UTA o controlo permite escolher se estas se encontram em modo local/remoto, modo manual ou modo automático, sendo possível, em modo manual, alterar os *setpoints* de temperatura, como pode ser observado na figura 3.1. Também se pode aceder aos programas de cada equipamento através do *Function Block Programming*, isto é possível ao aceder ao quadro do Bloco D, em que a janela tem o aspeto da figura 3.11.

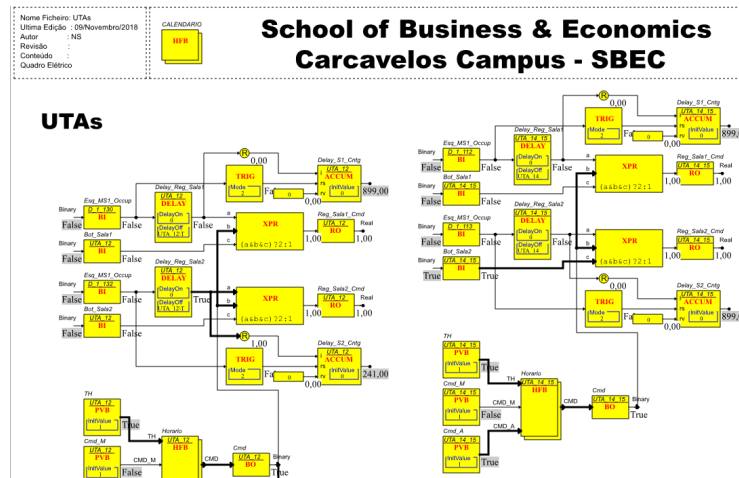


Figura 3.11: Exemplo de uma janela no ambiente *Function Block Programming* [40] .

## Capítulo 4

# Procedimento e implementação do algoritmo

### 4.1 Proposta de otimização

A solução que foi implementada para tentar solucionar os problemas antes apresentados foi: montagem nas condutas de retorno de cada uma das salas de sensores de temperatura e CO<sub>2</sub> como se pode ver na figura 4.1, obtendo-se assim a qualidade de ar sala a sala e não a média do grupo de salas, e com base na análise, não só de ocupação, mas também da concentração de CO<sub>2</sub>, desenvolveram-se e implementaram-se algoritmos de gestão que permitam otimizar a operação do sistema AVAC considerando o conforto térmico, a qualidade do ar, os custos de operação, de uma forma indireta a partir do funcionamento do variador de velocidade que se encontra nas UTAs, e a ocupação.

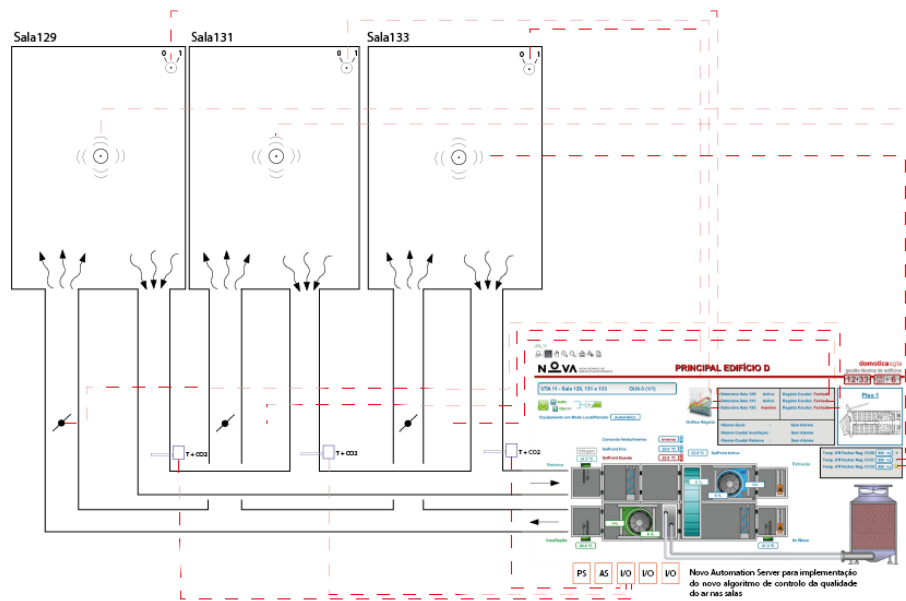


Figura 4.1: Sondas Instaladas no retorno de cada sala .

Já existiam certas preocupações com a poupança de energia, p.e., se se tivesse uma UTA só a climatizar uma sala os outros registos das restantes salas fechavam. O que se quis complementar foi, não diminuindo o conforto térmico, permitir um controlo local (sala a sala), de acordo com a ocupação de cada espaço, tendo em atenção, que quando se fecham

os registos motorizados, não se está a climatizar a sala, pois não estão garantidos nesta situação os caudais do ar para permitir a climatização.

Os componentes eletrónicos que foram instalados para a otimização do sistema foram os seguintes:

- 1x *SmartX Automation Server AS-P* da Schneider Electric (ver Apêndice J): Permite monitorizar e gerir os dispositivos conetados através de barramentos campo, é totalmente programável, multifuncional, processa sinais físicos através de módulos de entrada/saída e pode funcionar como servidor autónomo. É integrado via TCP/IP na rede de dados do sistema de gestão técnica existente [42];
- 4x módulos UI-16 da Schneider Electric (ver Apêndice K): É um módulo de entradas universais (analógicas ou digitais) com 16 canais I/O. As entradas universais são ideais para qualquer medição de temperaturas, pressões, fluxos (analógicos), estados (digitais) ou outros tipos de pontos semelhantes num sistema de controlo de edifícios [43];
- 32x Sonda LK+CO2 V da Thermokon (ver Apêndice L): Sondas combinadas de temperatura e CO2 para montagem em condutas [44].

A montagem destes equipamentos foi executada no interior do quadro de gestão técnica existente (ver Apêndice I).

## 4.2 Algoritmo de Controlo

Primeiramente, de modo a haver dados suficientes para se fazer uma análise comparativa do funcionamento do sistema antes e após a implementação do algoritmo foram criadas as seguintes *Trends* e *Extended Trends* de variáveis, para que se pudesse fazer uma recolha durante um espaço de tempo antes da implementação:

- AN\_T: Temperatura do ar novo em °C (*Trend Log* de Intervalo);
- Bot\_Sala n: Estado do botão da sala n em que  $n = 1...4$  (*Trend Log* de Mudança de valor);
- Est\_UTA: Estado de funcionamento da UTA [0,1] (*Trend Log* de Mudança de valor);
- Ins\_Percnt\_VV: Funcionamento do variador de velocidade da UTA [0-100%] (*Trend Log* de Intervalo);
- Ins\_Pressão/Ins\_Caudal: Pressão de insuflação em Pa ou , nas situações em que a UTA apenas faz o tratamento do ar para uma sala, Caudal de Pressão em  $m^3/h$  (*Trend Log* de Intervalo);
- Ins\_T: Temperatura do ar de insuflação em °C (*Trend Log* de Intervalo);
- Recup\_Sinal: Sinal de funcionamento da roda térmica (*Trend Log* de Intervalo);
- D n\_TP: Sinal relativo à ocupação dado pelos sensores de ocupação [0,1], sendo o n o número da sala (*Trend Log* de Intervalo);

- Reg\_Sala n\_Cmd: Comando do registo da sala n, em que  $n = 1...4$  (*Trend Log* de Mudança de valor);
- Reg\_Sala n\_Est: Estado do registo da sala n, em que  $n = 1,...4$  (*Trend Log* de Mudança de valor);
- Ret\_T: Temperatura do ar de retorno em °C (*Trend Log* de Intervalo);
- Run\_Time: Tempo de funcionamento da máquina (*Trend Log* de Intervalo);
- SP\_T: Setpoint atual de temperatura em °C (*Trend Log* de Intervalo);
- SP\_T\_I\_read: Setpoint quente em °C (*Trend Log* de Intervalo);
- SP\_T\_V\_read: Setpoint frio em °C (*Trend Log* de Intervalo);
- VE\_CO2: Concentração de CO2 no retorno no conjunto das 4 salas em ppm.

Passado um mês da criação das *Trends Logs* e *Extended Trend Logs*, procedeu-se à instalação das sondas de CO2+Temp, e instalaram-se os 4 módulos UI-16 da Schneider Electric, e verificaram-se os sinais das sondas.

Criaram-se então as *Trend Logs* e *Extended Trend Logs* das variáveis das sondas, que são as seguintes:

- S n\_CO2: Concentração de CO2 em ppm na sala n, em que o n é o número da sala (*Trend Log* de Intervalo);
- S n\_T: Temperatura em °C na sala n, em que o n é o número da sala (*Trend Log* de Intervalo).

Sendo que as *Trend Logs* de Intervalo têm um intervalo de 15 minutos (registra a variável de 15 em 15 minutos), e as *Extended Trend Logs* têm um delta de 0.5 (registra a variável sempre que a diferença entre o valor atual e o último valor registado exceda 0.5)

No que diz respeito ao algoritmo, relativamente ao controlo da qualidade do ar, para uma UTA com 4 salas, em tudo semelhante ao controlo de uma UTA com 2 e 3 salas embora mais complexo, p.e., a UTA\_02\_03, que faz o tratamento do ar para as salas 002, 003, 004 e 005, tem-se o controlo realizado com base na sala com a pior qualidade do ar, i.e., compara-se as concentrações de CO2, dadas pelas sondas instaladas nos retornos das salas como se pode ver na figura 4.2, onde se tem que, dentro do bloco de expressões:

- A: Concentração de CO2 da sala 002;
- B: Concentração de CO2 da sala 003;
- C: Concentração de CO2 da sala 004;
- D: Concentração de CO2 da sala 005;
- e: Estado do botão e do sensor de presença para a sala 002;
- f: Estado do botão e do sensor de presença para a sala 003;
- g: Estado do botão e do sensor de presença para a sala 004;
- h: Estado do botão e do sensor de presença para a sala 005;

Tem-se, à saída do bloco, o valor da pior (mais elevada) concentração de CO2 das 4 salas ocupadas.

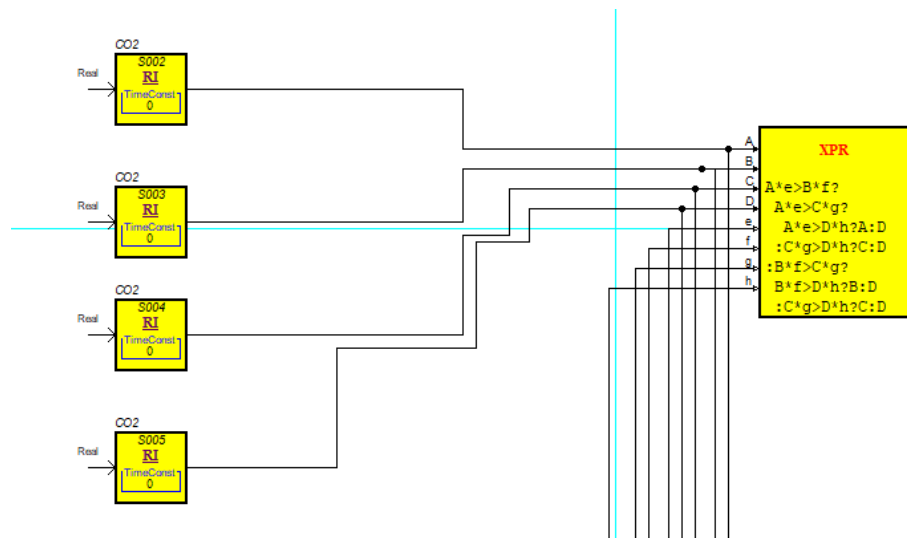


Figura 4.2: Pior concentração de CO2 [40] .

