



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Gabriel Meireles Vieira

**CARACTERIZAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UM
SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DE UMA CÂMARA
CLIMÁTICA**

**Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica,
na Especialidade de Energia e Ambiente,
orientada pelo Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
e pelo Professor Doutor Marco Alexandre dos Santos Fernandes,
apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica
da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra**

Abril de 2021

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Caracterização e otimização de um sistema de climatização de uma câmara climática

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Characterization and optimization of the HVAC system of a climatic chamber

Autor

Gabriel Meireles Vieira

Orientadores

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Professor Doutor Marco Alexandre dos Santos Fernandes

Júri

Presidente

Professor Doutor José Joaquim da Costa
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professor Doutor Avelino Virgílio Fernandes Monteiro de Oliveira
Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, abril, 2021

“Success is not final, failure is not fatal: it is the courage to continue that counts.”

Winston Churchill.

Aos meus pais.

Agradecimentos

Gostaria de dedicar este capítulo a todas as pessoas que permitiram e contribuíram para chegar onde estou.

Desde mais quero agradecer ao Professor Dr. Adélio Gaspar e ao Professor Dr. Marco Fernandes por me terem acolhido depois do meu estágio curricular ter sido cancelado, devido à situação pandémica, e claro, por todo conhecimento e tempo despendido para me ajudarem a terminar a dissertação.

Um especial agradecimento aos meus pais por todo o carinho, atenção e sabedoria que me deram. Por terem feito tudo ao seu alcance para que fosse feliz e livre de tomar as minhas decisões. E por toda a paciência que a minha mãe teve para que eu terminasse o curso.

Um grande beijo aos meus avós, Arminda, Guida, Tuka e tia-avó Nini por todo o mimo e lições de vida que me transmitiram durante estes anos.

Quero dedicar um grande chi-coração à Inês que é sem dúvida, para mim, das pessoas mais importantes. Um obrigado por todo o amor e apoio que me deste, por tudo o que me ensinaste e por tudo o que já passamos.

Um grande abraço a todos os fratellini de 234, que estão presentes onde quer que esteja.

Um brinde ao 49 e a todos os que começaram colegas e ficaram amigos para a vida.

Aos meus colegas António e Filipe com quem partilhei esta luta, e sempre se disponibilizaram para me ajudarem.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica e todos os seus professores, funcionários e estudantes um obrigado por esta experiência. Quero também agradecer à ADAI pela oportunidade do tema e pelas condições laboratoriais disponibilizadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

E por último um brinde à cidade de Coimbra, que durante estes anos foi o palco desta aventura!

Funding: The work was funded by ASHRAE 2020-2021 ASHRAE Undergraduate Program Equipment Grant, under the framework of the project “Humidifier and dehumidifier systems for a renovated full-scale environmental chamber”.

Resumo

Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) vieram revolucionar o conforto térmico e mudar o panorama de como vivemos as nossas vidas. Este conjunto de equipamentos garante o controlo de humidade, temperatura e caudal de ar de acordo com as nossas necessidades, para as mais diversas aplicações.

Foi neste seguimento que na década de 1990 a Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI), em conjunto com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), procedeu à construção de uma câmara climática (CC) para o estudo de diferentes ambientes térmicos. A CC é alimentada por três grupos de tratamento de ar (GTA), um grupo frigorífico constituído por três chillers, um humidificador e um desumidificador. A função atual da CC é receber atletas de alta competição, para que estes possam exercitar em condições extremas de humidade e temperatura. Desta maneira podemos simular climas extremos e estudar o efeito destes no ser humano.

Apesar do sistema de AVAC da CC ter os equipamentos instalados, parte dele estava degradado e/ou não estava a ser usado, e assim surgiu a necessidade da atualização do hardware do sistema. No decorrer deste trabalho, foi realizada a reativação do GTA III, que englobou a substituição de seis filtros e de uma bomba de circulação, assim como a integração do humidificador no circuito do GTA I. Foram também desenvolvidas ferramentas para facilitar a compreensão e utilização do sistema de AVAC. Foi criado um manual de operação, que auxilia a ativação e operação do sistema de climatização. Recorreu-se ao software Manwinwin para criar uma base de dados com todos equipamentos do sistema de AVAC e foi criado um plano de gestão de manutenção do mesmo. Foram ainda usadas as aplicações IFC Builder e Easy Duct para criar um modelo 3D da CC e da sua rede aeráulica. Além do mais, foi ainda utilizado o software AutoCAD para criar um esquema de princípio com a CC e os repetivos equipamentos do sistema de AVAC.

Com a reativação do GTA III, o sistema de AVAC passa a ter a possibilidade de insuflar ar novo, de modo a impedir concentrações elevadas de CO_2 . O sistema passa também a ter a capacidade de desumidificar o ar a insuflar. A instalação de um distribuidor de vapor permite ao sistema melhorar o processo de humificação.

O trabalho desenvolvido vai facilitar, aos próximos utilizadores, não só aprendizagem, mas também aprofundar o conhecimento da simbiose entre a CC e o respetivo sistema AVAC.

Palavras-chave: AVAC; Câmara Climática; Unidade de Tratamento de Ar; Manutenção

Abstract

Heating, ventilating and air conditioning revolutionized the concept of thermal comfort and changed the way we live our lives. This set of equipment guarantees the control of humidity, temperature, and ventilation in several applications according to the needs.

In this context, in 1990 the Association of Industrial Aerodynamics Development in tandem with Faculty of Science and Technology of University of Coimbra, built a climatic chamber to study different thermal environments. This climatic chamber is supplied by three air handler units (AHU), one humidifier, one dehumidifier and three chillers. The chamber, currently, simulates extreme conditions of humidity and temperature, for acclimation of high performance athletes'. In order to collect data, to evaluate the impact on the human body.

The HVAC system which supplies the climatic chamber, has some of its equipment degraded or not operating at all. Therefore, the need to update the hardware arose. During this thesis, AHU III was reactivated which consisted in the replacement of six air filters and one water pump, along with the humidifier incorporation in the AHU I circuit.

Moreover, various tools were developed to simplify the comprehension and utilization of the HVAC system. An operation manual was developed, to guide the users throughout the activation and operation of the climatization system. Manwinwin software was used, in order to create a data base with all of the equipment integrated in the HVAC system and also a management plant for each equipment. Furthermore, IFC Builder and Easy Duct applications were used to design a 3D model of the climatic chamber and its duct network. AutoCAD software was also used to create a scheme of the chamber and its HVAC system equipment.

Regarding the AHU III reactivation, the HVAC system has the possibility of supplying fresh air, therefor decreasing high concentrations of CO_2 . This reactivation also allows the system to dehumidify the air supply. The installation of the steam distributor will increase the efficiency in the humidification process. The present work allows future users not only to comprehend better the symbiosis between the climatic chamber and its HVAC system but also to deepen the knowledge of it.

Keywords: HVAC, Climatic chamber, Air handling unit, Maintenance.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas.....	ix
Siglas	xi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	5
2.1. Sistemas de AVAC.....	5
2.1.1. Visão Geral.....	5
2.1.2. Unidades de Tratamento de Ar.....	7
2.1.3. Desumidificador	16
2.1.4. <i>Chillers</i>	18
2.1.5. Bombas de circulação.....	20
2.1.6. Circuitos hidráulicos e aeráulicos	21
2.2. Software de modelação 3D.....	21
2.3. Gestão de manutenção	22
3. Caso de Estudo	23
3.1. Câmara climática	23
3.2. Caracterização dos Grupos de Tratamento de Ar.....	26
3.2.1. Unidades de recirculação de ar.....	26
3.2.2. Unidade de tratamento de ar com insuflação de ar novo (GTA III)	28
3.2.3. Desumidificador rotativo ML420 Munters	29
3.2.4. Humidificador a vapor Nordmann AT4 1534 400V3	32
3.2.5. <i>Chillers</i> Daikin EUWA5GW1.....	34
4. Trabalho realizado.....	37
4.1. Esquema de princípio	37
4.2. Manual de operação.....	39
4.3. Reativação do GTA III	40
4.3.1. Instalação da bomba de circulação.....	42
4.3.2. Substituição dos filtros	45
4.4. Instalação do distribuidor de vapor	47
4.5. Software de modelação 3D.....	50
4.6. Software de manutenção.....	58
5. Conclusão	63
Referências Bibliográficas	65
Anexo A	67
Apêndice A.....	73

Corte geral	75
Câmara climática	76
Grupo de Tratamento de Ar I	77
Grupo de Tratamento de Ar II	78
Grupo de Tratamento de Ar III.....	79
Grupos frigoríficos	81
Humidificador e desumidificador.....	82
LabVIEW.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Unidade de split. Extraído de daikin.com.....	7
Figura 2.2 Unidade de tratamento de ar. Adaptado de electrical-knowhow.com	8
Figura 2.3 Ventilador centrífugo com motor elétrico acoplado	11
Figura 2.4 Resistências de aquecimento da UTA.	13
Figura 2.5 Baterias de arrefecimento da UTA.	14
Figura 2.6 Processo de humidificação adiabática vs. isotérmica. Extraído de (ASHRAE, 2016).	15
Figura 2.7 Atenuador de ruído. Extraído de luftmaxi.com.br	16
Figura 2.8 Roda entálpica. Extraído de puresci.com.....	17
Figura 2.9 Ciclo ideal de um ciclo de refrigeração num gráfico pressão-entalpia.....	19
Figura 2.10 Bombas de circulação. Extraído de buildinggreen.com	20
Figura 2.11 Conduitas de ar. Extraído de lakesideac.com	21
Figura 3.1 Sala de controlo da CC.	23
Figura 3.2 Sala principal da CC.	24
Figura 3.3 Esquema com CC e respetivos equipamentos.	25
Figura 3.4 Esquema do sistema aeráulico e dos GTA associados na CC.	26
Figura 3.5 Esquema dos GTA I e GTA II.	27
Figura 3.6 Esquema do GTA III.....	28
Figura 3.7 Esquema de funcionamento do desumidificador Munters ML420. Extraído de munters.com.....	29
Figura 3.8 Desumidificador Munters 420ML. Extraído de munters.com.....	29
Figura 3.9 Ilustração do funcionamento da roda dessecante. Extraído de munters.com	31
Figura 3.10 Humidificador Nordamann AT4.....	32
Figura 3.11 Lista de equipamentos do sistema de humidificação. Extraído de nordmann.com.....	33
Figura 3.12 Chiller Daikin EUWA5GW1.....	35
Figura 4.1 Esquema de princípio do sistema AVAC.	38
Figura 4.2 Quadro elétrico do sistema de AVAC.	40
Figura 4.3 UTAN / GTAIII.	41
Figura 4.4 Encaixe antiga da bomba de circulação do GTA III.	42

Figura 4.5 Bomba de circulação proveniente do GTA IV, encaixe da bomba novo e encaixe de bomba substituído.....	44
Figura 4.6 Bomba de circulação nova instalada.	45
Figura 4.7 Pré-filtro danificado do GTA III.	46
Figura 4.8 Filtro de bolsa danificado.....	46
Figura 4.10 Filtro de bolsa.....	47
Figura 4.9 Pré-filtro.	47
Figura 4.11 Distribuidor de vapor DV71-500. Extraído de nordmann.com.....	48
Figura 4.12 Esquema de princípio do DV71-500. Extraído de nordmann.com.	48
Figura 4.13 Ligação entre humidificador e conduta de insuflação do GTA I. (1 – saída da mangueira do desumidificador; 2 – Entrada da mangueira na conduta de insuflação do GTA I).....	49
Figura 4.14 CC e respetivo sistema de AVAC.....	50
Figura 4.15 Modelo 3D da CC realizado no IFC Builder.	51
Figura 4.16 Modelo 3D da CC com fachada oculta, realizado no IFC Builder.	52
Figura 4.17 Grelhas de insuflação na sala principal da CC.....	53
Figura 4.18 Difusores de insuflação na sala de controlo da CC.....	54
Figura 4.19 Condutas de insuflação da GTA I e GTA II, e conduta de extração do GTA III.	55
Figura 4.20 Condutas de recirculação do GTA I e GTA II.	56
Figura 4.21 Condutas de insuflação e extração do GTA III.....	57
Figura 4.22 Ficha de identificação do pré-filtro do GTA III.....	59
Figura 4.23 Ficha de características do pré-filtro.....	60
Figura 4.24 Ficha de manutenção planeada da UTA III.....	61
Figura A. 1 Diagrama de medidas do desumidificador Munters 420ML.....	69
Figura A. 2 Ficha técnica do desumidificador Munters 420ML.	70
Figura A. 3 Ficha técnica humidificador Nordmann AT4.....	71
Figura A. 4 Curva de performance relativa à bomba de circulação Grundfos UPS 32-30	72
Figura AP. 1 Quadro elétrico do sistema de AVAC.	75
Figura AP. 2 Interruptor do corte geral.	76
Figura AP. 3 Disjuntores respetivos à CC.....	76
Figura AP. 4 Disjuntor das placas de aquisição e envio.....	77
Figura AP. 5 Disjuntores do GTA I.....	77

Figura AP. 6 Interruptores do GTA I.	78
Figura AP. 7 Disjuntores do GTA II.	78
Figura AP. 8 Disjuntores do GTA II.	79
Figura AP. 9 Interruptores do GTA II.	79
Figura AP. 10 Disjuntores do GTA III, humidificador e desumidificador.	80
Figura AP. 11 Disjuntores do GTA III.	80
Figura AP. 12 Interruptores do GTA III.	81
Figura AP. 13 Disjuntores do grupo frigorífico.	81
Figura AP. 14 Interruptores do grupo frigorífico.	82
Figura AP. 15 Painel de ativação e controlo do humidificador.	83
Figura AP. 16 Painel de ativação do desumidificador.	84
Figura AP. 17 Display de controlo do sistema AVAC no LabVIEW.	85

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Tabela de classificação dos filtros	10
Tabela 3.1. Tabela de caudal e pressão estática do desumidificador Munters 420ML.	30
Tabela 3.2. Tabela com características gerais do desumidificador Munters 420ML.	30
Tabela 3.3. Tabela com características gerais do humidificador Nordamnn AT4.	34

SIGLAS

AC – Ar condicionado

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

CC – Câmara climática

CMMS – Computerized Maintenance Management System

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

GTA – Grupo de Tratamento de Ar

LAI – Laboratório de Aerodinâmica Industrial

MERV – Minimum Efficiency Reporting Value

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

UV – Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Desde sempre que o ser humano procura melhorar o seu conforto térmico, quer seja através do vestuário ou através da construção de abrigos. A evolução exponencial da tecnologia, nesta última década, veio permitir não só a construção de edifícios mais eficientes a nível energético, mas também o desenvolvimento de equipamentos que permitem a regulação das condições climáticas de uma infraestrutura, com o intuito de melhorar a qualidade de vida dos ocupantes desse mesmo espaço. No entanto, tais equipamentos de climatização não têm apenas o propósito de controlar a temperatura e humidade para o conforto do humano. Estes podem servir para criar condições climáticas extremas, como, por exemplo, uma câmara frigorífica para armazenar o stock de carne num talho, ou uma estufa capaz de simular condições climatéricas bastante díspares do clima local.