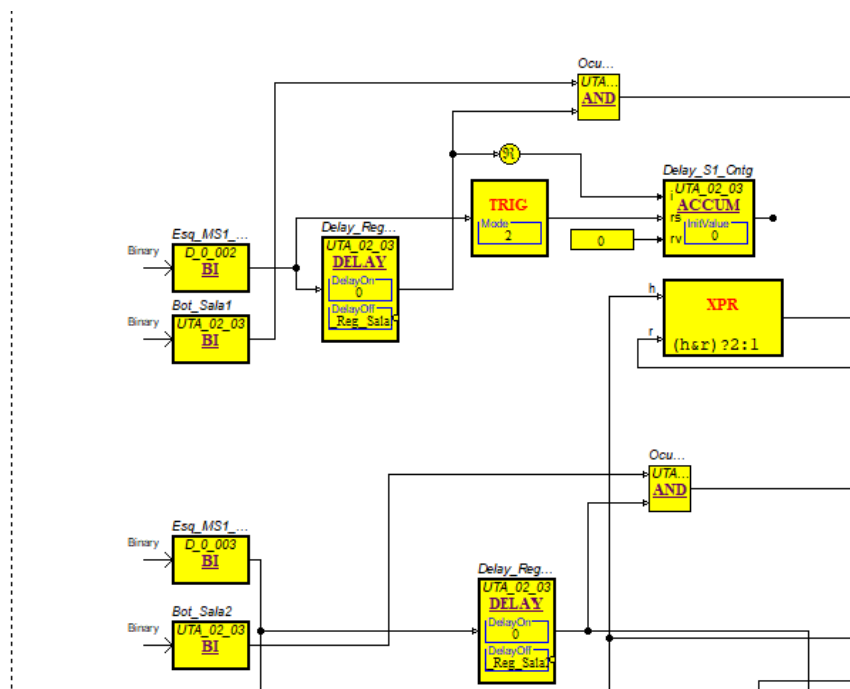


Figura 4.3: Estado do sensor de ocupação e do botão [40] .

O conjunto dos estados do botão e do sensor de presença, representados na figura 4.2, pelas letras minúsculas, podem ser observados na figura 4.3 (apenas para duas das quatro salas), como se pode ver pelos blocos de operações lógicas AND e pelos blocos de ligação com entradas e saídas binárias, D\_00n e Bot\_Sala n, em que n representa o número da sala. O bloco de *Delay*, *Delay\_Reg\_Sala*, representa um atraso de 900 segundos (15 minutos) para que, se o valor dado pelo sensor de ocupação D\_0\_n (0 ou 1) oscilar, p.e., devido à entrada e saída de pessoas de uma sala desocupada, só se desliga a máquina se o tempo



sem permanência de pessoas na sala for maior que os 900 segundos. Estas condições de ocupação e do estado do botão são analisadas para, no caso desta UTA, as 4 salas, sendo que o controlo da qualidade do ar ou da temperatura apenas é feito se se verificarem ambas as condições (saída dos blocos de ligação unitária).

O funcionamento da UTA, no que diz respeito ao caudal do ar (relacionado com a velocidade dos ventiladores), tendo em conta as concentrações de CO2 e temperaturas nas salas é:

---

**Algoritmo 1:** Controlo da pressão de insuflação/extração

---

```

1 se Em apenas uma das salas:(Sala_Ocupacao = 1 E Botao_Estado = 1) E ((T <
   S - D) E c) OU (T > S + D) E !c então
2   |   pressao_insufalacao = press_N_VI ;
3   |   pressao_extracao = press_N_VE ;
4 senao
5   |   se C < 500 então
6   |   |   pressao_insufalacao = K_P_min_VI × Press_N_VI ;
7   |   |   pressao_extracao = K_P_min_VE × Press_N_VE ;
8   |   senao se C > 800 então
9   |   |   pressao_insufalacao = Press_N_VI ;
10  |   |   pressao_extracao = Press_N_VE ;
11  |   senao se C ≥ 500 E C ≤ 800 então
12  |   |   pressao_insufalacao = Press_N_VI × (K_P_min_VI + ((C-N)×(1-K)) / (M-N)) ;
13  |   |   pressao_extracao = Press_N_VE × (K_P_min_VE + ((C-N)×(1-K)) / (M-N)) ;

```

---

Em que:

- *Sala\_ocupacao*: Ocupação da sala (0 se desocupada e 1 se ocupada);
- *Botao\_estado*: Estado do botão que se encontra instalado nas salas;
- *V\_I\_Cmd\_read* ou *c* (No bloco de operação): Comando relativo ao ventilador de insuflação (1 no inverno, a aquecer  $T < SP - D$  ou 0 no verão, a arrefecer  $T > SP + D$ );
- *Delta* ou *d* (No bloco de operação): Delta a somar ou a subtrair ao *Setpoint*;
- *T*: Temperatura atual na sala, recolhida pela sonda;
- *S*: Setpoint de temperatura estipulado;
- *K\_P\_min\_VI* ou *K*: Valor de referência percentual mínimo de ventilador de insuflação que vai ser multiplicado pelo valor nominal da pressão também de insuflação (*Press\_N\_VI*);
- *K\_P\_min\_VE* ou *K*: Valor de referência percentual mínimo de ventilador de extração que vai ser multiplicado pelo valor nominal da pressão também de extração

(Press\_N\_VE);

- C: Valor atual da concentração de CO<sub>2</sub>, dado pela sonda;
- N: Valor de referência mínimo de CO<sub>2</sub> do ventilador de insuflação/extração;
- M: Valor de referência máximo de CO<sub>2</sub> do ventilador de insuflação/extração.
- Press\_N\_VI: Bloco que dá o valor de referência da pressão nominal da máquina relativamente à insuflação;
- Press\_N\_VE: Bloco que dá o valor de referência da pressão nominal da máquina relativamente à extração;
- *pressao\_insufalacao*: Valor da pressão de insuflação.

Uma das possibilidades para uma "gestão" económica dos sistemas AVAC seria a alteração do intervalo, em cima, de 500-800 ppm, pelo técnico de manutenção.

Este funcionamento, descrito no algoritmo pode ser observado na figura 4.4, onde  $K\_P\_min = 0.5$ , e na figura 4.5 onde se tem, para ambas, além das variáveis já referidas:

- CO<sub>2</sub>\_MAX\_VI: Bloco que dá o valor de referência máximo de CO<sub>2</sub> da insuflação;
- CO<sub>2</sub>\_MAX\_VE: Bloco que dá o valor de referência máximo de CO<sub>2</sub> da extração;
- CO<sub>2</sub>\_MIN\_VI: Bloco que dá o valor de referência mínimo de CO<sub>2</sub> da insuflação;
- CO<sub>2</sub>\_MIN\_VE: Bloco que dá o valor de referência mínimo de CO<sub>2</sub> da extração;

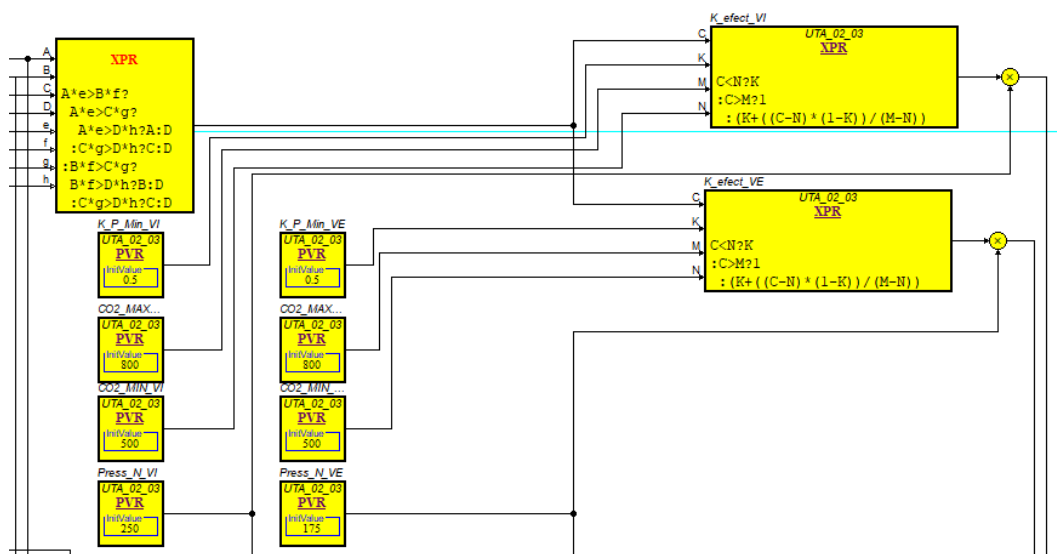


Figura 4.4: Controle qualidade do ar [40] .

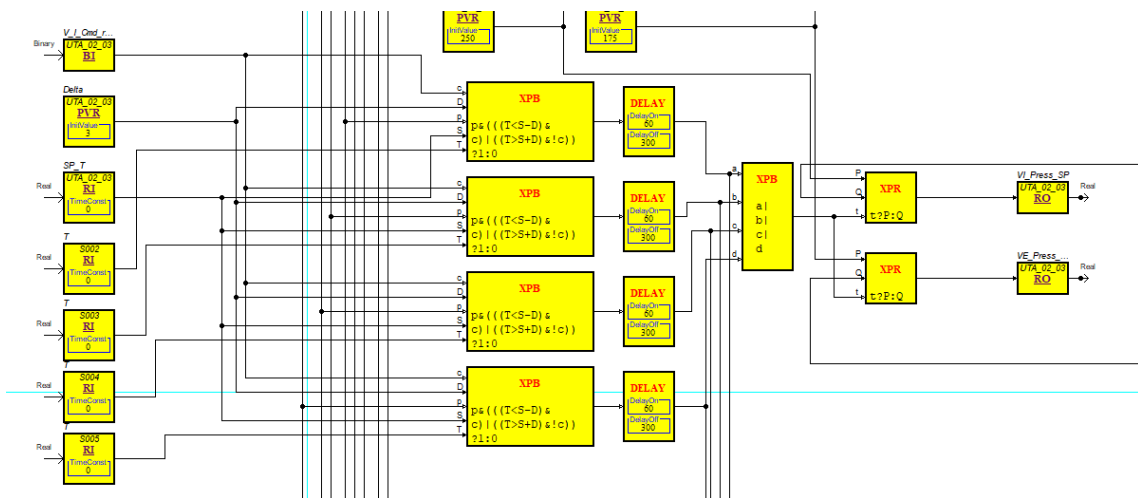


Figura 4.5: Controlo de Temperatura [40] .

Pela figura 4.4, o bloco de expressão  $K\_efect\_VI$ , representa o controlo do caudal do ar que é feito relativamente ao ventilador de insuflação e o bloco  $K\_efect\_VE$  representa o controlo do caudal do ar relativamente ao ventilador de insuflação. No futuro, todos os valores à entrada destes blocos podem ser alterados.

Também se colocaram *Delays*, como se pode ver pela figura 4.5 à saída dos blocos de expressão para se evitar estar constantemente a alterar a pressão de insuflação da UTA, devido a variações de temperatura. Foi introduzido o controlo de 60 segundos para ligar e 300 para desligar.

O controlo da pressão de insuflação é feito para a pior qualidade do ar da forma já descrita, mas basta uma das salas se encontrar numa destas situações de temperatura referidas para que a máquina passe a insuflar a pressão nominal e passe a regular a temperatura.

Valores inadequados, quer da qualidade do ar quer da temperatura são condições suficientes para se abrir o registo da sala, se a sala se encontrar numa das situações não favoráveis referidas.

Outras condições em que se tem o registo da sala aberto são as seguintes:

---

**Algoritmo 2:** Controlo Registos

---

```
1 se (CO2_1 > 500) E (Ocup_1 E Bot_1) OU (((CO2_2 <
    500) E (Ocup_2 E Bot_2) E (CO2_3 <
    500) E (Ocup_3 E Bot_3) E (CO2_4 <
    500) E (Ocup_4 E Bot_4)); E (Ocup_1 E Bot_1))
    OU (Ocup_1 E Bot_1) E !(Ocup_2 E Bot_2) E
    !(Ocup_3 E Bot_3) E !(Ocup_4 E Bot_4) então
2 | Est_registro = 1 ;
3 senao
4 | Est_registro = 0 ;
```

---

Onde:

- CO2.1: Concentração de CO2 na primeira sala da UTA, dada pelo sensor;
- CO2.2: Concentração de CO2 na segunda sala da UTA, dada pelo sensor;
- CO2.3: Concentração de CO2 na terceira sala da UTA, dada pelo sensor;
- CO2.4: Concentração de CO2 na quarta sala da UTA, dada pelo sensor;
- Ocup\_1 e Bot\_1: Ocupação da primeira sala e estado do botão, respetivamente;
- Ocup\_2 e Bot\_2: Ocupação da segunda sala e estado do botão, respetivamente;
- Ocup\_3 e Bot\_3: Ocupação da terceira sala e estado do botão, respetivamente;
- Ocup\_4 e Bot\_4: Ocupação da quarta sala e estado do botão, respetivamente;
- Est\_registro: Estado do registo.

Pode-se observar no código em cima que, se todas as salas tiverem uma concentração menor que 500 ppm e o estado do sensor de ocupação e do botão for também unitário, vai-se ter o registo aberto e, nesta situação o caudal vai ser mínimo para que a sonda continue a recolher valores, isto porque a sonda está instalada na conduta do retorno. Este funcionamento pode também ser observado na figura 4.6. Os *delays* observados na figura foram colocados com o mesmo objetivo dos que já foram descritos.

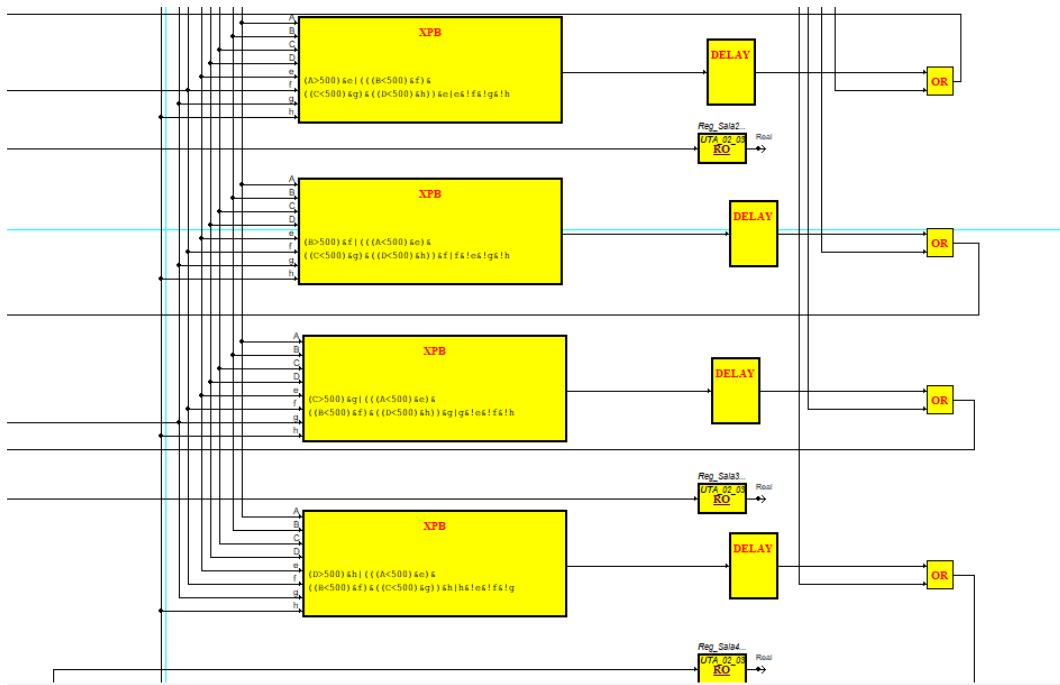


Figura 4.6: Controle dos registros da UTA [40] .

Finalmente, para todas as situações descritas apenas se tem a UTA a funcionar, e consequentemente, os registos abertos, se o sistema se encontrar no seu horário de funcionamento, de segunda-feira a sexta-feira das 6 horas e 30 minutos até às 21 horas e ao sábado das 6 horas e 30 minutos às 19 horas, como se pode ver na figura 4.7.

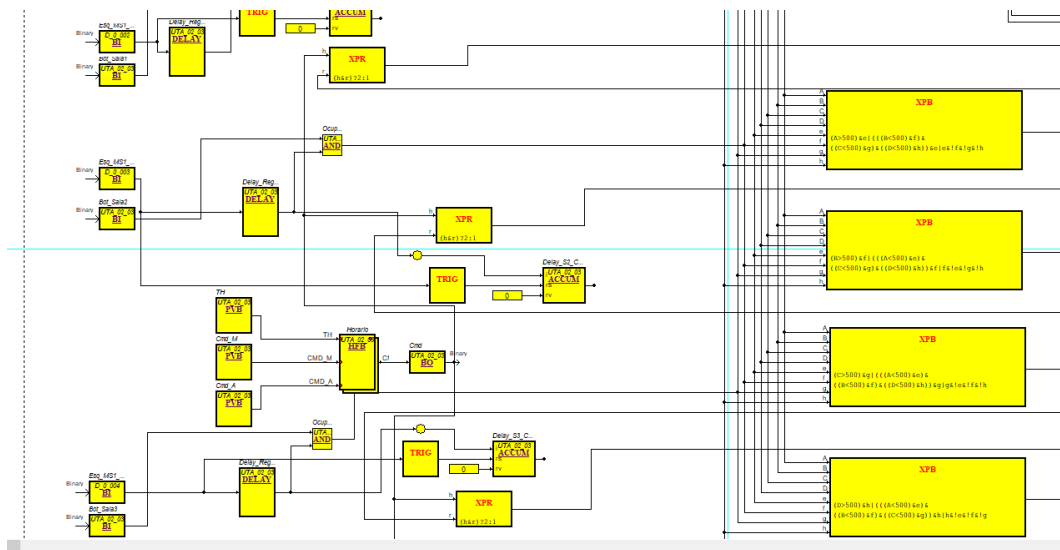


Figura 4.7: Controle de horário [40] .

E no apêndice Q tem-se também os diferentes sinais de alarme, de estados da UTA, sinais analógicos, os estados dos registos e sinais relativos aos recuperadores de calor que

não entram na própria programação do algoritmo.

No controlo das UTAs com apenas 1 sala tem-se o registo sempre aberto e não se controla a pressão de insuflação mas sim o caudal de insuflação como se pode verificar nas figuras 4.8 e 4.9

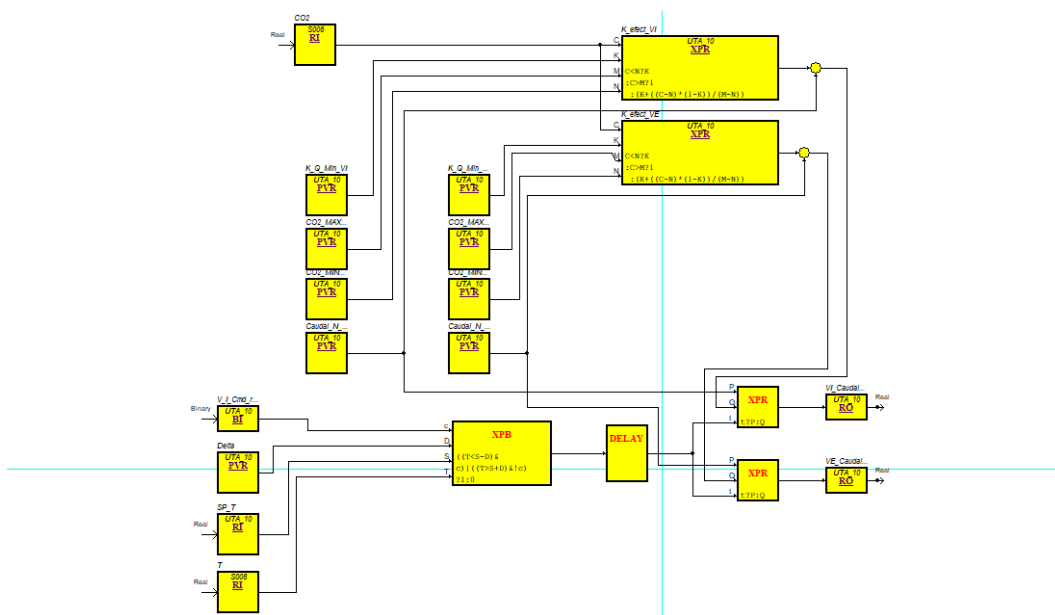


Figura 4.8: Controlo da qualidade do ar e da temperatura numa UTA com apenas 1 sala [40] .

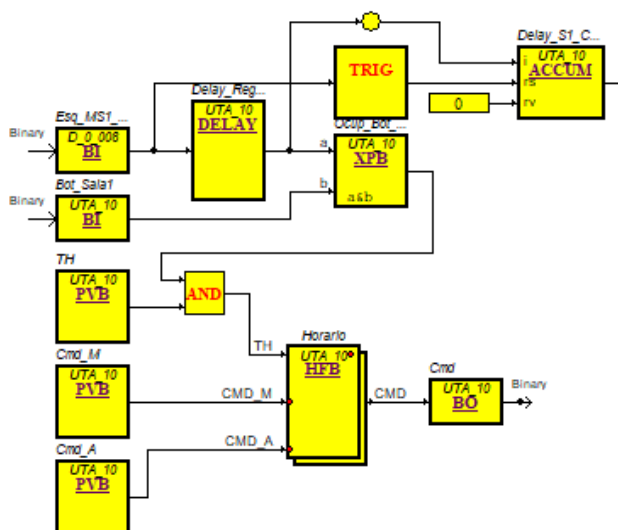


Figura 4.9: Ausência de controlo de registos numa UTA com apenas 1 sala [40] .