É nesta vertente que entra a Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial (ADAI) em conjunto com o Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC). No Laboratório de Aerodinâmica Industrial da ADAI foi instalada uma câmara climática (CC) com o suporte de 4 grupos de tratamento de ar (GTA), com o objetivo de estudar diferentes ambientes térmicos e os seus efeitos no ser humano. Nos últimos anos, a CC começou a ser utilizada com o intuito de realizar testes de aclimatização a atletas de alta competição. Neste caso, os GTA, em vez de climatizarem a CC para melhorar o conforto dos atletas, fazem o oposto e simulam condições climáticas extremas para que seja possível estudar o impacto que essas mesmas condições têm nos atletas. Os GTA têm a capacidade para regular a temperatura ($-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$), a humidade relativa (20% a 90%) e o caudal de ar ($0\text{ m}^3/\text{h}$ a $4200\text{ m}^3/\text{h}$) insuflado na CC.

O avanço rápido da tecnologia fez com que a câmara climática e os seus respetivos equipamentos de climatização, instalados na década de 1990, estejam desatualizados. Não foi só o hardware que ficou desatualizado, o software também caiu em

desuso e já não é compatível com os sistemas operativos utilizados atualmente. Além disso, quando se iniciou a presente dissertação, dos quatro GTA apenas os GTA I e GTA II estavam em funcionamento. Assim, surge a necessidade do melhoramento e atualização dos equipamentos físicos e digitais que suportam a climatização da CC.

1.2. Objetivos

Com esta dissertação pretende-se a fazer a caracterização detalhada de todos os equipamentos pertencentes ao sistema de AVAC da câmara climática. Como já foi referido, parte do hardware está desatualizado e nesse seguimento foi necessário planear a reparação/reativação de parte dos equipamentos do sistema de AVAC.

O objetivo principal da otimização é a reativação da Unidade de Tratamento de Ar Novo (GTA III) que, apesar de já estar instalada no local, não está em funcionamento. O sistema atual conta apenas com o GTA I e o GTA II que fazem a recirculação, tratamento e climatização do ar na câmara climática. Ao adicionar o GTA III é possível a insuflação de ar novo no circuito e conseqüentemente diminuir a concentração de CO_2 na câmara climática, que por sua vez melhora significativamente a qualidade do ar interior. Relativamente ao GTA I, também foi necessário a atualização do hardware de modo a que fosse possível explorar todo o seu potencial.

Foram ainda propostos alguns objetivos com o intuito de facilitar a compreensão e utilização do sistema de AVAC. O primeiro objetivo proposto foi a criação de um manual de operação que explicita detalhadamente todos os passos necessários para fazer o arranque do sistema e o seu controlo. Assim, há a possibilidade de qualquer utilizador conseguir utilizar todas as funcionalidades do sistema. De seguida, foi proposta a elaboração de um esquema de princípio detalhado do sistema de AVAC, uma vez que os existentes se encontravam desatualizados. Ainda no âmbito de facilitar a visualização do sistema, foi também proposta a criação de uma representação 3D da CC e do seu sistema de AVAC. Estas representações visuais são essenciais à compreensão total, uma vez que no local onde os equipamentos estão instalados a perceção de muitos pormenores não é clara. Por último, de modo a fazer um planeamento detalhado para a manutenção de todos os equipamentos presentes no sistema climático, foi proposta a utilização de um software próprio para o efeito.

1.3. Estrutura

A dissertação apresentada está dividida em cinco capítulos.

O primeiro capítulo é de carácter introdutório e é feito o enquadramento dos problemas abordados neste trabalho, assim como os objetivos propostos.

O segundo capítulo é de carácter bibliográfico e é realizada uma introdução aos sistemas de AVAC e ao tipo de equipamentos que o constituem. É ainda feita uma descrição sobre como cada um opera.

No terceiro é apresentado o caso de estudo abordado na dissertação. Este capítulo explora a situação em que se encontrava o sistema, prévia às melhorias efetuadas. São apresentadas as características da CC e dos respetivos equipamentos que a climatizam. É também explicado o funcionamento da câmara climática.

O quarto capítulo é dedicado ao trabalho realizado para otimizar o sistema de AVAC que alimenta a CC, assim como o trabalho feito com o objetivo de facilitar a interação e sua compreensão.

Por último, o quinto capítulo reúne as principais conclusões decorrentes da realização do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para climatizar um espaço é necessário que haja trocas de calor e de humidade. Os equipamentos de climatização forçam estas trocas, entre o local que se pretende climatizar e o exterior, quer seja retirar o calor de um dado espaço para o arrefecer, quer seja aquecer o ar insuflado para que este transporte a energia térmica até ao espaço de modo a aquecê-lo. O mesmo acontece com a humidade, esta pode ser adicionada ou retirada de um dado espaço consoante a necessidade de humidificação ou de desumidificação, respetivamente.

2.1. Sistemas de AVAC

2.1.1. Visão Geral

A tecnologia de AVAC, ou Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado, surgiu com o objetivo de climatizar e fazer o tratamento devido do ar em espaços interiores. Tal é possível através de princípios não só de mecânica dos fluidos, mas também de termodinâmica.

Os sistemas de AVAC desempenham um papel fundamental na construção de edifícios, desde um apartamento até um arranha-céus, escolas ou hospitais. Qualquer uma destas estruturas tem por lei a obrigação de prover as condições necessárias de qualidade de ar para que possa ser ocupado. Este equipamento é de tal forma imprescindível que até o integramos nos veículos de dia a dia como automóveis, comboios e aviões.

Para a realização do aquecimento, os equipamentos mais usuais são bombas de calor, caldeiras, resistências elétricas e até recuperadores de calor. Estes equipamentos podem usar diferentes tipos de combustíveis como gasolina, gás natural, pellets ou eletricidade. A transferência do calor é feita por água/refrigerante, quer seja em estado líquida quer seja em estado de vapor, ou feita através do ar. No primeiro caso, a água aquecida é transportada por tubos até equipamentos como um radiador ou piso radiante, aquecendo consecutivamente o ar envolvente. No caso de o calor ser transportado pelo ar, são usadas condutas para a circulação e insuflação nos espaços que necessitam de um

aumento de temperatura. Os tipos de transferência de energia na forma de calor são a convecção, condução e radiação.

A ventilação tem como objetivo a introdução e/ou extracção do ar num dado espaço para regulação da temperatura, retirar humidade, odores, fumo, bactérias, dióxido de carbono ou outro tipo de contaminante. Outro objetivo igualmente importante é a renovação do ar, através da insuflação de ar fresco para substituição do ar removido. Existem duas maneiras que possibilitam este processo: a ventilação natural e a ventilação mecânica (ASHRAE Handbook, 2005).

Para finalizar, o ar condicionado (AC) tem o objetivo de remover o ar quente, de um dado espaço, assim como a sua humidade. Deste modo, o AC possibilita aos ocupantes uma atmosfera no espaço climatizado mais confortável e adequada às suas necessidades. Atualmente a utilização do AC é bastante comum, pode ser usado para uso doméstico, como por exemplo arrefecer uma casa durante o verão, ou para uso comercial, como por exemplo, desumidificar um centro comercial com lotação máxima ou até para arrefecer uma sala com equipamentos eletrónicos com elevada libertação de calor (ASHRAE Handbook, 2005).

Os AC mais tradicionais operam com base num ciclo de compressão de vapor. O conceito de ciclo de vapor comprimido é aprofundado mais à frente no subcapítulo 2.1.4. Muitos ACs têm a opção de funcionar com bombas de calor ao reverter o processo anteriormente descrito.

O equipamento mais comum para uso doméstico são os split-systems, estes podem ser mini split system ou central split system. Split system baseia-se no princípio do ciclo de vapor comprimido, com a peculiaridade do evaporador se encontrar no interior das zonas que se pretende climatizar, e o condensador está localizado no exterior. O evaporador faz as trocas de calor com o ar do espaço a climatizar e o condensador faz as trocas de calor com o ar exterior. Na Figura 2.1 ilustra uma unidade split.



Figura 2.1 Unidade de split. Extraído de daikin.com

Para realizar a climatização de espaços maiores, em vez de split systems, usa-se, por exemplo, unidades de tratamento de ar (UTA). As UTAs normalmente integram um circuito de água. Esta água é arrefecida em chillers e é transportada até aos permutadores de calor das UTAs, que por sua vez arrefecem o ar que circula nestas.

2.1.2. Unidades de Tratamento de Ar

Uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) consiste numa caixa metálica de grandes dimensões constituída por vários módulos, que em conjunto formam um equipamento de aquecimento, ventilação e ar condicionado. A UTA tem como objetivo a recirculação, o acondicionamento e a possível insuflação de ar fresco exterior até à zona que se pretende climatizar. A circulação do ar é feita através de um circuito de condutas. Com o objetivo de garantir qualidade do ar no interior dos espaços, todo o ar de exaustão é extraído para fora do circuito (*Grundfos*, n.d.).

Enquanto uma UTA faz o tratamento da qualidade e climatização de ar recirculado, e em alguns casos a mistura de ar recirculado com ar exterior, há outro tipo de unidades de tratamento de ar, como a Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) que trata e climatiza exclusivamente o ar novo.

Para que seja possível o tratamento e climatização do ar as UTA genericamente são providas dos seguintes módulos:

- Módulo de entrada de ar novo
- Módulo de mistura de caudais (se ocorrer mistura com ar novo)
- Módulo de pré-filtragem (com eficiência mínima de F5)
- Módulo de arrefecimento (com tabuleiro de aço inox e sifão para que seja possível a desinfeção devida dos condensados)
- Módulo de aquecimento (pode ser resistivo ou com circuito fechado de água aquecida por exemplo por uma bomba de calor)
- Módulo de humidificação (pode ser evaporativo, vaporizado, spray ou ultrasónico; é ainda necessário um tabuleiro de inox e sifão para que seja possível a desinfeção devida dos condensados)
- Módulo de ventilação
- Atenuador de ruído
- Módulo de filtragem (com eficiência mínima de F7 a F9)

As UTA devem ser instaladas em piso técnicos, que consistem em pisos com soluções construtivas específicas para possibilitar a manutenção necessária ao equipamento (UIE/ACSS, 2008). A Figura 2.2 representa uma UTA com alguns dos módulos acima referidos.

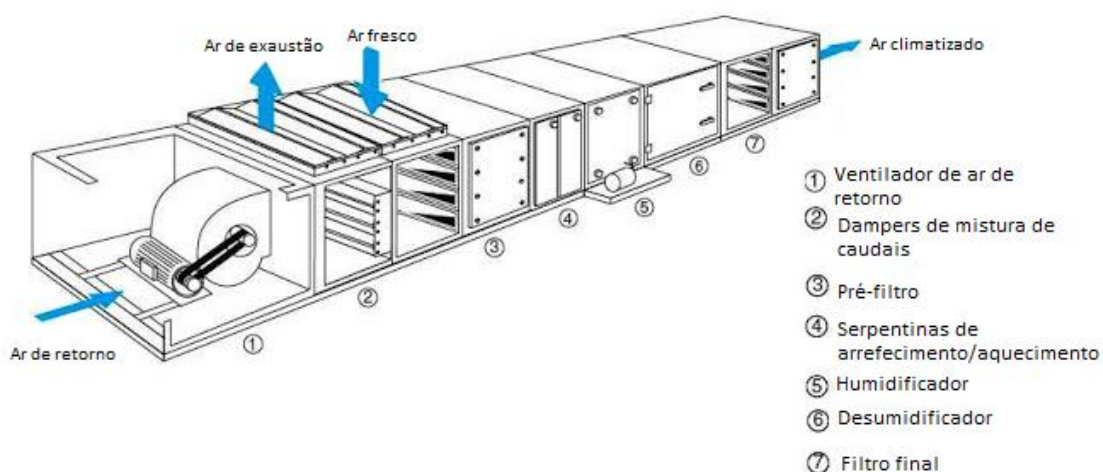


Figura 2.2 Unidade de tratamento de ar. Adaptado de electrical-knowhow.com

2.1.2.1. Filtros

A filtração é fulcral no que toca à qualidade de ar interior, pois garante a limpeza do ar de partículas de tamanho desde uma fibra têxtil ou poeira (10 μm) até uma bactéria ou fumo (0.3 μm). De maneira a evitar uma maior degradação do equipamento por parte das partículas, é fundamental que o filtro com os poros maiores (pré-filtro) seja instalado a montante na UTA. Deste modo, o pré-filtro impede a passagem das partículas de grande dimensão, que viajam a velocidade elevada, para os restantes constituintes da UTA; nomeadamente para o filtro de bolsa, que é o componente que mais beneficia da instalação de um pré-filtro, dado que é constituído de um material frágil e que facilmente se deteriora. É também importante acompanhar a queda de pressão causada pelos filtros para avaliar o seu tempo de vida útil. Caso o valor da queda de pressão se torne superior ao estabelecido é imperativo a troca dos filtros.

A American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) desenvolveu um sistema de classificação denominado de Minimum Efficiency Reporting Value (MERV) que avalia a percentagem de partículas removidas dentro de uma gama do diâmetro de partículas, medido em micrómetros. A classificação MERV varia de 1 até 20, em que a partir da classificação 17 os filtros são chamados de High Efficiency Particle Air (HEPA). Os filtros HEPA têm uma percentagem de remoção desde 99,97% até 99,999%, e conseguem remover vírus e gases de combustão finos (California Environmental Protection Agency, 2014). A união europeia desenvolveu, em 2012, a norma EN779 com uma classificação equivalente à da ASHRAE que está dividida em três classes F, M e G, sendo que cada uma destas estão divididas em subclasses (Rojas, 2020). Na Tabela 2.1 podemos observar a correspondência das classificações de eficiência mínima para os módulos de pré filtração e filtração na nomenclatura MERV e norma EN779.

Tabela 2.1. Tabela de classificação dos filtros

Classificação	MERV rating	Classe EN779 União Europeia	Contaminante Filtrado	Aplicação	
Pré-filtro (Classe G)	MERV 1	G1	Partículas superiores a 10µm: Polen Ácaros Fibras textéis	Doméstica, Comercial	
	MERV 2	G2			
	MERV 3				
	MERV 4				
		MERV 5	G3	Partículas entre 3µm e 10µm: Fungos Pó de cimento Spray para cabelo	Comercial, Industrial
		MERV 6			
		MERV 7	G4		
		MERV 8			
Filtro médio (Classe M e F)	MERV 9	M5	Partículas entre 1µm e 3µm: Pó de carvão Emissões de carros Gotas de nebulizador	Industrial, Médica	
	MERV 10				
	MERV 11	M6			
	MERV 12				
		MERV 13	F7	Partículas entre 1µm e 3µm: Bactérias Óleo de cozinha Quase todo o fumo	Industrial, Médica, Alimentar
		MERV 14	F8		
		MERV 15	F9		
		MERV 16			

No entanto, em 2016, a norma ISO 16890 pt. 1 substituiu a norma EN 779. A ISO 16890 apresenta de forma mais realista as condições de operação e baseia a classificação dos filtros nos grupos de partículas PM1, PM2.5 e PM10. PM1 engloba partículas de tamanho entre 0.3µm e 1µm; PM2.5 compreende partículas com tamanho inferior as 2.5µm; PM10 é para partículas com tamanho inferior a 10µm.