Após o carregamento dos programas no *EcoStructure Building Operation* criaram-se os *Bindings*, que são ligações entre os pontos I/O e outros objetos, neste caso os programas.

De seguida procedeu-se à criação de *Trend Logs* e de *Extended Trend Logs*, e de seguida recolheram-se e trataram-se os dados relativos às variáveis durante cerca de 1 mês, de modo a que houvesse dados suficientes para comparar o funcionamento do sistema antes e depois da implementação do algoritmo.





## Capítulo 5

# Análise de Resultados

### 5.1 CO2 e Temperatura

De modo a analisar o funcionamento do sistema, após as alterações à programação original, e para se verificar se este funciona da maneira adequada, a partir da ferramenta *EcoStruxure Building Operation*, retiraram-se os seguintes gráficos, representados nas figuras 5.1 e 5.2 relativamente às concentrações de CO2 na UTA\_02\_03 das salas 002, 003, 004, e 005, durante um mês para a situação com o algoritmo inicial (5.1) e com o algoritmo proposto (5.2).

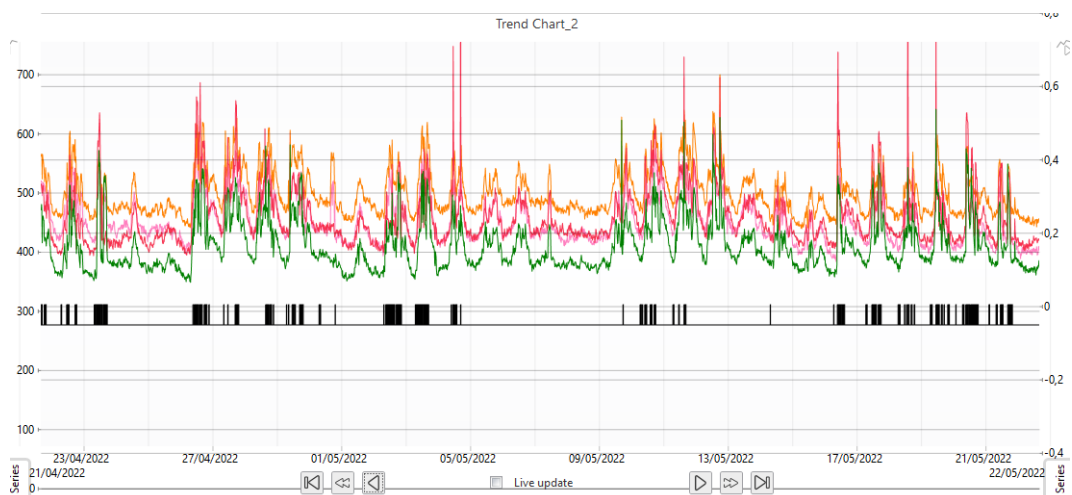


Figura 5.1: Concentrações de CO2 na UTA\_02\_03 desde o dia 23 de abril até ao dia 24 de maio onde o eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas a correspondente concentração de CO2 em ppm [40] .

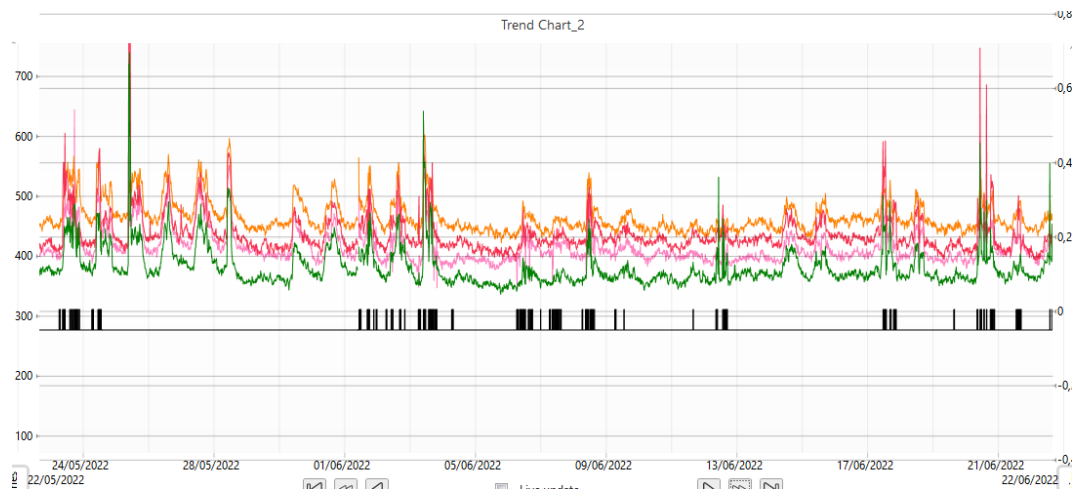


Figura 5.2: Concentrações de CO2 na UTA\_02\_03 desde o dia 24 de maio até ao dia 23 de junho onde o eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas a correspondente concentração de CO2 em ppm [40] .

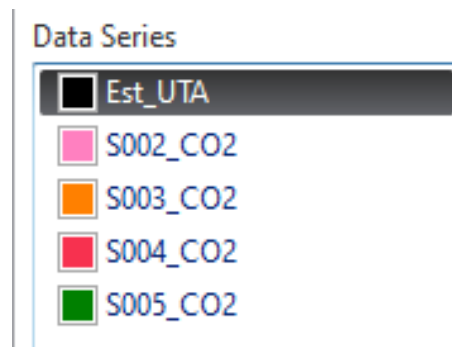


Figura 5.3: Legenda das figuras 5.1, 5.2, 5.4, 5.5 [40] .

Em que:

- Est\_UTA: Estado da UTA (1 se ligada e 0 se desligada);
- S002\_CO2: Concentração de CO2 na sala 002;
- S003\_CO2: Concentração de CO2 na sala 003;
- S004\_CO2: Concentração de CO2 na sala 004;
- S005\_CO2: Concentração de CO2 na sala 005.

Como se pode claramente ver, pelas figuras acima, tem-se que antes da implementação do algoritmo, figura 5.1, as concentrações de CO2 nas salas atingem mais vezes valores mais elevados e apresentam maior variabilidade do que após a implementação do algoritmo figura 5.2. Após a implementação do algoritmo têm-se poucas situações em que a concentração nas salas ultrapassa os 500 ppm, nunca ultrapassando o valor máximo admissível de 800 ppm, e também se observam menos picos de concentração, demonstrando assim o bom funcionamento do sistema perante o algoritmo. Este facto também pode ser

observado noutras UTAs como se pode ver pelos apêndice R.

Também se pode ver nas figuras que existe um andamento simultâneo que se deve ao erro das sondas, existindo diferenças entre as curvas de cerca de 100 ppm, sendo que estes valores estão dentro da tolerância da sonda de  $\pm 50 \text{ ppm} + 3\%$ . Estas diferenças são corroboradas pelos gráficos de concentração média, como pode ser observado pelas figuras 5.4 e 5.5.

Podem-se observar situações em que os valores das concentrações, após a implementação do algoritmo, atingem valores de até 700 ppm, isto pode-se dever ao facto de os ocupantes desligarem o controlo de ventilação e climatização através dos botões presentes nas salas, e de, por muitas vezes se esquecerem de voltar a ligar o controlo automático.

Para uma melhor verificação do que foi descrito em cima, criaram-se também os gráficos com a concentração de CO<sub>2</sub> média ao longo dos meses de abril e maio, como se pode ver pelas figuras 5.4 e 5.5. Pode-se observar que a média das concentrações de CO<sub>2</sub>, desde a implementação do algoritmo, tem sido cada vez menor. Importa referir que este comportamento também se pode dever ao facto de a ocupação no fim de maio, e ao longo do mês de junho ser menor, sendo que nesta altura grande parte dos alunos se encontram em época de exames.

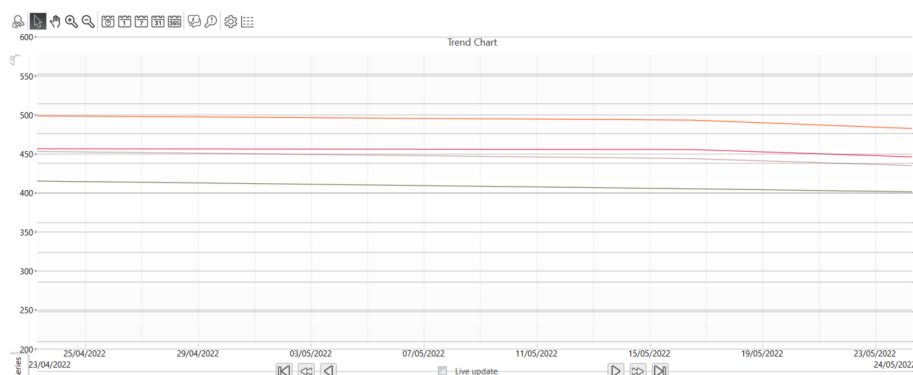


Figura 5.4: Concentração média de CO<sub>2</sub> desde o dia 23 de abril até ao dia 24 de maio. O eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas as correspondentes concentrações de CO<sub>2</sub> em ppm [40] .

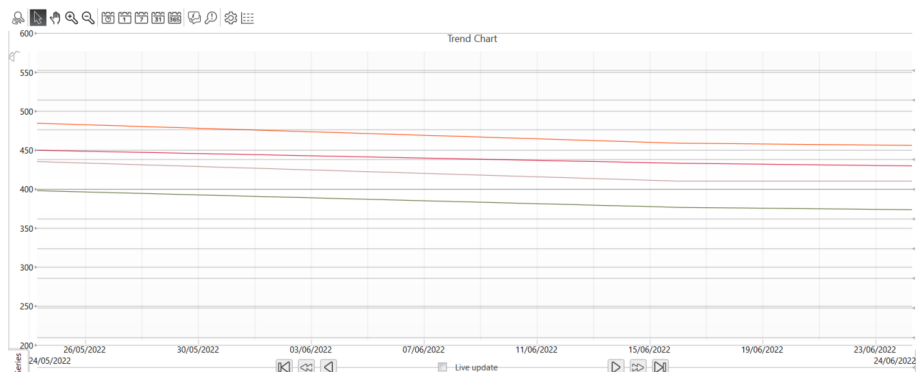


Figura 5.5: Concentração média de CO2 desde o dia 24 de maio até ao dia 24 de junho. O eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas as correspondentes concentrações de CO2 em ppm [40] .

Em relação à temperatura, como se pode ver nas figuras 5.6 e 5.7, antes da implementação do algoritmo tinha-se um controlo mais fino da temperatura, sendo que os valores da temperatura das salas eram sempre o mais próximos possíveis do *Setpoint*. Após a implementação do algoritmo, uma vez que a própria qualidade do ar (concentração de CO2) funciona como entrada do programa que controla o funcionamento das UTAs, teve de se fazer um controlo não tão restrito da temperatura, criou-se um intervalo de valores de temperatura à volta do *Setpoint* ( $\text{Setpoint} \pm 3$  graus Celsius, neste caso de + 3 graus), sendo que estes valores são admissíveis relativamente ao conforto dos ocupantes, e foram escolhidos arbitrariamente sendo possível alterar os mesmos no futuro. Como se pode observar nos gráficos seguintes, o número de ocorrências em que a temperatura ultrapassa o intervalo definido é pouco significativo



Figura 5.6: Valores da temperatura na UTA\_02\_03 desde o dia 20 de abril até ao dia 21 de maio. O eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas as correspondentes temperaturas em graus Celsius [40] .

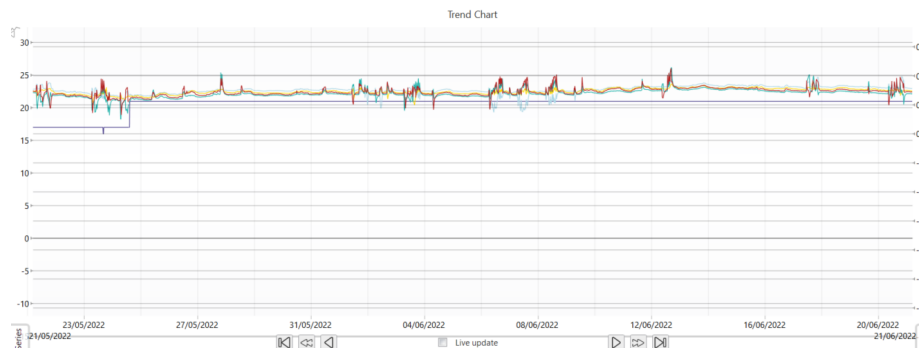


Figura 5.7: Valores da temperatura na UTA\_02\_03 desde o dia 21 de maio até ao dia 21 de junho. O eixo das abcissas representa os dias e o eixo das ordenadas as correspondentes temperaturas em graus Celsius [40] .

Tem-se, para as duas figuras acima(5.6 e 5.7:

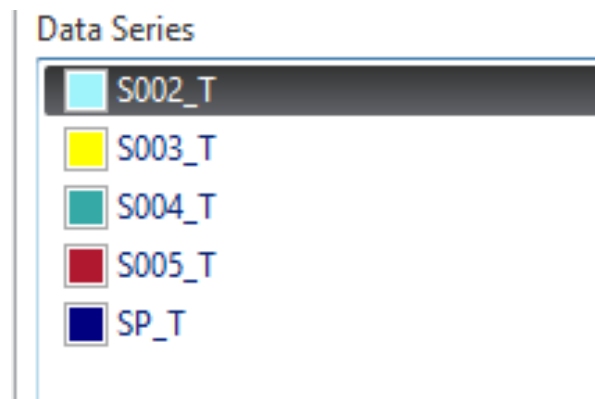


Figura 5.8: Legenda das figuras 5.6 e 5.7[40] .

Em que:

- S002\_T: Temperatura na sala 002;
- S003\_T: Temperatura na sala 003;
- S004\_T: Temperatura na sala 004;
- S005\_T: Temperatura na sala 005;
- SP\_T: *Setpoint* de Temperatura.

Isto também pode ser observado para outras UTAs como se pode ver pelos Apêndices S.

## 5.2 Implementação CISCO

Foi implementado um sistema da CISCO dedicado à deteção de pessoas nas salas, sendo que este, de momento e para esta dissertação, apenas serve de validação aos resultados obtidos através da implementação do algoritmo. Este sistema funciona da seguinte forma:

deteta o número de pessoas numa sala a partir do número de dispositivos (telemóveis, portáteis, entre outros) ligados à rede Wi-Fi. A partir destes dados consegue-se observar claramente uma relação com a concentração de CO<sub>2</sub>, i.e., a qualidade do ar nas salas. Isto pode ser observado nas figuras 5.9 e 5.10 para as UTAs 02\_03 e 06\_07 respetivamente onde, para ambas as figuras.

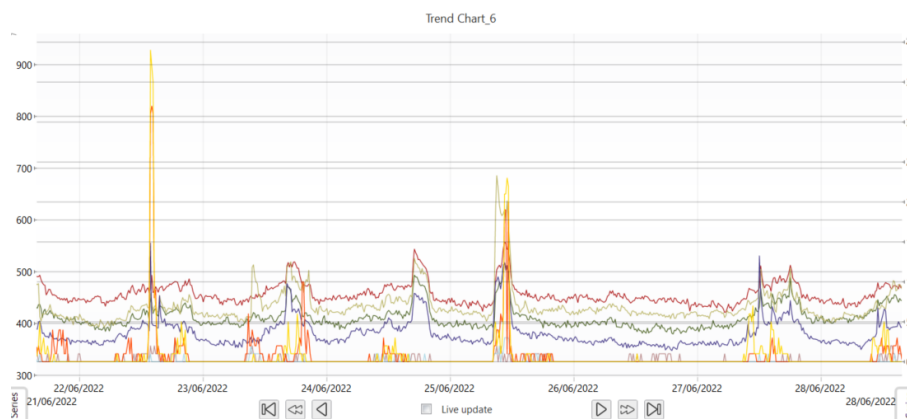


Figura 5.9: Número de pessoas relacionado com a qualidade do ar para a UTA\_02.03 desde 21 a 28 de junho. O eixo das abcissas representa os dias, o eixo das ordenadas do lado esquerdo as concentrações de CO<sub>2</sub> em ppm e do lado direito o número de pessoas. [40] .

Em que se tem, para a figura acima (5.9):

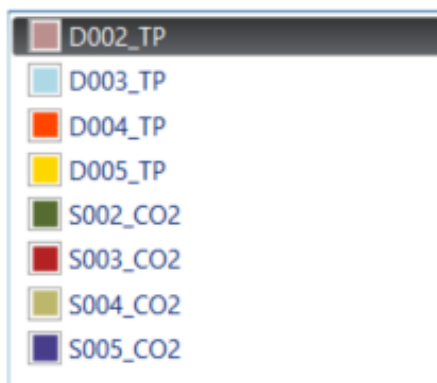


Figura 5.10: Legenda da figura 5.9 [40] .

Onde:

- D002\_TP: Número de pessoas na sala 002;
- D003\_TP: Número de pessoas na sala 003;
- D004\_TP: Número de pessoas na sala 004;
- D005\_TP: Número de pessoas na sala 005;
- S002\_CO2: Concentração de CO<sub>2</sub> na sala 002;
- S003\_CO2: Concentração de CO<sub>2</sub> na sala 003;

- S004\_CO2: Concentração de CO2 na sala 004;
- S005\_CO2: Concentração de CO2 na sala 005.

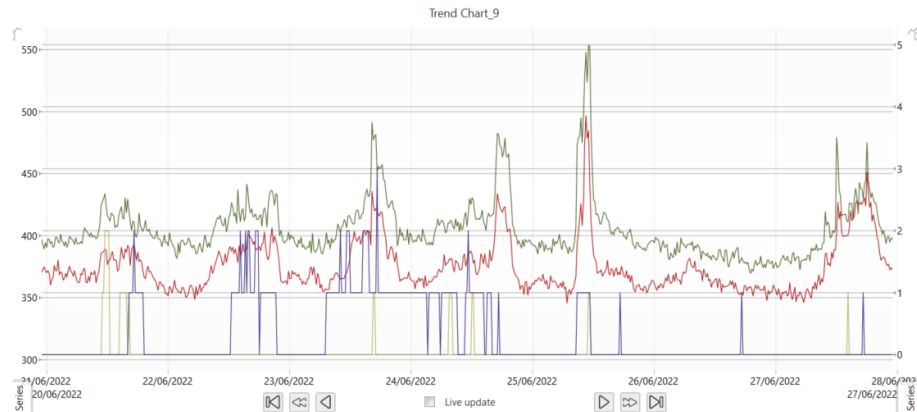


Figura 5.11: Número de pessoas relacionado com a qualidade do ar para a UTA\_06.07 desde 20 a 27 de junho. O eixo das abcissas representa os dias, o eixo das ordenadas do lado esquerdo as concentrações de CO2 em ppm e do lado direito o número de pessoas. [40] .

Em que se tem, para a figura acima (5.11):

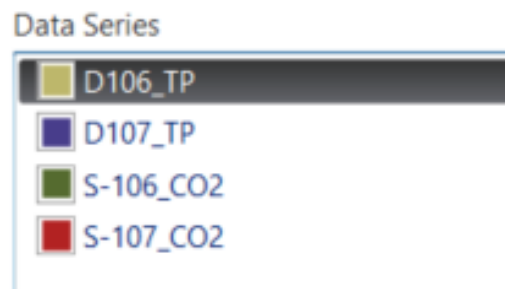


Figura 5.12: Legenda da figura 5.11 [40] .

Onde:

- D106\_TP: Número de pessoas na sala -106;
- D107\_TP: Número de pessoas na sala -107;
- S-106\_CO2: Concentração de CO2 na sala -106;
- S-107\_CO2: Concentração de CO2 na sala -107.

### 5.3 Análise relativa aos consumos

Não existe, na faculdade, mais especificamente no Bloco D, contagem de energia UTA a UTA, existindo apenas uma contagem total de energia do bloco. Também, houve nesta altura de implementação do algoritmo intervalos de tempo em que a máquina esteve no

modo de operação manual devido à operação dos técnicos no local, funcionando assim durante 24 horas.

Desta forma, analisou-se o consumo de outro modo. Efetuou-se a média da percentagem de funcionamento do variador de velocidade da UTA quando esta esteve ligada e excluíram-se estes valores da percentagem do variador de velocidade quando a UTA esteve em modo manual (a funcionar durante 24 horas). Obtiveram-se os seguintes dados: Desde o dia 4 de abril até ao dia 10 de maio a média da percentagem do variador de velocidade foi de 65.24%, de dia 10 de maio até ao dia 8 de julho foi de 62.067% e de dia 8 de julho até dia 1 de agosto foi de 50.82%.

Pode assim concluir-se que, se a qualidade do ar se manteve e o regime de funcionamento da máquina reduziu, de 65.24% para 50.82%. No entanto, é necessário um período maior de tempo para se tirarem conclusões mais fiáveis ou, para uma análise em termos quantitativos, seria necessária a instalação de analisadores de rede UTA a UTA, mas a partir do funcionamento do algoritmo e dos resultados obtidos pode-se concluir que o sistema funciona sempre em regime menor ou igual comparativamente ao original.





## Capítulo 6

# Conclusão e trabalhos futuros

A monitorização de temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> em cada um dos espaços climatizados e um algoritmo adequado permitem um controlo mais ajustado dos sistemas de climatização. Pode-se chegar à conclusão que a concentração de CO<sub>2</sub> é uma característica que permite uma informação aproximada da ocupação dos espaços.

Conseguiram-se manter as concentrações de CO<sub>2</sub> dentro dos valores esperados, de modo a que o conforto dos ocupantes seja garantido, e conseguiram-se manter as temperaturas nos intervalos de *Setpoints* escolhidos, sendo que, contrariamente ao sistema original, agora este controlo é diferente para cada espaço, não tendo apenas como base a ocupação mas também os níveis de concentração de CO<sub>2</sub>. O que pode ter impedido que os valores de CO<sub>2</sub> fossem, em alguns casos, os esperados foi a liberdade fornecida aos utilizadores finais do uso do botão instalado nas salas, visto que, muitos dos ocupantes, ao optarem por não ter controlo da qualidade do ar ou de ar condicionado, desligavam o botão, e acabavam por se esquecer de o ligar novamente quando saíam da sala, acabando por ficar o botão desligado durante um certo período de tempo. Uma solução para este problema pode ser: o utilizador pode ter um controlo manual dos sistemas, como é o caso no campus da NOVA SBE, mas passado algum tempo o controlo passa automaticamente para o modo automático.