Existem ainda filtros que não são avaliados pelas classificações acima referidas. Os filtros UV, por exemplo, utilizam a radiação ultravioleta (UV) para matar bactérias e vírus, ou os filtros electrostáticos, que usam a carga electrostática para “aprisionar” partículas de pó.

2.1.2.2. Módulo de ventilação

O módulo de ventilação desempenha uma função simples, mas fundamental. São os ventiladores centrífugos que fazem a insuflação, a extração e recirculação do ar. Cada ventilador é alimentado por um motor elétrico que, através de correias, transmite movimento a um veio, que por sua vez faz girar pás rotativas. Os ventiladores podem ser ON/OFF ou modelares, permitindo a variação do caudal. Esta variação é realizada através da variação de frequência ou da voltagem fornecida ao motor elétrico. A Figura 2.3 ilustra o ventilador com o respetivo motor elétrico numa UTA.



Figura 2.3 Ventilador centrífugo com motor elétrico acoplado

2.1.2.3. Módulo de aquecimento

O módulo de aquecimento desempenha o papel de aumentar a temperatura do ar que o atravessa, de modo a proporcionar o efeito de aquecimento necessário. Para que isto seja possível as UTA são providas de permutadores de calor. Estes podem assumir diferentes formatos, mas operam maioritariamente segundo os mesmos princípios: a condução e convecção.

Os permutadores de calor podem transferir o calor direta ou indiretamente para o fluxo de ar. Resistências elétricas são o exemplo mais comum de um permutador de calor direto, mas também é frequente o uso de permutadores alimentados a gás ou o uso de bombas de calor. Os permutadores de calor indiretos usam serpentinas de cobre com água ou vapor, e em alguns casos contêm alhetas exteriores para auxiliar a transferência de calor para o fluxo de ar. A água ou vapor que corre nas serpentinas é normalmente aquecida por uma caldeira. Na Figura 2.4 apresenta-se uma resistência elétrica no interior de um módulo de uma UTA.



Figura 2.4 Resistências de aquecimento da UTA.

2.1.2.4. Módulo de arrefecimento

O módulo de arrefecimento utiliza serpentinas preenchidas com água refrigerada ou um refrigerante adequado. Estas serpentinas, ao entrarem em contacto com o fluxo de ar, retêm o calor transportado pelo mesmo, arrefecendo-o. Este módulo pode também ser usado para efetuar a desumidificação do ar, através do arrefecimento do ar abaixo do ponto de orvalho. Como tal, é importante ter tabuleiros de inox para que possam acumular os condensados, facilitando assim a limpeza e prolongando a vida dos equipamentos. A água ou refrigerante são normalmente arrefecidos por equipamentos de produção de frio (e.g., chillers). Na Figura 2.5 é ilustrada uma bateria de arrefecimento no interior de um módulo de uma UTA.



Figura 2.5 Baterias de arrefecimento da UTA.

2.1.2.5. Módulo de humificação

Este módulo pode ser necessário em ambientes mais frios ou secos, onde o teor de humidade absoluta do ar é bastante baixo. O humificador pode ser integrado na UTA ou instalado à parte com um bypass para as condutas de insuflação. Existem várias técnicas que permitem a humificação do ar, sendo as mais comuns a vaporização, evaporação, e spray mist.

Segundo a ASHRAE (ASHRAE, 2016) os humificadores podem ser divididos em duas categorias distintas: unidades isotérmicas e unidades adiabáticas, dependendo de quando a energia é adicionada para realizar a mudança de fase de líquido para gás. As

unidades isotérmicas produzem vapor de água através da utilização de energia externa. A energia é usada para produzir o vapor de água antes de este se juntar com a corrente de ar. Isto resulta num processo isotérmico, ou seja, um processo em que a temperatura do ar se mantém constante. Estas unidades são também conhecidas como humidificadores não geradores de aerossóis devido a apenas produzirem vapor. Os exemplos mais conhecidos de unidades isotérmicas são: humidificador por eléctrodo, por resistência elétrica, a gás ou por água quente. Em oposição, a humidificação feita por unidades adiabáticas causa uma diminuição na temperatura de bolbo seco, dado que estas unidades permitem um contacto direto entre o fluxo de ar e a água. Para fazer a mudança de fase de líquido para vapor é usada a energia do fluxo de ar. As unidades adiabáticas podem ainda ser divididas em duas categorias: atomizadores e evaporadores. Os atomizadores são geradores de aerossóis devido à libertação de gotículas de água diretamente para o fluxo de ar. Por sua vez, na categoria dos evaporadores o fluxo de ar absorve a humidade de um equipamento húmido, sendo por isso não gerador de aerossóis. Os aparelhos mais comuns são: atomizador a ar comprimido, atomizador ultrasónico, atomizador centrífugo e evaporador “wetted media”. Na Figura 2.6 encontra-se um gráfico que representa a humidificação adiabática e isotérmica.

Baseando-se nos princípios tecnológicos acima referidos os humidificadores podem ainda ser de uso doméstico ou industrial (ASHRAE, 2016).

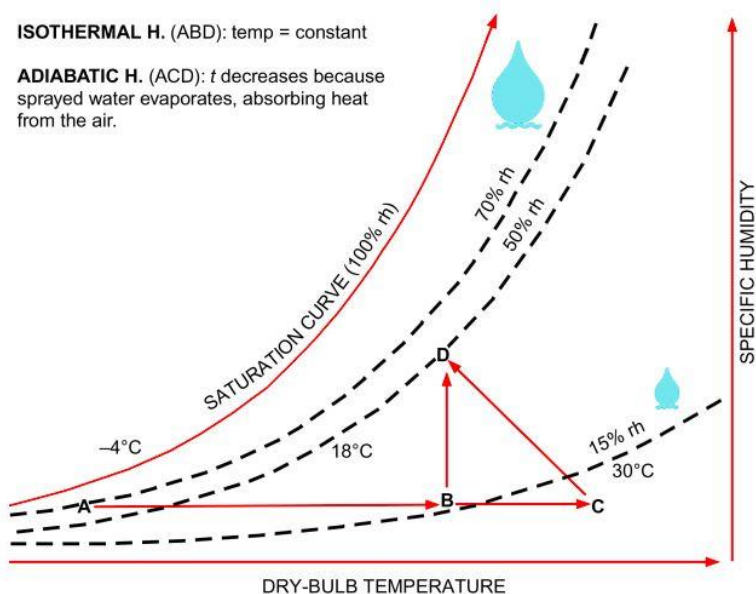


Figura 2.6 Processo de humidificação adiabática vs. isotérmica. Extraído de (ASHRAE, 2016).

2.1.2.6. Atenuador de ruído

O ruído advém do funcionamento dos ventiladores e é produzido devido à rotação das pás. Este ruído pode ser prejudicial aos ocupantes de um dado espaço e pode surgir a necessidade da instalação de um atenuador de ruído. Este atenuador pode ser instalado nas condutas ou perto dos ventiladores. São feitos de um material poroso e isolante. Na Figura 2.7 podemos observar um atenuador de ruído.



Figura 2.7 Atenuador de ruído. Extraído de luftmaxi.com.br

2.1.3. Desumidificador

O desumidificador desempenha um papel fundamental na climatização de um espaço. Especialmente em climas muito húmidos, a regulação da humidade em espaços com necessidades de humidade muito estritos traduz-se numa exigência energética muito elevada, por isso é fulcral ter uma estratégia eficiente na desumidificação.

Segundo Pillai & Desai (2018), as quatro estratégias mais comuns são: desumidificação dessecante; sistema de duas rodas; wrap-around coil; tiered cooling. Sendo o método de desumidificação mais usual o sub arrefecimento do ar, realizado através do contacto com água ou refrigerante a temperaturas muito baixas, o que força a condensação do vapor de água no fluxo de ar.

A desumidificação dessecante utiliza uma roda dessecante para retirar a humidade do ar que a atravessa. A roda em questão consiste num cilindro giratório preenchido por uma matriz semelhante a uma colmeia. O cilindro é movido através de um motor eléctrico ligado ao cilindro por uma correia. A colmeia, por sua vez, é constituída de materiais que retêm o calor. O ar de extração flui através de uma das metades da colmeia e transfere o calor para a mesma. De seguida, o ar fresco atravessa a outra metade, que, devido à rotação do cilindro, é aquecido de novo. Isto cria um aumento de temperatura no fornecimento de ar novo proporcional ao diferencial de temperatura entre os fluxos de ar. Os fluxos terem direcções opostas é essencial para uma melhor eficiência da roda entálpica, dado que favorece o gradiente de temperatura ao longo da colmeia. A roda entálpica também pode servir para fazer a operação inversa e a energia de refrigeração reutilizada para arrefecer o fluxo de ar novo. A colmeia pode ser feita de diferentes materiais como alumínio, polímeros ou compósitos. Na Figura 2.8 é apresentado um esquema do funcionamento de uma roda entálpica.



Figura 2.8 Roda entálpica. Extraído de puresci.com.

O sistema de duas rodas é baseado nos mesmos princípios que a desumidificação dessecante com a diferença de ser acrescentado ao processo um recuperador de calor depois da serpentina de arrefecimento para que se poupe energia no reaquecimento do fluxo de ar.

A estratégia do wrap-around coil usa três serpentinas: a primeira faz um pré-arrefecimento, a segunda faz o arrefecimento e desumidificação e terceira faz o aquecimento do ar. A primeira serpentina e a terceira estão ligadas de modo que o calor retirado ao ar no pré-arrefecimento possa ser usado para fazer o reaquecimento na terceira serpentina. Assim, este bypass de calor permite a poupança de energia significativa.

O tiered cooling usa água refrigerada para o arrefecimento sensível e usa expansão direta para o arrefecimento latente. Este método apesar de permitir um melhor controlo de humidade tem fraca eficiência.

Segundo Pillai & Desai (2018), para climas com temperaturas e índices de humidade elevados a estratégia wrap-around coil e o sistema de duas rodas são as estratégias mais relevantes. Para um clima húmido misto (mixed humid climate) o tiered cooling é opção mais energeticamente eficiente. Contudo, para clima húmido misto caso haja uma fonte de calor que esteja a ser desperdiçada, o uso de desumidificação dessecante é a opção que permite a maior poupança de energia.

2.1.4. Chillers

Os *chillers* tornaram-se num equipamento essencial em qualquer sistema de AVAC e são muito comuns em centros comerciais, fábricas, restaurantes e hospitais. Segundo Yik & Lam (1998), cerca de 40% a 50% da energia consumida num centro comercial é respetiva à utilização de *chillers*.

O *chiller* tem a função de arrefecer o fluido refrigerante ou água que o atravessa. Este equipamento remove a energia térmica do fluido e liberta-a para o exterior (ou para equipamentos próprios para o efeito). Os *chillers* tradicionais operam através de um ciclo de vapor comprimido. Este ciclo consiste na circulação de um fluido refrigerante e nas alterações de fase entre vapor e líquido do mesmo. O ciclo de refrigeração consiste num circuito fechado, constituído, tipicamente, por um evaporador, um condensador, um compressor e uma válvula de expansão, por onde circula o refrigerante. No compressor, o vapor a baixa pressão e temperatura é comprimido e sobreaquecido. De seguida, o vapor

sobreaquecido atravessa o condensador, onde é arrefecido. O calor retirado do refrigerante pelo condensador é libertado para o exterior ou para um circuito de arrefecimento secundário (por exemplo, uma torre de arrefecimento), ou poderá existir um recuperador de calor para aumentar a eficiência energética. O líquido resultante da condensação é então expandido por uma válvula de expansão que causa a diminuição súbita da pressão no líquido. A mistura criada de líquido e vapor encontra-se a baixa pressão e baixa temperatura. Por fim, a mistura é totalmente vaporizada no evaporador, ao ser aquecida pelo ar envolvente ao evaporador. Deste modo, é possível extrair o calor do ar para a mistura. O vapor saído do evaporador retorna ao compressor e o ciclo repete-se. Na Figura 2.9 podemos observar a conjugação de um diagrama de pressão-entalpia com um ciclo de refrigeração ideal.

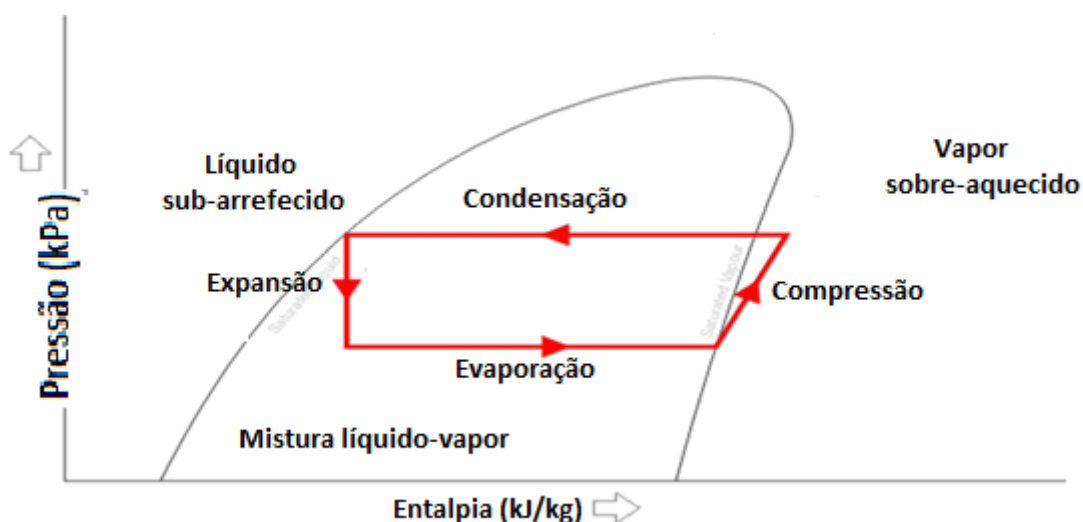


Figura 2.9 Ciclo ideal de um ciclo de refrigeração num gráfico pressão-entalpia.

Os *chillers* centrífugos e *chillers* “parafuso” são os tipos de *chiller* mais comuns. O *chiller* centrífugo possui pás rotativas que comprimem o refrigerante e transportam-no pelo sistema. Por sua vez, o *chiller* “parafuso” faz uso de um compressor em parafuso que transporta o refrigerante ao longo do sistema, o que é altamente vantajoso para situações em que não há abundância de espaço.

Existem ainda outros tipos de *chillers* que não recorrem ao ciclo de vapor comprimido, por exemplo, *chillers* de absorção de vapor. Estes equipamentos partilham o evaporador e o condensador, mas em vez de um compressor existe um gerador, uma bomba e um absorvente.

Como é descrito em cima, é o condensador que está encarregue do arrefecimento do refrigerante, que pode ser feito por meio de água ou ar. Os *chillers* arrefecidos a ar usam ventiladores motorizados que forçam o ar exterior a passar por uma matriz preenchida com refrigerante. Por sua vez, os *chillers* arrefecidos a água, usam um circuito de água que passa pelo condensador para retirar o calor do refrigerante e segue para uma torre de arrefecimento. A torre de arrefecimento tem como propósito o arrefecimento dessa água quente.

2.1.5. Bombas de circulação

As bombas de circulação são componentes essenciais num sistema de AVAC. São estas que garantem a circulação de líquidos ou gases, dependendo da aplicação, ao longo de um circuito fechado. Tipicamente, as bombas de circulação são centrífugas e alimentadas eletricamente. Apesar da maioria ser feita de aço, podem ser feitas em bronze para evitar a corrosão e oxidação. No caso de existir um tanque de expansão, é importante colocar as bombas a jusante para diminuir a probabilidade de ocorrer cavitação e conseqüente desgaste do material. Na Figura 2.10 é demonstrado um exemplo de bombas de circulação.



Figura 2.10 Bombas de circulação. Extraído de buildinggreen.com

2.1.6. Circuitos hidráulicos e aeráuticos

É através dos circuitos hidráulicos que a água/refrigerante viaja e completa o ciclo de refrigeração. Sem eles não é possível o transporte de energia do interior de um espaço para o ambiente exterior. Estes circuitos também operam de maneira oposta, transportando a energia para o interior de modo a aquecer. Os circuitos hidráulicos são constituídos por vários equipamentos hidrostáticos como válvulas de retenção, antirretorno, válvulas de três vias, purgadores, etc., todos eles ligados por tubagens.

Os circuitos aeráuticos são muito semelhantes aos circuitos hidráulicos, do ponto de vista em que ambos são uma maneira de transportar energia ou pressão. São constituídos por condutas e registos. Na Figura 2.11 podemos observar um exemplo de condutas de ar.



Figura 2.11 Condutas de ar. Extraído de lakesideac.com

2.2. Software de modelação 3D

O propósito dos softwares de modelação 3D é a replicação de objetos reais ou conjuntos de objetos digitalmente. Estes objetos podem variar o nível de detalhe desde uma roda dentada até um relógio automático totalmente funcional. Dado que os objetos são criados no formato digital, a dimensão dos mesmos nunca é problema. Isto permite a criação, por exemplo, de um edifício compartimentado e com todo o tipo de objetos e equipamentos. Estes softwares podem ainda ser conjugados com outros que permitem, por exemplo, simular o efeito da gravidade ou um escoamento forçado num dado objeto. Ou, como é demonstrado no quarto capítulo, a modelação de uma câmara climática conjugado com o sistema de insuflação e extração. A possibilidade de simular este tipo de aplicações é altamente

vantajoso porque permite replicar situações reais sem haver custos de mão de obra ou materiais e ainda tem a vantagem da rapidez de resultados.

2.3. Gestão de manutenção

A manutenção é uma prática fundamental para que qualquer indústria ou serviço opere eficientemente. Tem o objetivo de garantir que todos os equipamentos estão a operar eficientemente a tempo inteiro. A manutenção pode, geralmente, assumir dois tipos a corretiva e a preventiva. A manutenção corretiva realiza-se depois da deteção da anomalia para restabelecer as condições normais de operação. Este tipo de manutenção deve ser o último recurso e não uma prática recorrente, dado que é substancialmente mais caro remediar do que prevenir. A manutenção preventiva é feita em períodos predeterminados e tem como objetivo a redução do risco de falha ou degradação na performance num determinado equipamento. Os períodos são determinados consoante as necessidades de cada equipamento. Existem ainda outros tipos de manutenção preventiva como a pré-determinada que se baseia na tomada de ações pré-determinadas pelos fabricantes dos equipamentos. Estas sugestões são fundamentadas em testes experimentais e informação recolhida ao longo da conceção e produção do equipamento, e servem para prolongar o tempo de vida dos mesmos. Pode também ser manutenção baseada na condição que, ao invés de se reger por manutenções agendadas, é feita através de um acompanhamento regular das condições do equipamento. Para casos onde é necessário alto rigor usa-se manutenção preditiva que consiste no acompanhamento constante dos equipamentos via sensores.

Para facilitar esta tarefa é muito comum o uso de Sistemas de Gestão de Manutenção Computorizado (CMMS – Computerized Management Maintenance System). Este tipo de software compila uma base de dados com toda a informação sobre a organização das operações de manutenção. Através da informação inserida a equipa de manutenção é alertada de que equipamento necessita de manutenção, de quando a quando é necessário intervir e como realizá-la.

3. CASO DE ESTUDO

3.1. Câmara climática

A câmara climática foi construída em 1995, integrada num projeto desenvolvido por Pina Amaral. O projeto foi feito em conjunto entre o DEM e a ADAI. A câmara está localizada no Laboratório de Aerodinâmica Industrial (LAI), em Coimbra. Atualmente, a CC é usada com o propósito de estudar o impacto que diferentes condições climáticas têm em atletas de alta competição. Na Figura 3.1 e na Figura 3.2 é apresentado o interior da sala de controlo e da sala principal da CC, respetivamente.



Figura 3.1 Sala de controlo da CC.



Figura 3.2 Sala principal da CC.

A câmara climática (CC) é constituída por painéis isotérmicos, feitos de madeira, chapas de aço e um enchimento de poliuretano que serve de isolamento. É dividida em duas salas, a de controlo e a sala principal (de testes), o que perfaz um total de $8,3 \times 4,8 \text{ m}^2$. O pé direito da câmara é ajustável e pode oscilar entre 2,1 m e 4,4 m. A sala principal é o local onde se realizam os testes aos atletas de alta competição, enquanto que a sala de controlo alberga todos os controlos de apoio para os testes. A CC é sustentada por uma estrutura metálica com o objetivo de facilitar a instalação das condutas de insuflação e de retorno e possíveis alterações nas dimensões da CC.

A CC conta com três GTA para realizar a ventilação e climatização. O GTA I e GTA II estão encarregues da climatização e tratamento do ar recirculado, enquanto que o GTA III faz a insuflação de ar novo. Na Figura 3.3 podemos observar o esquema da CC e componentes principais do seu sistema de AVAC. Existe ainda um quarto grupo de

tratamento de ar (GTA IV) que, apesar de estar instalado, não se encontra operacional. A câmara tem ainda o auxílio de um humidificador e desumidificador.

Legenda da figura:

- I – Câmara de controlo
- II – Câmara de testes
- III – GTA I
- IV – GTA II
- V – GTA III
- VI – GTA IV
- VII – Desumidificador
- VIII – Humidificador
- IX – Quadro Elétrico

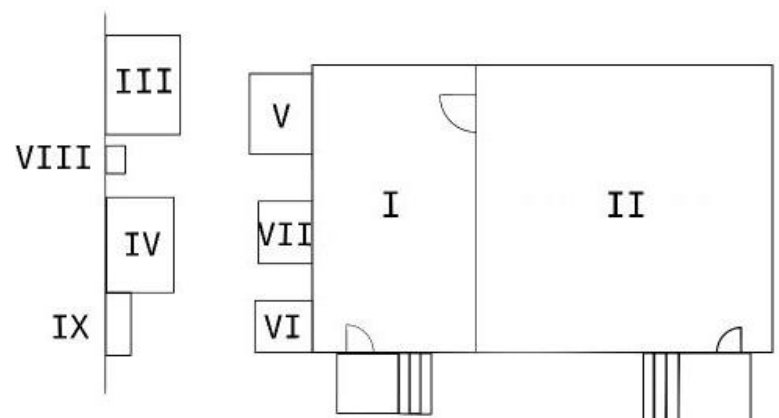


Figura 3.3 Esquema com CC e respetivos equipamentos.

De acordo com a Figura 3.4 podemos aferir que o ar proveniente do GTA I é insuflado para um plenum situado sob o pavimento da câmara. Instaladas no pavimento encontram-se grelhas que permitem a simulação de ambientes com temperaturas uniformes e velocidade do ar reduzida. No caso de as grelhas se encontrarem fechadas, o pavimento passa a ser estanque, o que força o ar a atravessar uma caixa de ar constituída por painéis metálicos localizados nas paredes da câmara climática. Ao contrário do GTA I, o GTA II faz a insuflação de ar por meio de um difusor mural que se encontra na sala de testes. Ambos os grupos fazem a extração de ar na zona acima do teto, como é mostrado na figura. Esta solução permite impor uma diferença de 5° C entre a temperatura média radiante das paredes e a temperatura do ar (Amaral, 1995)

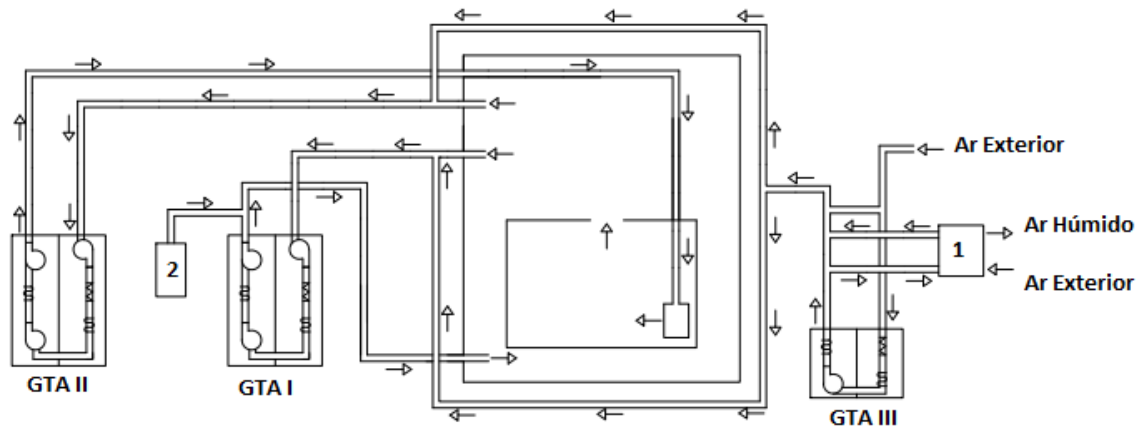


Figura 3.4 Esquema do sistema aerúlico e dos GTA associados na CC.

Legenda da figura:

- 1- Desumidificador
- 2- Humidificador

3.2. Caracterização dos Grupos de Tratamento de Ar

3.2.1. Unidades de recirculação de ar

Ambas as UTA de recirculação de ar (GTA I e GTA II) têm uma configuração modular e conseqüentemente são ajustáveis. São constituídas pelos mesmos elementos e, como tal, têm exatamente as mesmas características. No entanto, o GTA I possibilita a humidificação do ar insuflado, através de uma mangueira que faz a ligação entre o humidificador e a conduta de insuflação do GTA I. Estas UTA têm como objetivo satisfazer as necessidades de climatização e fazer o tratamento do ar que se encontra na câmara climática. Na Figura 3.5 estão esquematizados o GTA I, GTA II e os seus respetivos componentes.

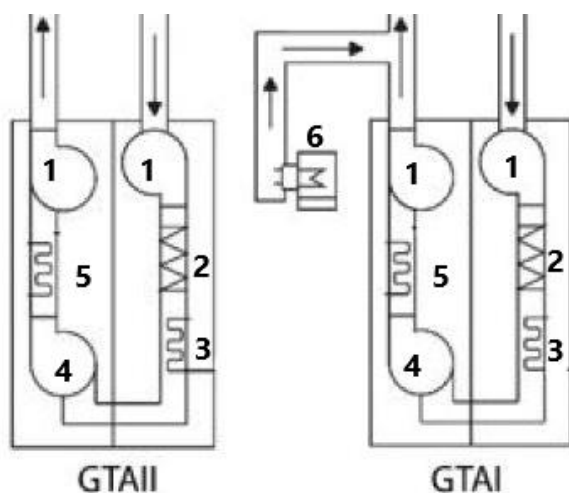


Figura 3.5 Esquema dos GTA I e GTA II.

Legenda da figura:

- 1- Ventiladores modulares
- 2- Pré-filtros e filtros de bolsa
- 3- Serpentina de arrefecimento
- 4- Ventilador não modular
- 5- Bateria de aquecimento
- 6- Humidificador

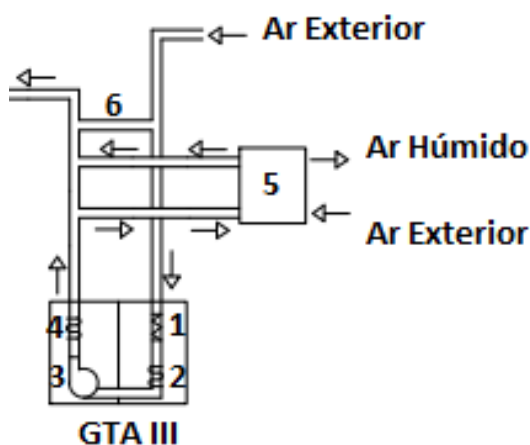
Os GTA estão munidos com três ventiladores, dois deles com velocidade variável e um com velocidade constante. Cada ventilador tem um motor elétrico acoplado que transmite o movimento às pás rotativas por meio de correias trapezoidais.

Para o tratamento da qualidade de ar cada GTA tem um sistema de filtragem que conta com o auxílio de dois pré-filtros FA280 e dois filtros de bolsa PURAPAK95. Os pré-filtros encontram-se a montante, para proteger os restantes componentes das partículas de maior dimensão e de seguida encontram-se os filtros de bolsa para filtrar as partículas mais finas. O PURAPAK95 encontra-se na vertical para diminuir o desgaste durante o arranque do motor. Por sua vez, o pré-filtro tem a orientação horizontal.

As baterias de aquecimento dos GTA I e GTA II fazem o aquecimento através de resistências elétricas. Para a situação de arrefecimento usam-se as serpentinas de arrefecimento que, para além de diminuírem a temperatura do ar, também podem promover a diminuição do teor de humidade. As especificações técnicas dos GTA I e GTA II podem ser consultadas no Anexo A.

3.2.2. Unidade de tratamento de ar com insuflação de ar novo (GTA III)

Um dos objetos de estudo desta dissertação consiste na reintegração do GTA III no sistema que climatiza a câmara climática. A necessidade da instalação desta UTA vem no seguimento de fazer a renovação do ar da câmara climática com ar novo insuflado do exterior, depois da devida climatização e filtragem (até ao momento, a única insuflação de ar exterior é feita por infiltrações na câmara climática). A insuflação de ar novo causa a diminuição dos níveis de CO_2 dentro da câmara, garantindo uma qualidade de ar interior superior. A insuflação do ar proveniente do GTA III pode ser feita em conjunto com o ar do GTA I e GTA II (ver Figura 3.3). O GTA III tem ainda acoplado um desumidificador, que até à realização deste trabalho estava desativado. Para a realização da desumidificação recorria-se às serpentinas de arrefecimento dos GTA I e GTA II, no entanto, para além de ineficiente, este método não permite o controlo do teor de humidade retirado ao ar. Na Figura 3.6 encontra-se um esquema do GTA III e do desumidificador. As especificações técnicas do GTA III podem ser consultadas no Anexo A.