Conseguiu-se relacionar os dados recolhidos a partir da implementação do sistema da CISCO com a concentração de CO<sub>2</sub> nas salas, no entanto, visto que este sistema apenas consegue fazer a contagem das pessoas que estejam ligadas à rede Wi-Fi este número pode não ser tão próximo da realidade como se esperava.

Não foi possível observar uma diminuição com significado nos consumos a partir do contador de energia do bloco D devido à inadvertida operação manual das UTAs, tendo estas ficado a funcionar, por diversas ocasiões, durante mais de 24 horas, devido ao facto de terem sido colocadas em modo manual pelos técnicos do local, aumentando então assim o consumo recorrendo à verificação da redução do valor médio do regime de funcionamento dos variadores de velocidade, repara-se assim que as UTAs estão a funcionar sempre num regime menor ou igual ao sistema original

No futuro pode-se proceder à instalação de contadores em cada uma das UTAs para que se possa fazer uma análise mais detalhada da energia consumida. Outro aspeto que podia levar a um menor consumo energético seria a alteração do local de instalação das sondas para a realização deste estudo Estas foram instaladas no retorno de cada sala, logo

a máquina, durante o seu horário de funcionamento, independentemente de estar ocupada ou não, vai ter de estar sempre a circular ar, mesmo que no mínimo possível de modo a que as sondas possam fazer a leitura dos dados. Isto podia ser evitado caso se instalassem as sondas no interior das salas, o que não foi implementado devido aos maiores custos a nível de cablagem e construção civil. Esta questão é exemplificativa da necessidade dos projetos de instalações elétricas, AVAC e SACE terem que ser coordenados, com vista a uma compatibilidade entre sistemas/equipamentos e os objetivos de controlo e eficiência energética.

Agora que o sistema de aquisição de dados está instalado, foi devidamente verificado e o algoritmo implementado funciona corretamente, podem implementar-se alterações que procurem tirar partido quer das tarifas de energia variáveis ao longo do dia, quer ainda com a disponibilidade de geração local. Também se pode agora calcular o SRI para este edifício para que se possam estimular mais investimentos deste tipo, e outros, de tecnologias inteligentes, visto que os sistemas AVAC se enquadram nas áreas dos serviços do SRI, nomeadamente no aquecimento, arrefecimento, a envolvente dos edifícios e ventilação. Também, como foi referido no ponto 4.2, o valor do  $K_P_{min}$  é, por enquanto, igual a 0.5, o que significa que se está a reduzir 50% a pressão nominal da máquina, no futuro este parâmetro pode vir novamente a ser ajustado, através de uma reta como se faz em relação ao CO<sub>2</sub>, que como também já foi referido, pode ter um significativo impacto nos consumos.

Também se conclui que a faculdade NOVA SBE já cumpre, devido ao sistema implementado, os requisitos mínimos de acordo com a norma NP EN15232-1 2020 cumprindo então os requisitos para a classe B. Sendo que no futuro também se pode vir a otimizar o algoritmo, nomeadamente: com a montagem de atuadores de registos modulantes que permitem alterar a percentagem de funcionamento destes, garantindo a classe A, ao contrário dos registos ON/OFF, que apenas garantem a classe B; e com o controlo tendo em conta os horários das aulas e a respetiva ocupação, entre outras variáveis.



# Bibliografia

- [1] John D. Spengler and Chen Qingyan. Indoor air quality factors in designing a healthy building. 25(1):567–600, 2000. <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.energy.25.1.567>.
- [2] World Health Organization. Indoor air quality: biological contaminants: report on a who meeting. *Regional Office for Europe*, 1990. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260557>.
- [3] U.S. Environmental Protection Agency. Indoor air quality and student performance. *EPA*, 2003.
- [4] Comité Europeu de Normalização. NP EN15232, 2020.
- [5] Jordan D. Kelso. *2011 Buildings energy data book*. D&R International, Ltd., 2012.
- [6] Jan Sundell. On the history of indoor air quality and health. *PubMed*, 7(7):51–58, 2004. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x?sid=nlm%3Apubmed>.
- [7] Peter Wouters and Christophe Delmotte. *Ventilation, good indoor air quality and rational use of energy*. Pollution Atmospherique, 2005. ISBN: 92-894-5664-7.
- [8] Francisco Pombas. Gestão de edifícios: Como retirar valor empresarial da norma europeia para os sistemas de gestão técnica dos edifícios en15232, 2020. <https://blog.se.com/br/gestao-de-edificios/2020/10/13/como-retirar-valor-empresarial-da-norma-europeia-para-os-sistemas-de-gestao-tecnica-dos-edificios-en-15232>.
- [9] Presidência do Conselho de Ministros. Decreto-Lei n.º 101-D/2020, 2020.
- [10] Simona D’Oca, Tianzhen Hong, and Jared Langevin. The human dimensions of energy use in buildings: A review. *Science Direct*, 81(1):731–742, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117311632>.
- [11] Arijit Sinha, Rakesh Gupta, and Andreja Kutnar. Sustainable development and green buildings. *SRCE*, 64(1):45–53, 2013. <https://hrcak.srce.hr/clanak/144824>.
- [12] Shaddy Attia. *Net Zero Energy Buildings(NZEB): Concepts, Frameworks and Roadmap for Project Analysis and Implementation*. Butterworth-Heinemann, 2018. ISBN: 978-0128124611.
- [13] Joud Al Dakheel, Claudio Del Pero, Niccolò Aste, and Fabrizio Leonforte. Smart Buildings Features and Key Performance Indicators: A Review. *Science Direct*, 61(1):1–19, 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720305497>.
- [14] Jonathan Reynolds, Yacine Rezgui, Alan Kwan, and Solène Piriou. A zone-level,

- building energy optimization combining an artificial neural network, a genetic algorithm, and model predictive control. *Science Direct*, 151(1):729–739, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421830522X>.
- [15] Jennifer King. Using smart technology to save energy in existing buildings, 2017. <https://www.aceee.org/research-report/a1701>.
- [16] K. C. Divya and Jacob Østergaard. Battery energy storage technology for power systems—an overview. *Science Direct*, 79(4):511–520, 2009. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779608002642>.
- [17] Ziming Zhu, Sangarapillai Lambbotharan, Woon Hau Chin, and Zhong Fan. A game theoretic optimization framework for home demand management incorporating local energy resources. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(2):1–9, 2015. <https://research.amanote.com/publication/qaavAXQBKQvfOBhifqAM/a-game-theoretic-optimization-framework-for-home-demand-management-incorporating-local>.
- [18] Omorogiuwa Eseosa and Folorunsho Isaac Temitope. Review of smart based building management system. 7(2):14–23, 2019. [https://www.researchgate.net/publication/335277231\\_Review\\_of\\_Smart\\_Based\\_Building\\_Management\\_System](https://www.researchgate.net/publication/335277231_Review_of_Smart_Based_Building_Management_System).
- [19] Daniel Minoli, Kazem Sohraby, and Benedict Occhiogrosso. Iot considerations, requirements, and architectures for smart buildings—energy optimization and next-generation building management systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1):1–99, 2017. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7805265>.
- [20] Integrated building management and bms systems explained, 2021. <https://www.i-scoop.eu/building-management-building-management-systems-bms/>.
- [21] United Nations. Adoption of the paris agreement,. *21st Conference of the Parties, Paris*, 2015.
- [22] Khuram Pervez Amber, Muhammad Waqar Aslam, Anzar Mahmood, Anila Kousar, Muhammad Yamin Younis, Bilal Akbar, Ghulam Qadar Chaudhary, and Syed Kashif Hussain. Energy consumption forecasting for university sector buildings. *Bionity - Energies*, 10:1579, 2017. [https://www.researchgate.net/publication/325049290\\_Energy\\_Consumption\\_Forecasting\\_for\\_University\\_Sector\\_Buildings](https://www.researchgate.net/publication/325049290_Energy_Consumption_Forecasting_for_University_Sector_Buildings).
- [23] Elena Papadopoulou. *Energy Management in Buildings Using Photovoltaics (Green Energy and Technology)*. Springer, 2012. ISBN: 978-1447158967.
- [24] Stijn Verbeke, Dorien Aerts, Glenn Reynders, Yixiao Ma, and Paul Waide. Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings, 2020. [https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bed75757-fbb4-11ea-b44f-01aa75ed71a1/language-en?WT.mc\\_id=Searchresult&WT.ria\\_c=37085&WT.ria\\_f=3608&WT.ria\\_ev=search](https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bed75757-fbb4-11ea-b44f-01aa75ed71a1/language-en?WT.mc_id=Searchresult&WT.ria_c=37085&WT.ria_f=3608&WT.ria_ev=search).
- [25] Pedro Frade. V encontro nacional - sistemas de automatização e controlo de edifícios,

- 2021.
- [26] The evolution of the smart building: Past, present and future, 2020. <https://btlnz.co.nz/news/the-evolution-of-the-smart-building/>.
  - [27] APIRAC. *Guia Técnico SACE*, April 2022.
  - [28] A Bathia. HVAC - guide to demand control ventilation, 2012. <https://pdhonline.com/courses/m251/m251content.pdf>.
  - [29] Özgür Küçükhüseyin. CO2 monitoring and indoor air quality, 2020. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/co2-monitoring-and-indoor-air-quality>.
  - [30] Guillaume Ansanay-Alex. Estimating occupancy using indoor carbon dioxide concentrations only in an office building: a method and qualitative assessment. *Research Gate*, 2013. [https://www.researchgate.net/publication/255739151\\_Estimating\\_Occupancy\\_Using\\_Indoor\\_Carbon\\_Dioxide\\_Concentrations\\_Only\\_in\\_an\\_Office\\_Building\\_a\\_Method\\_and\\_Qualitative\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/255739151_Estimating_Occupancy_Using_Indoor_Carbon_Dioxide_Concentrations_Only_in_an_Office_Building_a_Method_and_Qualitative_Assessment).
  - [31] Ebenezer Hailemariam, Rhys Goldstein, Ramtin Attar, and Azam Khan. Real-time occupancy detection using decision trees with multiple sensor types. *Research Gate*, 8(1):141–148, 2011. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2048536.2048555>.
  - [32] Rui Zhang, Poh Khee, Khee Poh Lam, Yun-Shang Chiou, and Bing Dong. Information-theoretic environment features selection for occupancy detection in open office spaces. *Build Simul*, 5(1):179–188, 2012. [https://www.researchgate.net/publication/228119446\\_Information-theoretic\\_environment\\_features\\_selection\\_for\\_occupancy\\_detection\\_in\\_open\\_office\\_spaces](https://www.researchgate.net/publication/228119446_Information-theoretic_environment_features_selection_for_occupancy_detection_in_open_office_spaces).
  - [33] Khee Poh Lam, Michael Hoeyneck, Bing Dong, Burton Andrews, Yun-Shang Chiou, Rui Zhang, Diego Benitez, and Joon-Ho Choi. Occupancy detection through an extensive environmental sensor network in an open-plan office building. *Paper presented at 11th International IBPSA Conference - Building Simulation*, pages 1452–1459, 2009. <https://experts.syr.edu/en/publications/occupancy-detection-through-an-extensive-environmental-sensor-net>.
  - [34] Chenda Liao and Prabir Barooah. An integrated approach to occupancy modeling and estimation in commercial buildings. *IEEE Conferences*, pages 3130–3135, 2010. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5531035>.
  - [35] Stanley A. Mumma. Transient occupancy ventilation by monitoring co2. 2004. <https://www.semanticscholar.org/paper/Transient-Occupancy-Ventilation-By-Monitoring-CO-2-Mumma/b466c52d0fad144cccbeaffd09c29759f5bde740>.
  - [36] Zheng Yang, Nan Li, Burcin Becerik-Gerber, and Michael Orosz. A multi-sensor based occupancy estimation model for supporting demand driven hvac operations. *Society for Computer Simulation International*, (2):1–8, 2012. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2339453.2339455>.
  - [37] Saman Taheri and Ali Razban. Learning-based co2 concentration prediction: Appli-