Legenda da figura:

- 1 – Pré-filtro e filtro de bolsa
- 2 – Serpentinhas de arrefecimento
- 3 – Ventilador centrífugo
- 4 – Resistências de aquecimento
- 5 – Desumidificador
- 6 – Bypass

Figura 3.6 Esquema do GTA III

3.2.3. Desumidificador rotativo ML420 Munters

O desumidificador rotativo ML420 está integrado no circuito do GTA III (ver Figura 3.7). Nesta UTA, o ar novo exterior depois de filtrado e arrefecido e/ou aquecido, pode passar parcialmente no desumidificador que, por sua vez, diminui o teor de humidade no ar de modo a obterem-se as condições desejadas para controlo do teor de humidade dentro da câmara climática. O ar proveniente da UTA (1) é desumidificado no rotor do desumidificador, processo este que é possível com a entrada de ar de reativação exterior (3), que é aquecido. O ar húmido resultante (4) é removido para o exterior, e o ar de processo desumidificado (2) é de seguida insuflado nas condutas de avanço do GTA I e GTA II. Na Figura 3.8 está representado um desumidificador ML420 da Munters.

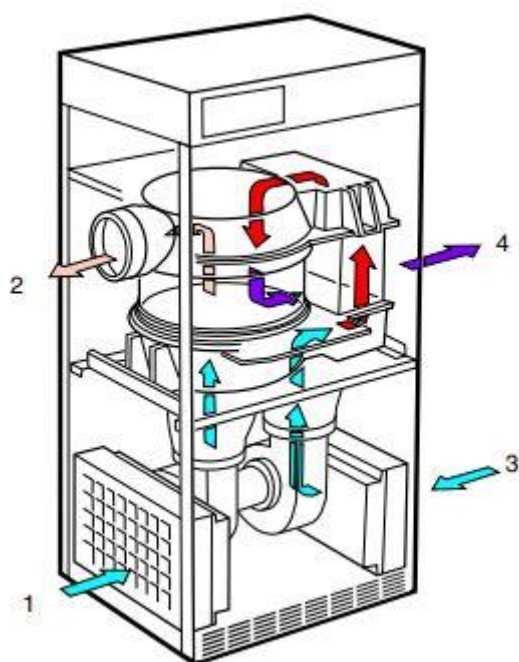


Figura 3.7 Esquema de funcionamento do desumidificador Munters ML420. Extraído de munters.com.



Figura 3.8 Desumidificador Munters 420ML. Extraído de munters.com

Legenda da figura:

- 1- Ar de processo
- 2- Ar seco
- 3- Ar de reativação
- 4- Ar húmido

Na Tabela 3.1 e na Tabela 3.2 podemos encontrar algumas especificações relativamente ao desumidificador Munters 420ML. Para informação mais detalhada consultar o anexo A.

Tabela 3.1. Tabela de caudal e pressão estática do desumidificador Munters 420ML.

Ar de processo		Ar de reativação	
Caudal do fluxo de ar (m^3/h)	420	Caudal do fluxo de ar (m^3/h)	155
Pressão estática disponível (Pa)	200	Pressão estática disponível (Pa)	200

Tabela 3.2. Tabela com características gerais do desumidificador Munters 420ML.

Potência total (kW)	Temperatura de operação (°C)	Classe da filtragem
4.57	-20 até 40	G3

Este equipamento foi criado para desumidificar em aplicações de baixa humidade. É provido, internamente, de uma unidade rotacional selada. A caixilharia do rotor é feita de um polímero termoendurecível resistente dividido em várias secções. Estas secções permitem fazer um balanço preciso de desumidificação, reativação e recuperação de calor. A estrutura metálica e os painéis de acesso são construídos por Aluzink® que é resistente à corrosão. O sistema elétrico foi projetado para suportar até 690 V e 60 °C. O rotor é

constituído por um material compósito ondulado altamente eficiente a absorver vapor de água. O desumidificador tem um sistema de controlo que maximiza a eficiência energética, e é ainda provido de um rotor extra que proporciona alta capacidade e simultaneamente faz recuperação de calor. Este processo baseia-se nos princípios da roda entálpica.

O desumidificador ML420 está provido de uma roda dessecante, que opera sobre os mesmos princípios da roda entálpica, com a diferença de que na roda dessecante é aplicado um revestimento, normalmente de sílica-gel, com o propósito de absorver a humidade do fluxo de ar. A roda encontra-se dividida em duas partes. O fluxo de ar de processo atravessa a colmeia revestida e passa a ar seco através do processo de adsorção. De modo a secar a roda, o ar de reativação é aquecido por baterias de aquecimento. De seguida o ar de reativação atravessa a rotor no sentido oposto que o ar de processo e abandona a roda como ar húmido. A roda tem uma velocidade de rotação reduzida de modo a garantir que o rotor está devidamente seco, para retirar a humidade do ar de processo. O Munters 420ML permite que a transferência de energia não seja apenas de calor sensível, que advém da diminuição da entalpia e consequente diminuição da temperatura, mas também de calor latente, devido à condensação do vapor de água. O condensado diminui a resistência térmica da fronteira onde ocorre a transferência de calor entre o fluxo de ar e a colmeia, que resulta num aumento do coeficiente de transferência de calor e por sua vez num aumento de eficiência.

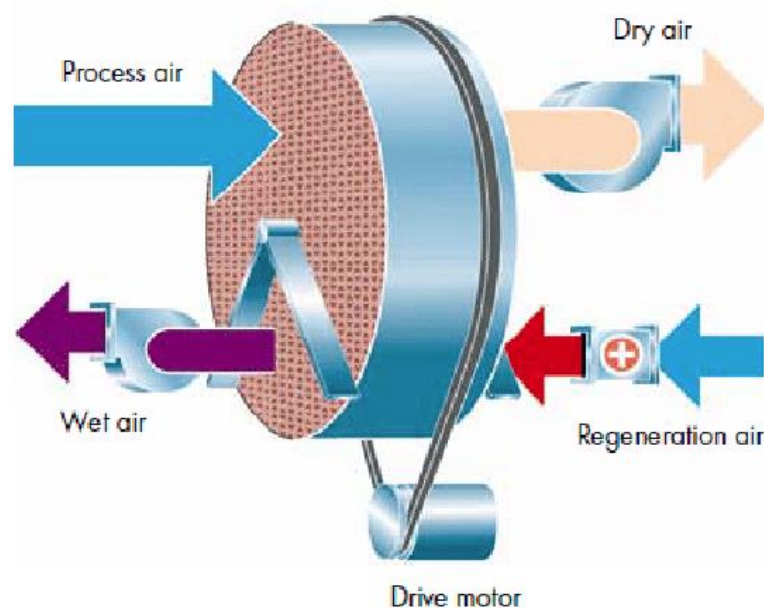


Figura 3.9 Ilustração do funcionamento da roda dessecante. Extraído de munters.com

3.2.4. Humidificador a vapor Nordmann AT4 1534 400V3

O humidificador Nordmann AT4 foi integrado no sistema com o propósito de auxiliar o GTA I na humidificação do ar (ver figura 3.4). Este equipamento permite a regulação do teor da humidade introduzida na conduta proveniente do GTA I. Na Figura 3.10 podemos observar o local de instalação do humidificador AT4 da Nordmann.



Figura 3.10 Humidificador Nordmann AT4.

Quando há a necessidade de gerar vapor para aumentar o teor de humidade no ar, o Nordmann AT4, através do “main contactor”, fornece voltagem aos eléctrodos. Simultaneamente, a válvula de entrada abre e o cilindro de vapor é preenchido com água. Os eléctrodos entram em contacto com a água aquecendo-a até atingir o estado de ebulição. A capacidade de vaporização é tanto maior quanto maior for a área de contacto entre a água e os eléctrodos. A válvula de entrada fecha quando a capacidade de vapor atinge o valor requisitado. No caso de a geração de vapor diminuir até uma dada percentagem, devido à diminuição do nível da água, a válvula de admissão volta a abrir para restabelecer a perda. A diminuição do nível da água pode ocorrer devido à evaporação ou drenagem. Para

monitorizar o nível da água no cilindro de vaporização, existe um sensor embutido no cilindro que quando entra em contacto com a água fecha a válvula de admissão.

Durante o processo de evaporação, a condutividade da água sofre um aumento devido ao crescimento da concentração de minerais nesta, o que pode levar a um gasto energético desmesurado. Para evitar esta situação, uma bomba de drenagem drena periodicamente água do cilindro e repõe a perda com água fresca.

De modo a evitar que os minerais em suspensão se “agarrem” aos elétrodos e consequentemente, diminuam a longevidade do equipamento, a bomba SC (Steam Cylinder Pump) bombeia ar para a água. Desta maneira, mantêm-se as partículas em suspensão, que são drenadas ciclicamente.

A produção de vapor é controlada pelo sensor de temperatura KTY e o “continuous controller”.

A Figura 3.11 ilustra o sistema de humidificação completo.

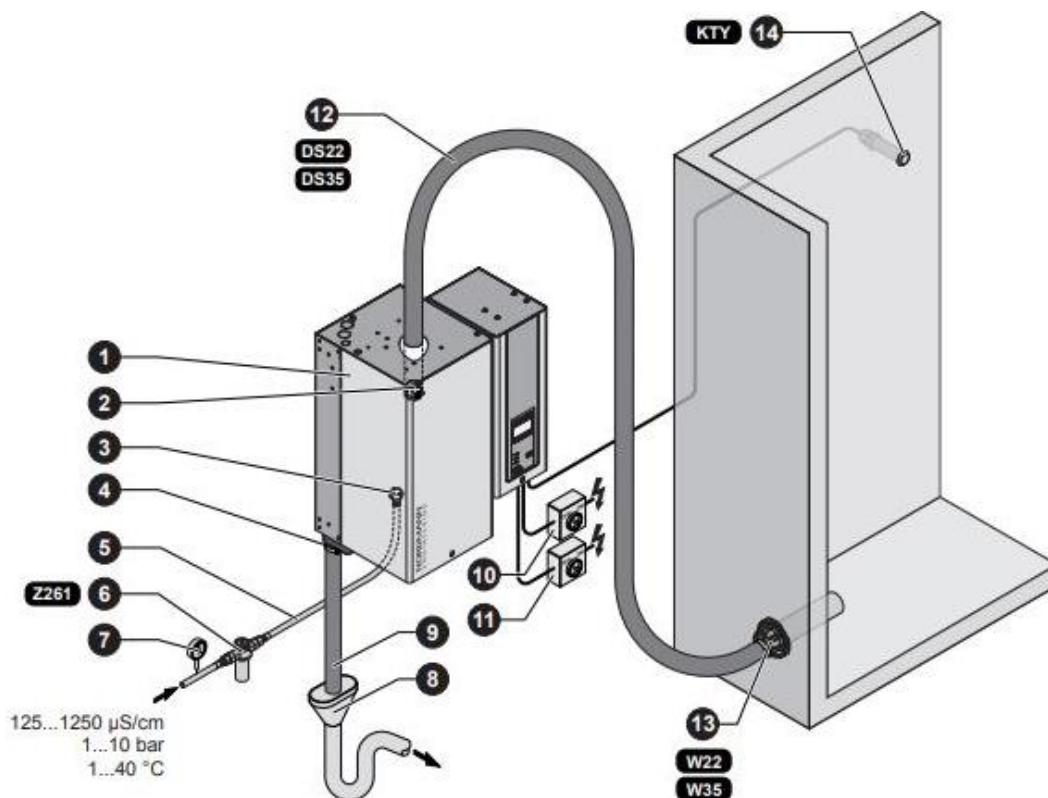


Figura 3.11 Lista de equipamentos do sistema de humidificação. Extraído de nordmann.com.

Legenda da figura:

- 1- Gerador de vapor
- 2- Conector de vapor
- 3- Conector de drenagem de água
- 4- Conector de fornecimento de água
- 5- Ligação da mangueira de água G3/4”- G3/8”
- 6- Válvula do filtro
- 7- Manómetro
- 8- Funil com sifão
- 9- Mangueira de drenagem de água
- 10- Interruptor fornecimento de voltagem de aquecimento
- 11- Interruptor controlo do fornecimento de voltagem
- 12- Mangueira de vapor
- 13- Distribuidor de vapor
- 14- Sensor de temperatura

Na Tabela 3.3 podemos observar as características gerais do humidificador Nordamann AT4 As especificações técnicas em falta podem ser consultadas no Anexo A.

Tabela 3.3. Tabela com características gerais do humidificador Nordamann AT4.

Voltagem (V)	Caudal (m^3/h)	Fase	Modelo	Tamanho da unidade
400	15	Trifásico	1534	Médio

3.2.5. Chillers Daikin EUWA5GW1

Os três *chillers* estão integrados no sistema com o objetivo de arrefecer a água que atravessa as serpentinas de arrefecimento dos GTA I, GTA II e GTA III. Nos permutadores de calor (serpentinas) dos GTA dá-se a troca de calor entre a água refrigerada

proveniente dos *chillers* e o ar que atravessa os permutadores. Na Figura 3.12 encontra-se um dos três *chillers*. Os *chillers* encontram-se sobre a cobertura do LAI; dado que realizam o arrefecimento por ar, esta é a melhor localização.



Figura 3.12 Chiller Daikin EUWA5GW1.

4. TRABALHO REALIZADO

4.1. Elaboração do esquema de princípio

Com o objetivo de facilitar a visualização dos componentes pertencentes ao sistema de AVAC da CC e suas ligações e dependências foi elaborado um esquema de princípio detalhado, recorrendo ao software AutoCAD. Foi importante desenvolver este esquema de princípio dado que até à data não existia nenhum esquema ilustrasse devidamente o sistema de AVAC. Isto permite a quem venha trabalhar futuramente no sistema AVAC da CC uma fácil compreensão de todos os equipamentos pertencentes ao mesmo e respetivas ligações. Na Figura 4.1 podemos observar os circuitos de insuflação e extração de ar afectos aos quatro grupos de tratamento de ar, bem como os circuitos hidráulicos que alimentam as serpentinas de arrefecimento dos GTA. Foi ainda feita uma legenda para que todos os componentes do sistema sejam facilmente identificados.

4.2. Elaboração do manual de operação

A necessidade de um manual de operação surgiu com o intuito de facilitar a utilização do sistema de AVAC. Assim, o manual foi elaborado e apresenta uma lista detalhada de ações a realizar (e respectivas fotos) para fazer o arranque dos três grupos de tratamento de ar, da alimentação da câmara climática, como tomadas e iluminação, o arranque dos grupos de refrigeração e das bombas que fazem circular a água no circuito de arrefecimento.

Na Figura 4.2 ilustra o painel de controlo do quadro elétrico do sistema. É neste painel que podemos energizar os equipamentos e de seguida ativá-los através dos respetivos controlos. Este painel possibilita também a consulta de quais equipamentos estão ligados, através de sinais luminosos e uma etiqueta com o equipamento correspondente; possibilita ainda a leitura dos valores de temperatura da água na linha e no retorno. O manual foi elaborado tomando este painel de controlo como referência central, e pode ser consultado em detalhe no Apêndice A.



Figura 4.2 Quadro elétrico do sistema de AVAC.

4.3. Reativação do GTA III

O sistema de AVAC da câmara climática é composto por quatro GTA, contudo, tanto o GTA III como o GTA IV estão desativados. Um dos objetivos principais desta dissertação é a reativação do GTA III. Os GTA I e II estão encarregues de garantir a recirculação, climatização e tratamento do ar da câmara, no entanto, a falta de insuflação de ar novo pode causar um aumento da concentração de CO_2 . Este aumento pode ter consequências graves para os ocupantes da CC, devido à redução da qualidade do ar. Como prevenção foi instalado recentemente um sensor que monitoriza a concentração de CO_2 na

CC. No entanto, apesar de esta medida de segurança ser importante, era fundamental que a UTA de insuflação de ar novo (GTA III) estivesse operacional para assegurar que os níveis de CO_2 estejam de acordo com as normas de segurança. Foi então essencial compreender o porquê de o GTA III não estar operacional. Depois de uma análise detalhada, foi concluído que no circuito de água que alimenta as serpentinas de arrefecimento faltava uma bomba de circulação e que os filtros da UTA estavam bastante danificados. Sem a bomba a circulação de água não é possível promover o arrefecimento do ar novo. Por sua vez, a degradação dos filtros compromete a qualidade do ar insuflado na câmara. Na Figura 4.3 podemos observar a UTA de ar novo pertencente ao GTA III.



Figura 4.3 UTAN / GTAIII.

4.3.1. Instalação da bomba de circulação

Como pode ser observado na Figura 4.4, as flanges e o respetivo encaixe encontravam-se instalados, no entanto a bomba não. Dado que o GTA IV se encontra inativo e sem planos futuros de reativação ficou decidido a desinstalação da sua bomba de circulação para utilização no GTA III. A bomba em questão é da marca GRUNDFOS e o modelo é UPS 32-30F, onde DN 32 representa o diâmetro nominal da conexão da tubagem e 30 dm é o tamanho máximo da altura de coluna de água da bomba.

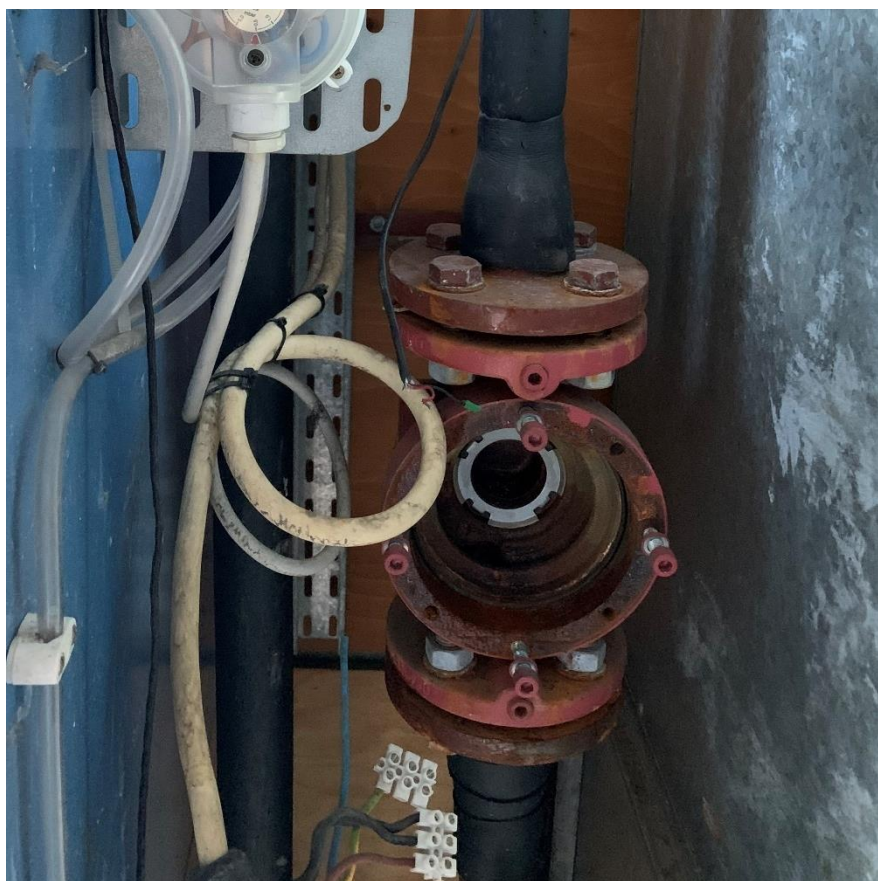


Figura 4.4 Encaixe antigo da bomba de circulação do GTA III.

Com o objetivo de minimizar os custos e mão de obra, tentou-se inicialmente reutilizar as flanges já instaladas no GTA III, todavia a bomba proveniente do GTA IV tem uma especificação diferente pelo que impossibilitou o acoplamento. Foi então necessário

desmantelar as flanges no GTA III, de modo a serem substituídas pelas flanges e respetiva bomba do GTA IV. Entre o desmantelamento e a instalação da “nova” bomba, foram realizadas ações de manutenção preventiva. Estas ações englobam o uso de lixas e produtos químicos para a limpeza devida, quer dos encaixes da tubagem quer das flanges e bomba respetiva. É fulcral selar devidamente a tubagem, dado que durante a limpeza é libertada ferrugem, restos de vedante, óleo seco e sujidade acumulada. A contaminação do circuito de água com este tipo de resíduos pode ser altamente prejudicial tanto para as condutas como para os equipamentos integrados no circuito. É também essencial para o bom funcionamento e longevidade do equipamento que o alinhamento do vedante com as tubagens seja preciso. O desalinhamento pode originar fugas no circuito e conseqüentemente perdas de pressão. É de notar que é fulcral fazer o aperto das flanges cruzado, para que o vedante seja comprimido de igual forma em todas as partes, senão também ocorrerá fugas e um desgaste desnecessário dos materiais. De seguida, foi realizada a instalação da bomba no circuito. No entanto, quando o sistema foi ativado a fim de testar a bomba, verificou-se a existência de uma fuga. Esta fuga teve origem num vedante anelar que foi colocado a mais no decorrer da montagem da bomba. O vedante extra criou uma folga que não permitiu o aperto devido da bomba, e conseqüentemente originou a fuga. Depois de corrigido o sistema ficou operacional, sendo assim possível a circulação e arrefecimento da água. Note-se que na Figura 4.5 podemos observar não só a bomba de circulação “nova” com o seu respetivo encaixe e o encaixe antigo, mas também os dois vedantes anelares. De seguida, na Figura 4.6 podemos verificar a bomba de circulação instalada.



Figura 4.5 Bomba de circulação proveniente do GTA IV, encaixe da bomba novo e encaixe de bomba substituído.



Figura 4.6 Bomba de circulação nova instalada.

4.3.2. Substituição dos filtros

A substituição de filtros de tempo a tempo é essencial para garantir uma boa qualidade de ar interior. Foi neste seguimento que foi decidido a troca de filtros dos três grupos de tratamento de ar. Tal como pode ser observado na Figura 4.7 e Figura 4.8, os filtros já se encontravam amarelados e até rasgados. Estes indícios mostram a degradação do material e a acumulação de sujidade, o que leva à contaminação do ar e ainda causar quedas de pressão que podem ser altamente prejudiciais para os restantes equipamentos.



Figura 4.7 Pré-filtro danificado do GTA III.



Figura 4.8 Filtro de bolsa danificado.

Adquiriu-se um total de sete filtros de dois tipos diferentes: três de bolsa e quatro pré filtros. A designação dos pré filtros é F. MET. ZIG ZAG 580x510x45 G4 e dos filtros de bolsa é FILTRO 592x490x500 6B M5. A especificação de ZIG ZAG é dada devido à arquitetura do pré filtro, a especificação 580x510x45 é relativo às dimensões do filtro e, por fim, G4 é a eficiência. Filtros com eficiência G4 são destinados a filtrar partículas com diâmetro superior a 10 μm . Os filtros de bolsa, por sua vez, têm uma eficiência M5. A categoria M5 engloba filtros com média eficiência e filtram partículas superiores a 2 μm . Na Figura 4.10 e na Figura 4.9 estão representados um dos pré filtros adquiridos assim como um dos filtros de bolsa, respetivamente.



Figura 4.10 Pré-filtro.



Figura 4.9 Filtro de bolsa.

Estes filtros serviram para substituir o sistema de filtragem do GTA I e GTA III. No GTA I foram substituídos dois filtros de bolsa e dois pré-filtros, e, por sua vez, no GTA III foram substituídos um filtro de bolsa e dois ZIG ZAG. Não houve necessidade de substituição de filtros do GTA II pois estes encontravam-se em boas condições.

4.4. Instalação do distribuidor de vapor

Como já foi referido, o sistema de AVAC está munido com um humidificador que tem o objetivo de elevar o teor de humidade do ar proveniente do GTA I. Todavia, para

isto acontecer é necessário a instalação de um distribuidor de vapor na conduta na qual corre o fluxo de ar que se pretende humedecer. Foi então selecionado o distribuidor de vapor DV71-500 da Nordmann. Este equipamento pode ser observado na Figura 4.11 e as suas características na Figura 4.12. O distribuidor de vapor é constituído por um cilindro de aço inoxidável perfurado ao longo do seu comprimento. É através destes furos que o distribuidor fornece o vapor ao ar.



Figura 4.11 Distribuidor de vapor DV71-500. Extraído de nordmann.com.

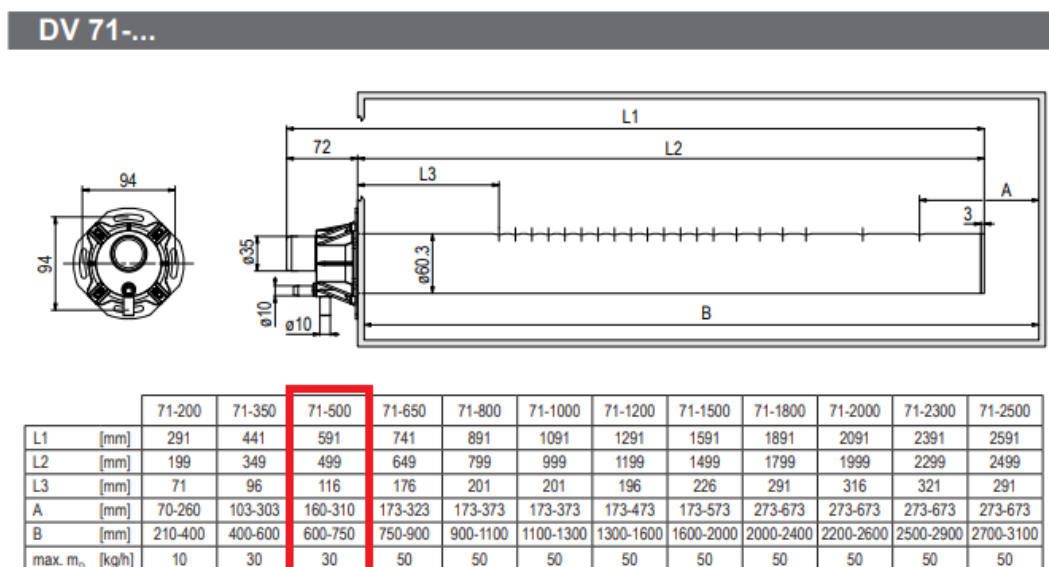


Figura 4.12 Esquema de princípio do DV71-500. Extraído de nordmann.com.

De modo a que o vapor chegue ao distribuidor é preciso uma mangueira que ligue o humidificador com o distribuidor de vapor, e é também necessário um tubo para a drenagem dos condensados formados no distribuidor. Aconselha-se a reforçar a mangueira com isolamento térmico a fim de atingir uma melhor eficiência. É imperativo garantir que não haja obstáculos até 40 cm depois da instalação do distribuidor como filtros ou sensores para que evitar a condensação nestes equipamentos. Na Figura 4.13 podemos verificar que a mangueira de alimentação de vapor conecta o topo do humidificador e a conduta de insuflação proveniente do GTA I.



Figura 4.13 Ligação entre humidificador e conduta de insuflação do GTA I. (1 – saída da mangueira do desumidificador; 2 – Entrada da mangueira na conduta de insuflação do GTA I)

4.5. Software de modelação 3D

Com o intuito de facilitar a visualização e compreensão do sistema de AVAC e da própria CC foi sugerido a utilização de um software que permitisse fazer um modelo geométrico 3D dos mesmos. Como pode ser observado na Figura 4.14, a tarefa de compreender o funcionamento do sistema no local da sua instalação não é simples devido à sua dimensão e complexidade. Nessa figura está ilustrado a CC e parte do seu sistema AVAC.



Figura 4.14 CC e respetivo sistema de AVAC.

Ficou então decidido a utilização do software *IFC Builder*, uma aplicação gratuita da *CYPE Software*, (*Cype Software*, 2021), que permite a modelação de edifícios, em formato ‘Industry Foundation Classes’ (IFC), e está integrado no fluxo de trabalho *OpenBIM*. Isto permite a exportação e importação para outros softwares da *CYPE*, nomeadamente o *EasyDuct* que possibilita a integração de condutas no modelo 3D criado com o *IFC Builder*. Permite ainda, por exemplo, a integração em softwares de simulação dinâmica para realização de estudos, por exemplo, do comportamento térmico na CC. Na Figura 4.15 é representado o modelo 3D da CC realizado com a aplicação *IFC Builder*.

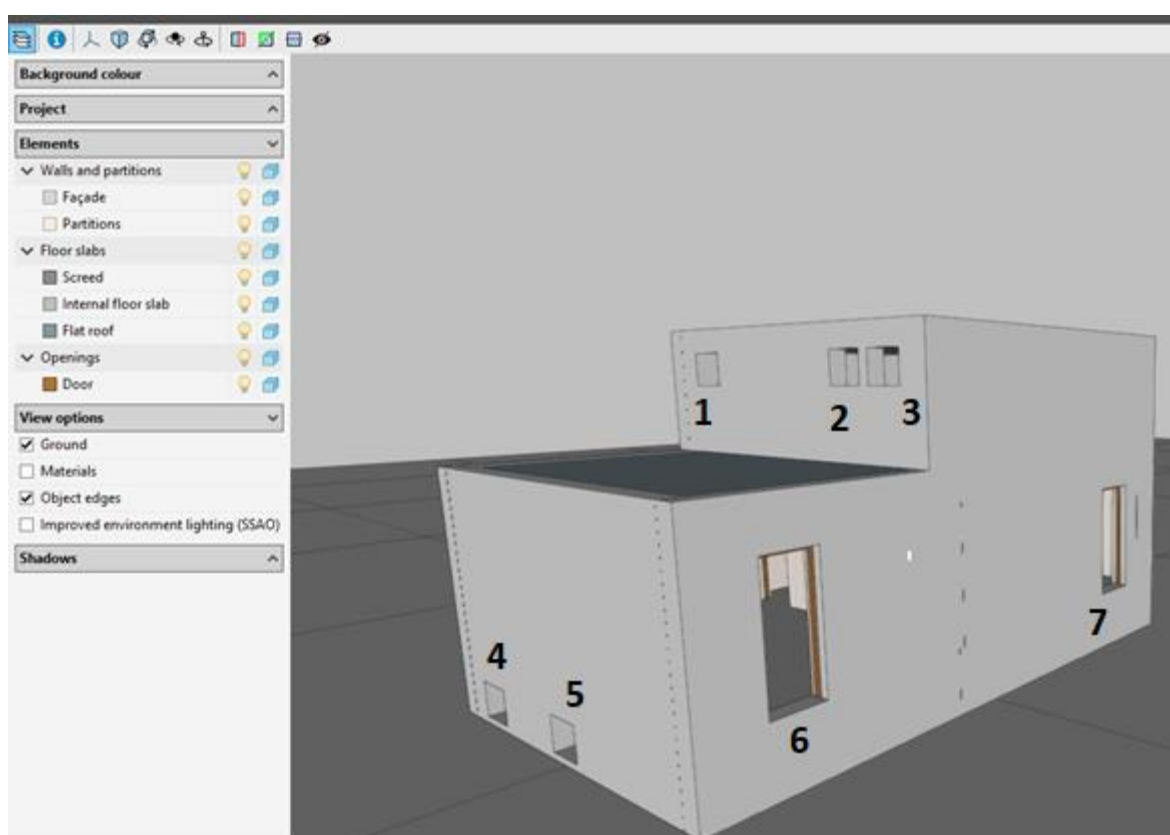


Figura 4.15 Modelo 3D da CC realizado no IFC Builder.