- cation to indoor air quality control using demand-controlled ventilation. *Building and Environment*, 205(2), 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132321005655>.
- [38] Johanna Kallio, Jaakko Tervonen, Pauli Räsänen, Riku Mäkynen, Jani Koivusaari, and Johannes Peltola. Forecasting office indoor co2 concentration using machine learning with a one-year dataset. *Building and Environment*, 187, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107409>.
- [39] Jiaming Li, Josh Wall, and Glenn Platt. Indoor air quality control of hvac system. *Proceedings of the 2010 International Conference on Modelling, Identification and Control*, pages 756–761, 2010. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5553469/authors>.
- [40] Schneider Electric. Ecostruxure building operation (versão 3.2), 2019. <https://www.se.com/ww/en/product-range/62111-ecostruxure-building-operation/12661181882-software/?N=3507619511#overview>.
- [41] Schneider Electric. *TAC Menta-Technical Manual*. TAC AB, Malmö, Sweden, 2008.
- [42] Schneider Electric. *SmartX AS-P Server*. EcoStruxure Building, April 2019.
- [43] Schneider Electric. *I/O Module UI-16*. Automation Server Family, July 2013.
- [44] Thermokon-Home of Sensor Technology. *LK+ CO2+VOC*. Thermokon Sensortechnik GmbH, August 2020.



# Apêndice A

## Planta Piso -2

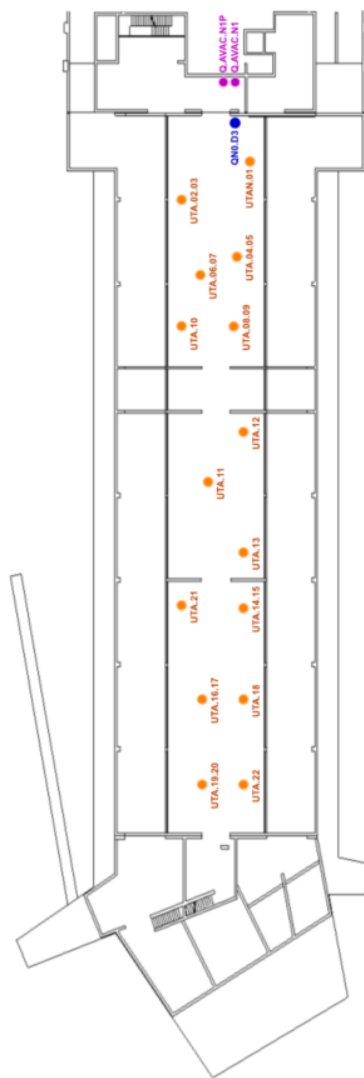


Figura A.1: Planta Piso -2 [40] .

# Apêndice B

## Planta Piso -1

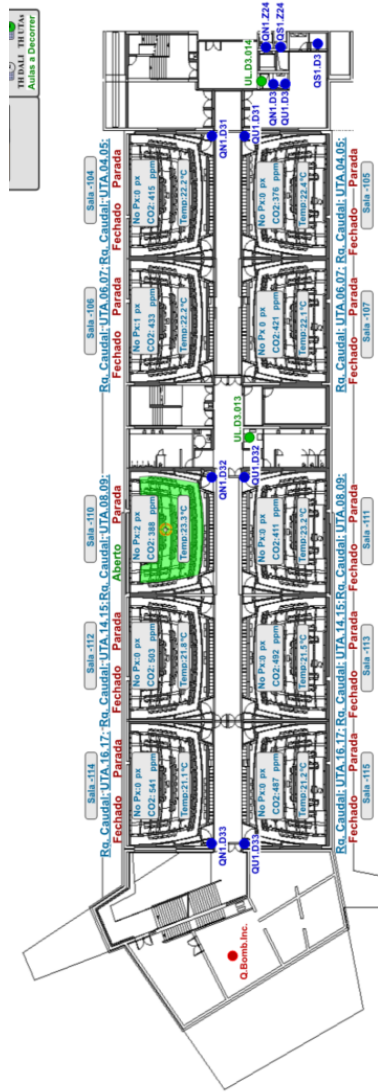


Figura B.1: Planta Piso -1 [40] .

# Apêndice C

## Planta Piso 0



Figura C.1: Planta Piso 0 [40] .

# Apêndice D

## Planta Piso 1



Figura D.1: Planta Piso 1 [40] .

# Apêndice E

## Planta Piso 2



Figura E.1: Planta Piso 2 [40] .

## Apêndice F

### Salas e devidas UTAs

|           | Piso -1   | Piso 0   | Piso 1   |
|-----------|-----------|----------|----------|
| UTA_02_03 |           | Sala 002 |          |
|           |           | Sala 003 |          |
|           |           | Sala 004 |          |
|           |           | Sala 005 |          |
| UTA_04_05 | Sala -104 |          |          |
|           | Sala -105 |          |          |
| UTA_06_07 | Sala -106 |          |          |
|           | Sala -107 |          |          |
| UTA_08_09 | Sala -110 |          |          |
|           | Sala -111 |          |          |
| UTA_10    |           | Sala 007 |          |
| UTA_11    |           |          | Sala 129 |
|           |           |          | Sala 131 |
|           |           |          | Sala 133 |
| UTA_12    |           |          | Sala 130 |
|           |           |          | Sala 132 |
|           |           |          | Sala 134 |
| UTA_13    | Sala 008  |          |          |
| UTA_14_15 | Sala -112 |          |          |
|           | Sala -113 |          |          |
| UTA_16_17 | Sala -114 |          |          |
|           | Sala -115 |          |          |
| UTA_18    |           | Sala 010 |          |
|           |           | Sala 012 |          |
| UTA_19_20 |           |          | Sala 135 |
|           |           |          | Sala 136 |
|           |           |          | Sala 137 |
|           |           |          | Sala 138 |
| UTA_21    |           | Sala 009 |          |
|           |           | Sala 011 |          |
| UTA_22    |           |          | Sala 139 |

Figura F.1: Salas e devidas UTAs [40] .

## Apêndice G

# Anfiteatro



Figura G.1: Anfiteatro .

## Apêndice H

### Sala de aula



Figura H.1: Sala de aula .



## Apêndice I

# Unidades de Controlo local

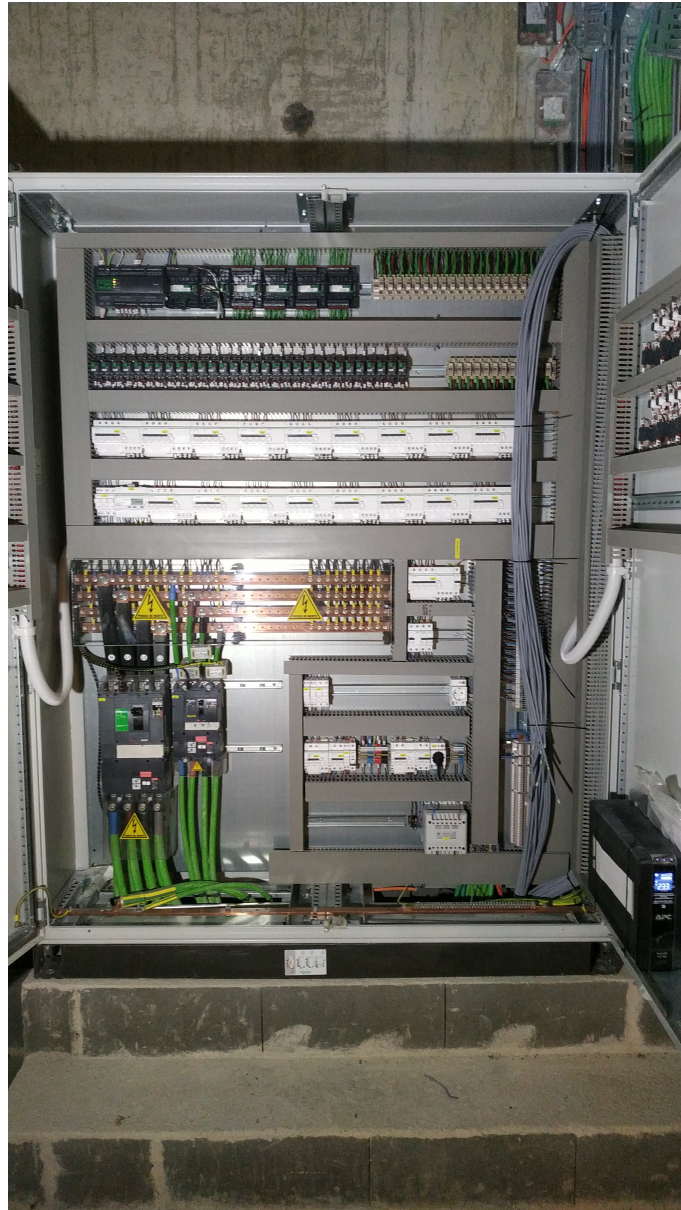


Figura I.1: Quadros de Gestão Técnica (Unidades de Controlo local) .

## Apêndice J

# *SmartX Automation Server AS-P* da Schneider Electric



Figura J.1: *SmartX Automation Server AS-P* da Schneider Electric.

## Apêndice K

# UI-16 da Schneider Electric



Figura K.1: Módulos UI-16 da Schneider Electric.

## Apêndice L

### LK+CO2 V da Thermokon



Figura L.1: Sonda LK+CO2 V da Thermokon.

# Apêndice M

## Outros sinais relevantes para o funcionamento do sistema

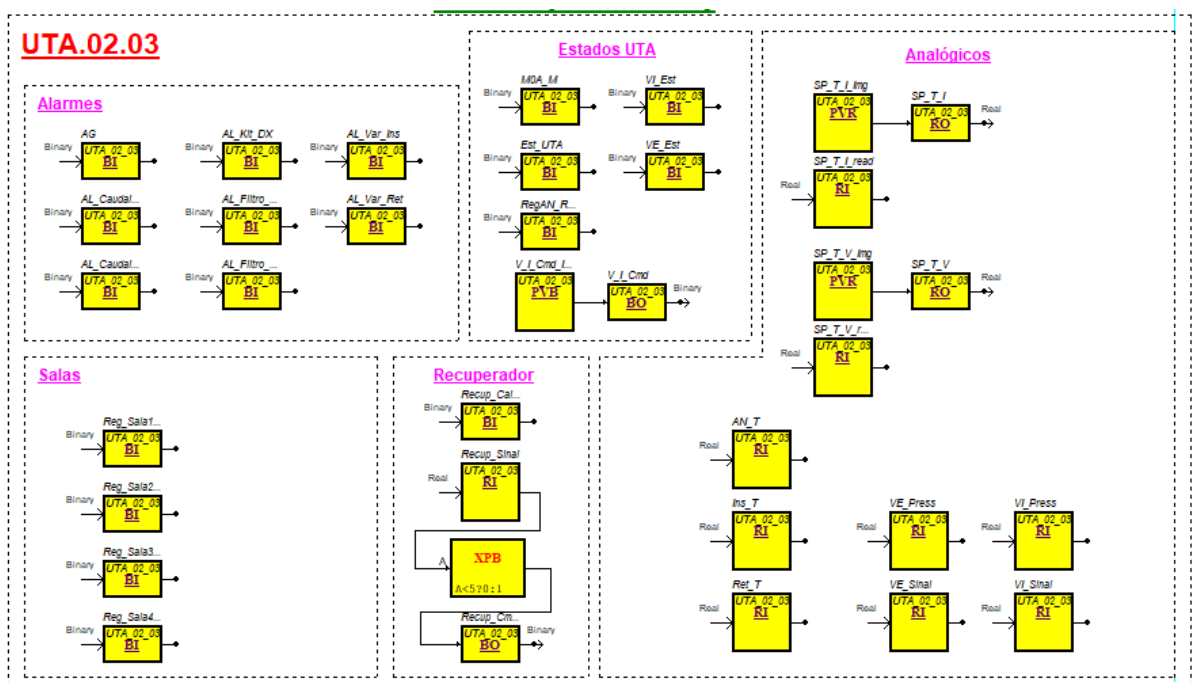


Figura M.1: Outros sinais relevantes para o funcionamento do sistema.

## Apêndice N

### Gráficos CO2 UTA\_11 e UTA\_14\_15

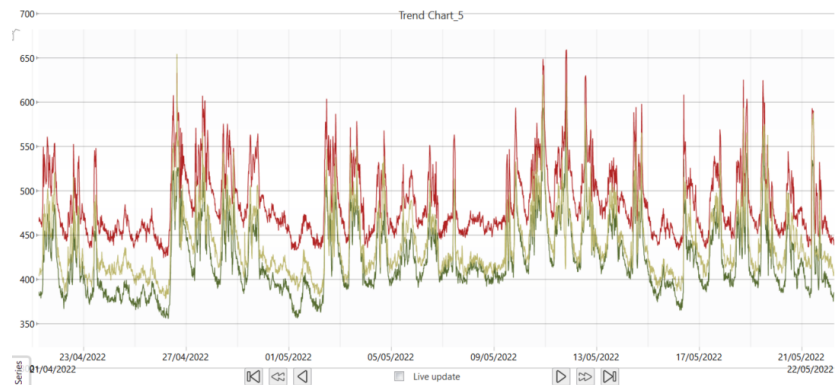


Figura N.1: Concentrações de CO2 na UTA\_11 desde o dia 21 de março até ao dia 22 de maio .

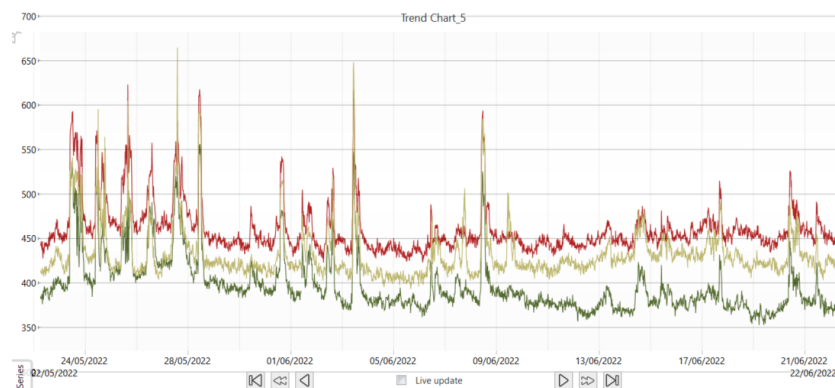


Figura N.2: Concentrações de CO2 na UTA\_11 desde o dia 22 de maio até ao dia 22 de junho .

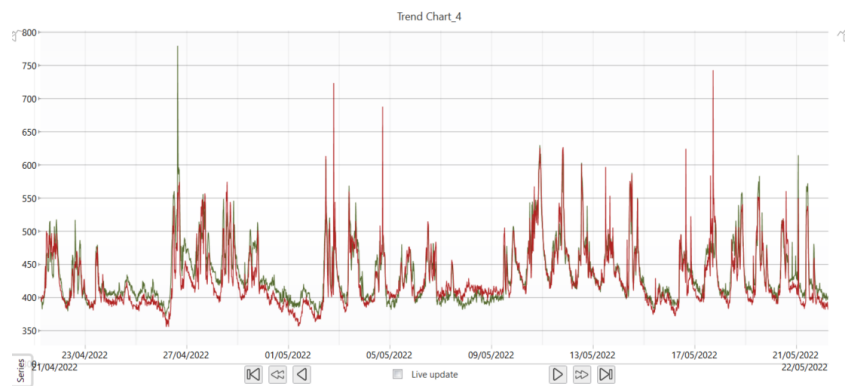


Figura N.3: Concentrações de CO2 na UTA\_14.15 desde o dia 21 de março até ao dia 22 de maio .

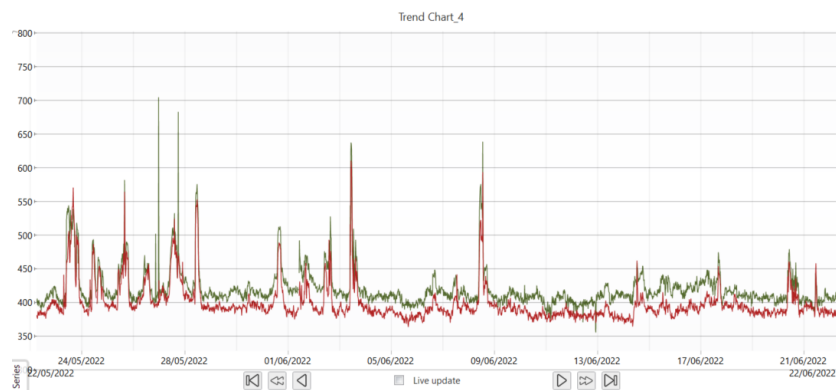


Figura N.4: Concentrações de CO2 na UTA\_14.15 desde o dia 22 de maio até ao dia 22 de junho .

## Apêndice O

# Gráficos Temperatura UTA\_04\_05

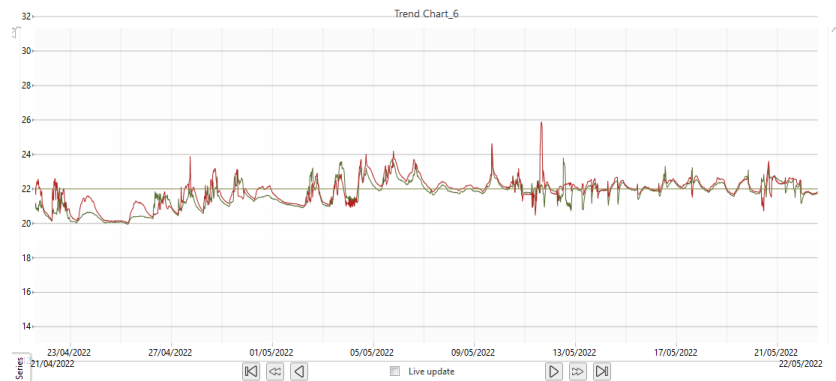


Figura O.1: Temperaturas na UTA\_04\_05 desde o dia 21 de março até ao dia 22 de maio .

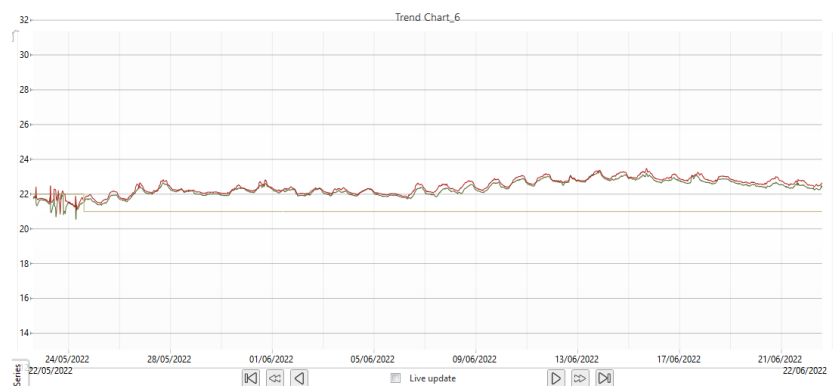


Figura O.2: Temperaturas na UTA\_04\_05 desde o dia 22 de maio até ao dia 22 de junho .



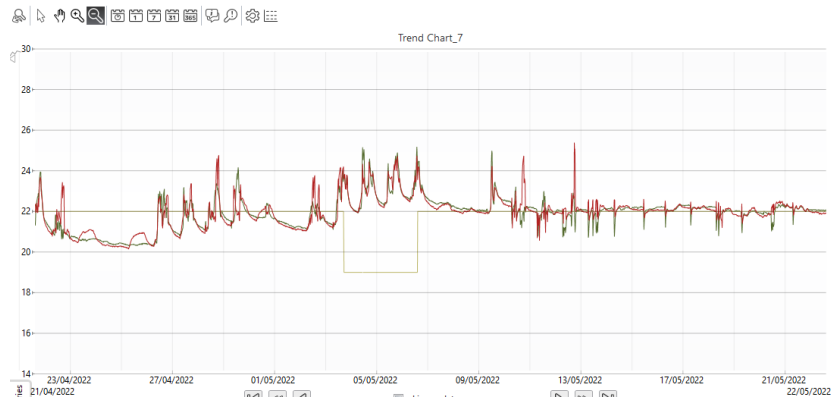


Figura O.3: Temperaturas na UTA\_04\_05 desde o dia 21 de março até ao dia 22 de maio .

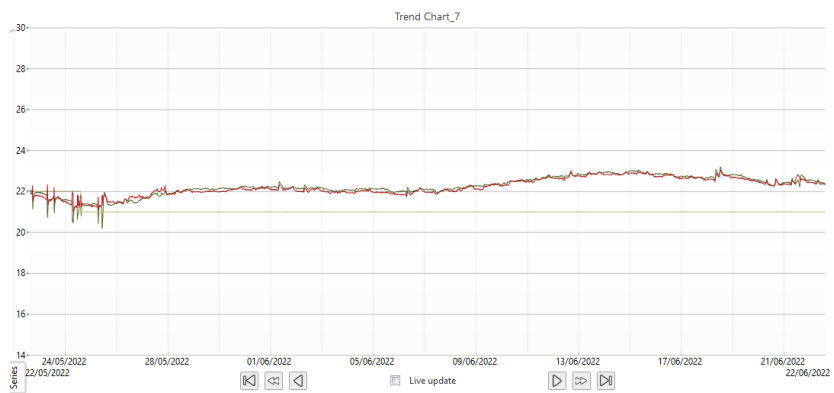


Figura O.4: Temperaturas na UTA\_04\_05 desde o dia 24 de maio até ao dia 24 de junho .