Legenda da figura:

- 1- Extração do GTA I
- 2- Extração do GTA II
- 3- Insuflação do GTA II
- 4- Insuflação do GTA I
- 5- Insuflação do GTA I

6- Porta da sala de controlo

7- Porta da sala principal

Um benefício da criação do modelo 3D da CC é a fácil visualização dos plenums criados para a insuflação através da ativação da transparência das superfícies ou mesmo da sua ocultação. A Figura 4.16 ilustra a CC com uma fachada oculta, permitindo compreender rapidamente a estrutura interior dos espaços (por exemplo, onde atravessam as condutas de insuflação e extração), algo que seria impossível de vislumbrar no local.



Figura 4.16 Modelo 3D da CC com fachada oculta, realizado no IFC Builder.

Legenda da figura:

1- Insuflação do GTA I

2- Insuflação do GTA I

3- Plenum inferior

4- Entrada do difusor na sala principal

5- Plenum superior

A partir do plenum inferior a insuflação é feita na CC através de grelhas colocadas no chão da sala principal, tal como apresentado na Figura 4.17. Por sua vez, o plenum superior faz a insuflação na sala de controlo através de difusores, como é ilustrado na Figura 4.18.



Figura 4.17 Grelhas de insuflação na sala principal da CC.



Figura 4.18 Difusores de insuflação na sala de controlo da CC.

Posteriormente, o ficheiro IFC foi exportado para a aplicação EasyDuct, onde foram desenhadas as condutas. Na Figura 4.19, Figura 4.20 e Figura 4.21 podemos observar a CC com as respetivas condutas de insuflação e extração.

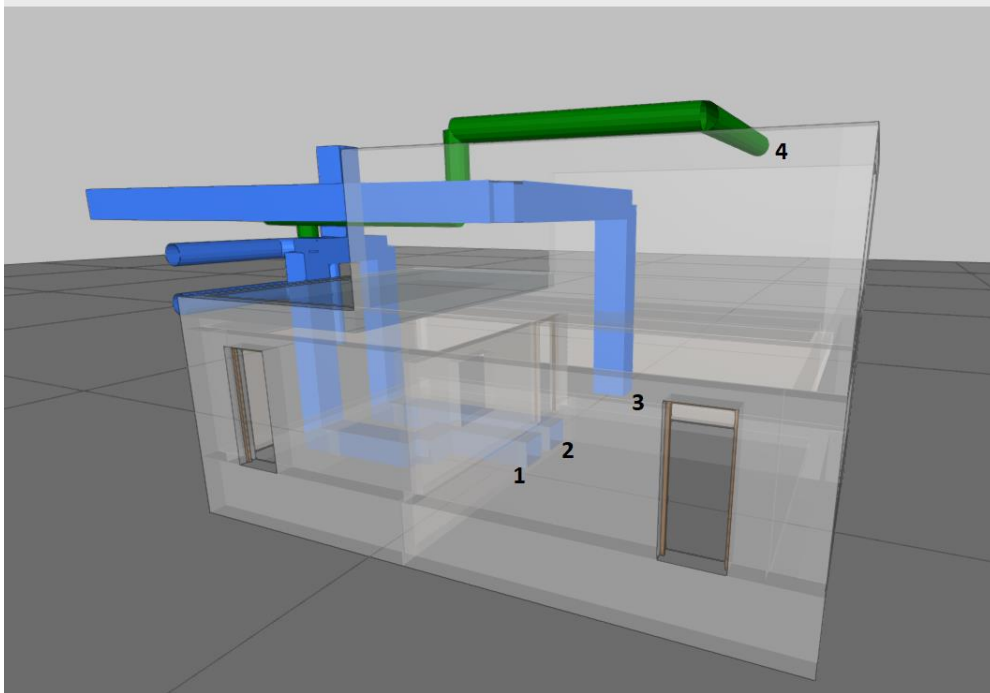


Figura 4.19 Conduas de insuflação da GTA I e GTA II, e conduta de extração do GTA III.

Legenda da figura:

- 1- Conduca de insuflação do GTA I
- 2- Conduca de insuflação do GTA I
- 3- Difusor de insuflação do GTA II
- 4- Conduca de extração de ar novo do GTA III

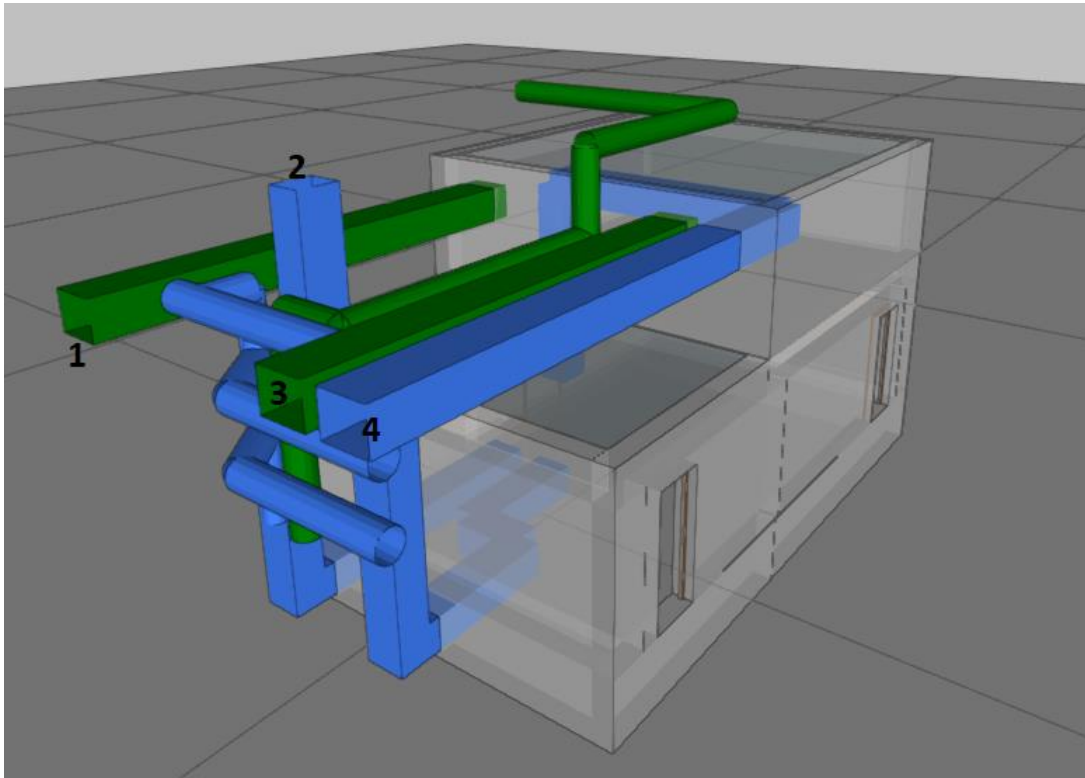


Figura 4.20 Condutas de recirculação do GTA I e GTA II.

Legenda da figura:

- 1- Conduta de extração do GTA I
- 2- Conduta de insuflação do GTA I
- 3- Conduta de extração do GTA II
- 4- Conduta de insuflação do GTA II

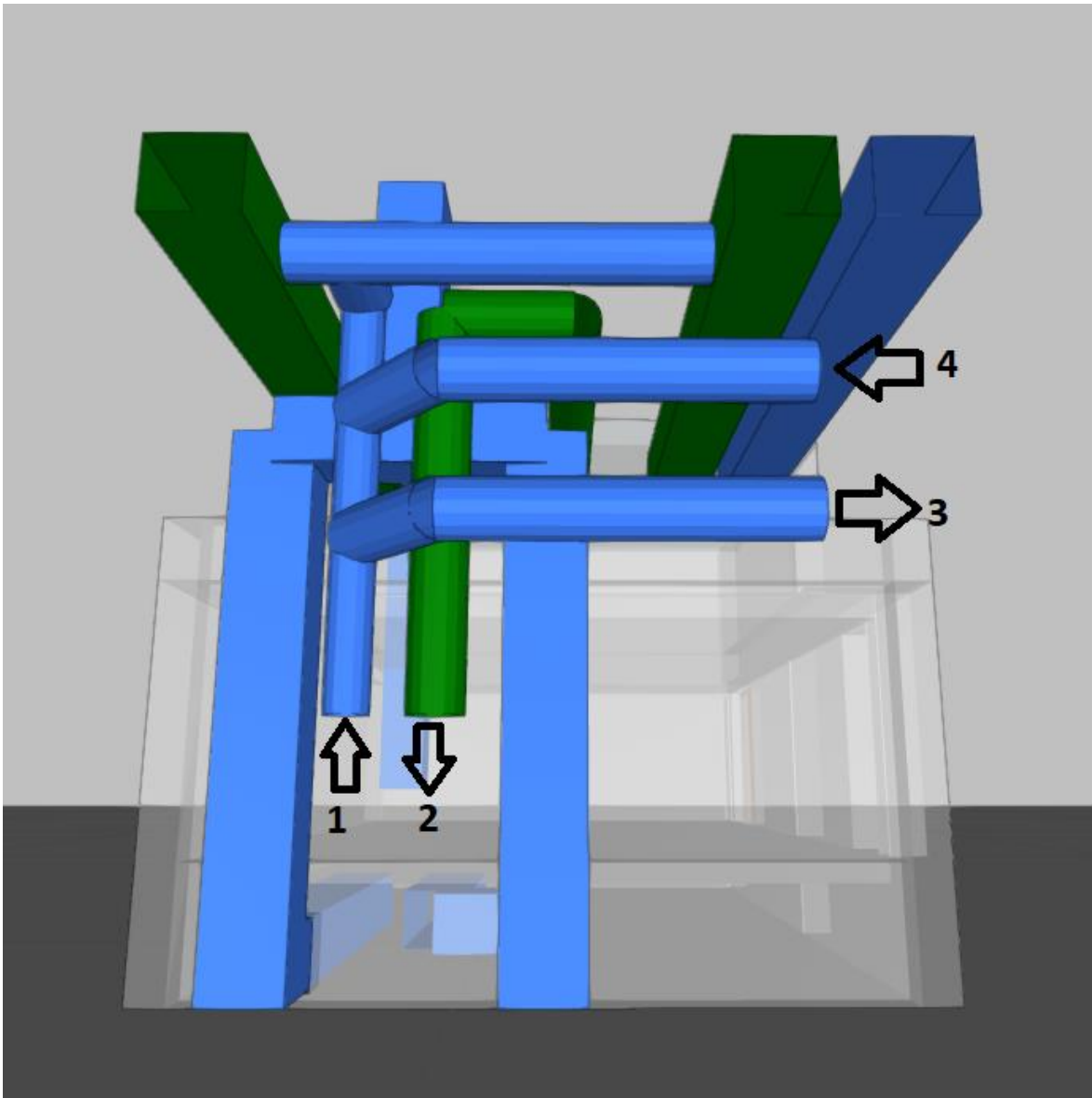


Figura 4.21 Conduitas de insuflação e extração do GTA III.


Legenda da figura:

- 1- Conduita de insuflação
- 2- Entrada de ar novo
- 3- Entrada de ar húmido no desumidificador
- 4- Saída de ar seco do desumidificador

4.6. Software de manutenção

O CMMS (Computerized Maintenance Management System) escolhido para auxiliar a manutenção do sistema de AVAC da CC foi o *Manwinwin Express* (*Manwinwin Software*, 2021). Este software, para além de intuitivo e gratuito, é extremamente extenso, o que permite a utilizadores futuros darem continuidade e aprofundarem o trabalho desenvolvido nesta aplicação. Outra vantagem é o facto de haver tutoriais disponibilizados pelo próprio fabricante em português que facilita bastante a aprendizagem do mesmo. Foram introduzidos no software os dados das três UTA, com os respetivos ventiladores centrífugos, motores elétricos, pré-filtros, filtros de bolsa, baterias de aquecimento/arrefecimento; desumidificador; humidificador; três *chillers*; bombas de circulação; tubagem; depósito de água fria; vasos de expansão; válvulas de duas e três vias; e quadro elétrico. A cada um destes equipamentos é atribuído uma ficha de identificação. Como pode ser observado na Figura 4.22, para caracterizar o equipamento é possível adicionar uma imagem do mesmo e a qual sistema pertence, assim como associar o vendedor dos equipamentos a um centro de custo com todas as respetivas informações. Caso seja necessário consultar mais detalhes, também é possível introduzir até 40 características de cada equipamento, assim como ilustrado na Figura 4.23.

Objecto X

Estrutura: FI - 0002 ... **Tipo Objecto:** FI - FILTRO **DISPONÍVEL** 

Código: FI-0002 **Descrição:** Pré-Filtro

Identificação | Características | Dados Operacionais | Info. Complementares | Notas

Pai

Sistema 02.GTA III.SF - SISTEMA DE FILTRAGEM

C. Custo 9999 - ELECTROCLIMA

Localização

Operador


Desde:

Fornecedor

Fornecedor

Data: 02/02/2021 **Registo (H):** **Vida Útil:** 0 **Investimento:**

Valor Actual: 0,00

Figura: 


Ficheiro: 

Figura 4.22 Ficha de identificação do pré-filtro do GTA III.

Objecto

Estrutura: FI - 0002 ... Tipo Objecto: FI - FILTRO **DISPONÍVEL**

Código: FI-0002 Descrição: Pré-Filtro

Identificação Características Dados Operacionais Info. Complementares Notas

01..20 21..40

01	MARCA		11	TIPO	ZIGZAG
02	MODELO	FA280	12	MATERIAL	SINTÉTICO
03	N.º SÉRIE		13	CAPACIDADE	
04	ANO	2021	14		
05			15		
06			16		
07			17		
08	COD. FUNC		18		
09	COD. PROJECTO		19	DIMENSÕES (m)	580x510x45
10	LOCALIZAÇÃO	GTA III	20	PESO (kg)	

2 / 3 OK Cancelar Aplicar

Figura 4.23 Ficha de características do pré-filtro.

Depois dos equipamentos todos devidamente registados no programa, é possível agendar as manutenções relativas a cada equipamento. A ferramenta “Plano de Manutenção” permite-nos agendar as manutenções para cada equipamento e o tipo de manutenção sistemática preventiva, sistemática condicionada, corretiva ou ainda um tipo de manutenção específico criado consoante as nossas necessidades. Podemos ainda inserir a lista de tarefas a fazer, seleccionar o tipo de mão de obra que pretendemos, simulando um custo por hora ou, por exemplo, que ferramentas a usar para realizar a manutenção. Na Figura 4.24 está representado um exemplo de um plano de manutenção sistemática anual.

Nova Ficha Manutenção Planeada

Objecto UTA-0001 - UTA III

Tipo Trab. A1 - SISTEMÁTICO

Código: A1-01 **Descrição:** Manutenção Preventiva Anual UTA III **Prev. TDM (H):** 3,00

Periodicidade
Calendário: 12 Meses Registos (H):
Próxima FMP: A1-01

Inactivo

Tarefas Preparações Mão de Obra Artigos Outros Leituras Ferramentas Documentos

PELO UTILIZADOR

Todos os anos:
Antes da temporada de utilização:
Limpeza e eliminação de corrosões das superfícies exteriores.
Verificação da inexistência de fugas de ar por juntas de painéis, portas e caixas.
Inspeção dos filtros de ar.
Eliminação de incrustações de sais e lodos.
Verificação do estado e estanquidade de ligações de água.

PELO PROFISSIONAL QUALIFICADO

Todos os anos:
Inspeção, verificação, limpeza, comprovação, substituição, medição de caudais de ar, de consumos, realização de análises de água destas unidades de tratamento de ar relativamente a aspectos gerais, módulos de arrefecimento, comportas, filtros, módulos de recuperação de energia, módulos de humidificação por injeção de vapor, módulos de humidificação por contacto,

OK Cancelar Aplicar

Figura 4.24 Ficha de manutenção planeada da UTA III.

5. CONCLUSÃO

O trabalho realizado surgiu da necessidade da atualização do hardware do sistema de AVAC associado à câmara climática presente no LAI. Este sistema, previamente às alterações, estava degradado e incompleto. O GTA III não estava operacional, dado que os pré-filtros e filtros de bolsa estavam danificados e não reuniam condições para realizar o tratamento de ar devido. Além disso, o circuito de alimentação de água da serpentina de arrefecimento encontrava-se sem uma bomba de circulação. Depois de uma avaliação feita ao estado do sistema de AVAC, conclui-se ainda que apesar do humidificador Nordamann AT4 estar instalado, este não possuía um distribuidor de vapor adequado.

Foi então decidido a aquisição e instalação de sete filtros. Dois pré filtros e dois filtros de bolsa para o GTA I, e dois pré filtros e um filtro de bolsa para o GTA III. Deste modo garantimos que o ar antes de ser insuflado na CC é devidamente tratado. Para finalizar a reativação do GTA III, foi reutilizada a bomba de circulação, que se encontrava no circuito do GTA IV. Assim, o GTA III está completamente operacional. Com o GTA III em funcionamento, podemos proporcionar aos ocupantes da CC a insuflação de um caudal de ar novo climatizado e devidamente filtrado. Foi também escolhido o distribuidor de vapor DV71-500 da Nordamnn para finalizar o sistema de humidificação que alimenta o fluxo de ar proveniente do GTA I. Depois de instalado, o sistema AVAC conseguirá garantir a manutenção de teores elevados de humidade no interior da CC.

Parte deste trabalho também foi focado em facilitar a utilização e compreensão do sistema de AVAC da CC. Através da criação de um manual de operação que detalha todos os passos para ativar os equipamentos que permitem a climatização e tratamento de ar, e como os controlar remotamente na sala de controlo. Com o auxílio do software Manwinwin Express foi possível criar uma base de dados com todos os equipamentos do sistema de AVAC, com as suas características e agendar manutenções sistemáticas para cada um. Foram ainda utilizadas aplicações de desenho e modelação geométrica para facilitar a compreensão visual do sistema de AVAC em conjunto com a CC.

Posto isto, considera-se que o trabalho realizado durante a dissertação foi vantajoso para a qualidade dos próximos teste a realizar na CC, assim como para os próximos trabalhos académicos que derem continuidade a este projeto. Sugere-se que durante a instalação do distribuidor DV71-500 se garanta a inexistência de obstáculos até 40 cm depois

do distribuidor, de modo a evitar condensação. Também é sugerido que seja realizado o isolamento térmico da mangueira do humidificador para garantir melhor eficiência térmica. Esta última sugestão também pode ser aplicada nas condutas. A aplicação de um isolamento exterior de lã de vidro com uma lâmina de alumínio permitiria uma elevada poupança térmica e impediria a formação de condensados, que aceleram a degradação das condutas.

Não obstante, o autor foi quem mais beneficiou com a realização da tese devido a todo o conhecimento adquirido durante o processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, C. A. A. de P. (1995). *Câmara Climática (Anexos)*. Universidade de Coimbra.
- ASHRAE. (2016). *HVAC Systems and Equipment* (SI Edition).
- ASHRAE Handbook. (2005). Fundamentals (I-P Edition). *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta*, 32, TC 4.7, Energy Calculations.
- California Environmental Protection Agency. (2014). *Air Cleaning Devices for the Home*. 7(July), 219–232.
- Cype Software. (2021). <http://www.cype.pt/>
- Grundfos. (n.d.). Retrieved December 9, 2020, from <https://www.grundfos.com/solutions/learn/research-and-insights/air-handling-unit>
- Manwinwin Software. (2021). <https://manwinwin.com/pt/pagina-principal/>
- Pillai, J., & Desai, R. (2018). Dehumidification Strategies and Their Applicability Based on Climate and Building Typology. *SimBuild 2018*, 759–766.
- Rojas, G. (2020). *EN779*. <https://edificioenergia.pt/>
- UIE/ACSS. (2008). *Administração Central do Sistema de Saúde*. http://www.acss.min-saude.pt/wp-content/uploads/2016/09/Especificacoes_Tecnicas_06_2008.pdf?fbclid=IwAR147W0qcHikcK8ordU3lUX6KqP04ZQM-6EqrSBSWvtsSxUBf-SR_rDjDNg
- Yik, F. W. H., & Lam, V. K. C. (1998). Chiller models for plant design studies. *Building Services Engineering Research and Technology*, 19(4), 233–241. <https://doi.org/10.1177/014362449801900407>

ANEXO A

Características gerais do GTA I e GTA II

Caudal (m^3/h)	Modelo	Tamanho	Velocidade (m/s)	P. Disp. (Pa)
4200	UTA	DØ	2.4	100

Baterias de aquecimento do GTA I e GTA II

	Potência (kW)	Entrada	Água (°C)	Tipo	ΔP Água (mCA)	ΔPAR (Pa)
-	11.6	5°C / 90%HR	-3 – 0.3	8R4C2.5	4.5	124
+	15.8	-	-	Resistivo	-	-

Sistema de filtragem do GTA I e GTA II

Tipo	Modelo	Qt.	Área (m^2)	Vel. (m/s)	Vel. (m/s)	ΔP (Pa)
Pré-filtros	FA280	2	1.2	1	1	40
Filtro de bolsa	PURAPAK 95	2	8	0.15	0.15	175

Sistema de ventilação do GTA I e GTA II

Qt.	Tipo	Vel. (rpm)	Pot. Abs. (kW)	Ruído (dBA)	P. Dinâmica (Pa)	P. Total (Pa)
2	9.9D	780	0.24	68	36	136
1	9.9D	1530	0.93	68	36	485

Motores elétricos do GTA I e GTA II

Qt.	Potência (kW)	Vel. (rpm)	Polia Motor	Polia Vent.	Correia
2	0.37	1380	V3 ½ Fechado	F4	Trapezoidal
1	1.1	1400	V4 ½ Aberto	F4	Trapezoidal

Características gerais do GTA III

Caudal (m^3/h)	Modelo	Tamanho	Velocidade (m/s)	P. Disp. (Pa)
540	UTA	NØ	??	350

Baterias de aquecimento do GTA III

	Potência (kW)	Entrada	Água (°C)	Tipo	ΔP Água (mCA)	ΔPAR (Pa)
-	7.9	32°C / 40%HR	1 – 4	4R2C2.5	5.5	11
+	9	-	-	Resistivo	-	5??

Sistema de filtragem do GTA III

Tipo	Modelo	Qt.	Área (m ²)	Vel. (m/s)	Vel. (m/s)	ΔP (Pa)
Pré-filtros	FA280	2	1.2	1	1	40
Filtro de bolsa	PURAPAK 95	1	8	0.15	0.15	175

Sistema de ventilação do GTA III

Tipo	Vel. (rpm)	Pot. Abs. (kW)	Ruído (dBA)	P. Dinâmica (Pa)	P. Total (Pa)
AZ160	2250	0.2	68	9	525

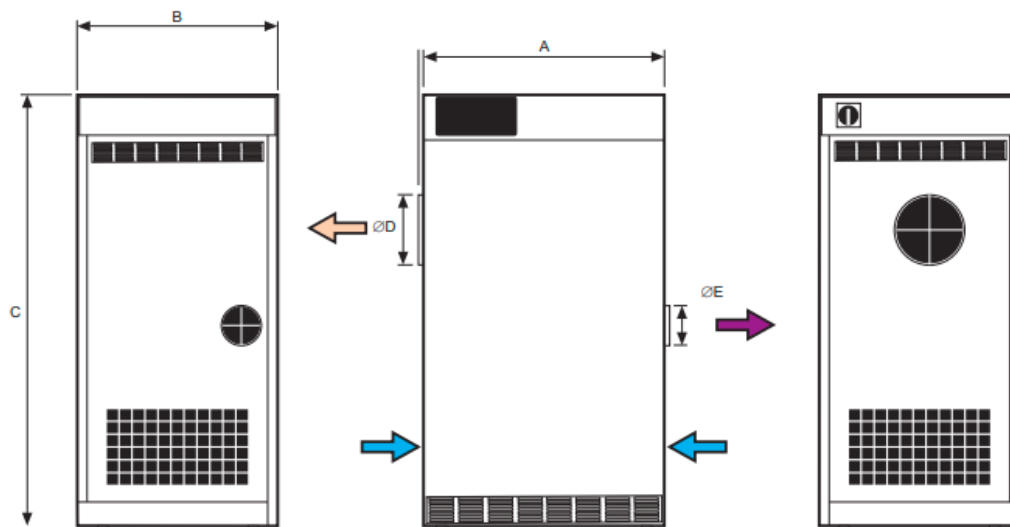
Motores elétricos do GTA III

Potência (kW)	Vel. (rpm)	Polia Motor	Polia Vent.	Correia
0.37	2800	V3 Fechado	F4	Trapezoidal

Model ML420

Diagram measurements are for reference only.

Scaled and dimensioned AutoCad drawings are available in Munters DryCap program.



Width (A)	Depth (B)	Height (C)	Diam. (D)	Diam. (E)	Weight
719 mm	590 mm	1305 mm	160 mm	100 mm	125 kg

Figura A. 1 Diagrama de medidas do desumidificador Munters 420ML.

Technical Specification

		IEC protective class (unit)	IP33
		IEC protective class (electrical panel)	IP54
Process Air			
Rated airflow (m ³ /h)	420		
Available static pressure (Pa)	200		
Reactivation air			
Rated airflow (m ³ /h)	155		
Available static pressure (Pa)	200		
Total power, voltage and current (amps/phase)			
Total power(kW)	4,57		
220V 3-50Hz (A)	12,6		
220V 3-60Hz (A)	12,6		
230V 3-50Hz (A)	12,1		
230V 3-60Hz (A)	12,1		
380V 3-50Hz (A)	7,3		
380V 3-60Hz (A)	7,3		
400V 3-50Hz (A)	7,0		
415V 3-50Hz (A)	6,7		
440V 3-60Hz (A)	6,4		
460V 3-60Hz (A)	6,1		
480V 3-60Hz (A)	5,9		
500V 3-50Hz (A)	5,6		
Miscellaneous Data			
Operating temperature (°C)	-20/+40		
Sound power level to room Lw(A) dB, all inlets and outlets ducted	66		
Air filter standard	G3		

Figura A. 2 Ficha técnica do desumidificador Munters 420ML.

Technical data

Steam output	kg/h	5	8	15	23	32	45	46	64	65	90	130
Capacity range	kg/h	1-5	1.6-8	3-15	4.6-23	6.4-32	9-45	9.2-46	12.8-64	13-65	18-90	26-90
Nominal power	kW	3.8	6.0	11.3	17.3	24.0	33.8	2x17.3	2x24.0	48.8	2x33.8	2x48.8
Steam cylinder	Quantity	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2
Heating voltage*	Volt	400V / 3- / 50.60 Hz										
Nominal current	Ampere	5.4	8.7	16.2	24.9	34.6	48.7		2x34.6	70.4	2x48.7	2x70.4
Classification	Typ e	534	834	1534	2364	3264	4564		6464	6564	9064	13064
Heating voltage*	Volt	230V / 3- / 50.60 Hz										
Nominal current	Ampere	9.4	15.1	28.2	43.3	60.2		2x43.3	2x60.2			
Classification	Typ e	532	832	1532	2362	3262		4662	6462			
Heating voltage*	Volt	400V / 2- / 50.60 Hz										
Nominal current	Ampere	9.4	15.0									
Classification	Type	524	824									
Heating voltage*	Volt	230V / 1- / 50.60 Hz										
Nominal current	Ampere	16.3	26.1									
Classification	Type	522	822									
Dimensions	Width mm	388	388	468	468	563	563	966	966	563	966	966
	Height mm	575	575	620	620	640	640	640	640	640	640	640
	Depthmm	255	255	345	345	354	354	354	354	354	354	354
Net weight	kg	12	12	19	19	28	28	62	62	30	64	64
Operating weight max.	kg	17	17	29	29	65	65	116	116	67	116	116
Control voltage	230VAC/1, 50.60Hz											
Control signal	Ein/Aus (24VDC), 0..5VDC, 0..10VDC, 1..5VDC, 2..10VDC, 0..16VDC, 3..2..16VDC, 0-20mA, 4-20mA											
Admissible duct air pressure	-0.8 kPa.. 1.5 kPa; overpressure kit (option) up to 10.0 kPa											
Water quality	Untreated drinking water with a conductivity of 125..1250 µs/cm											
Type of protection	IP21											
Conformity	CE,VDE, GOST											

* Other voltages available: 380V, 415V, 440V, 460V, 480V, 500V (all 50/60 Hz)

Figura A. 3 Ficha técnica humidificador Nordmann AT4.

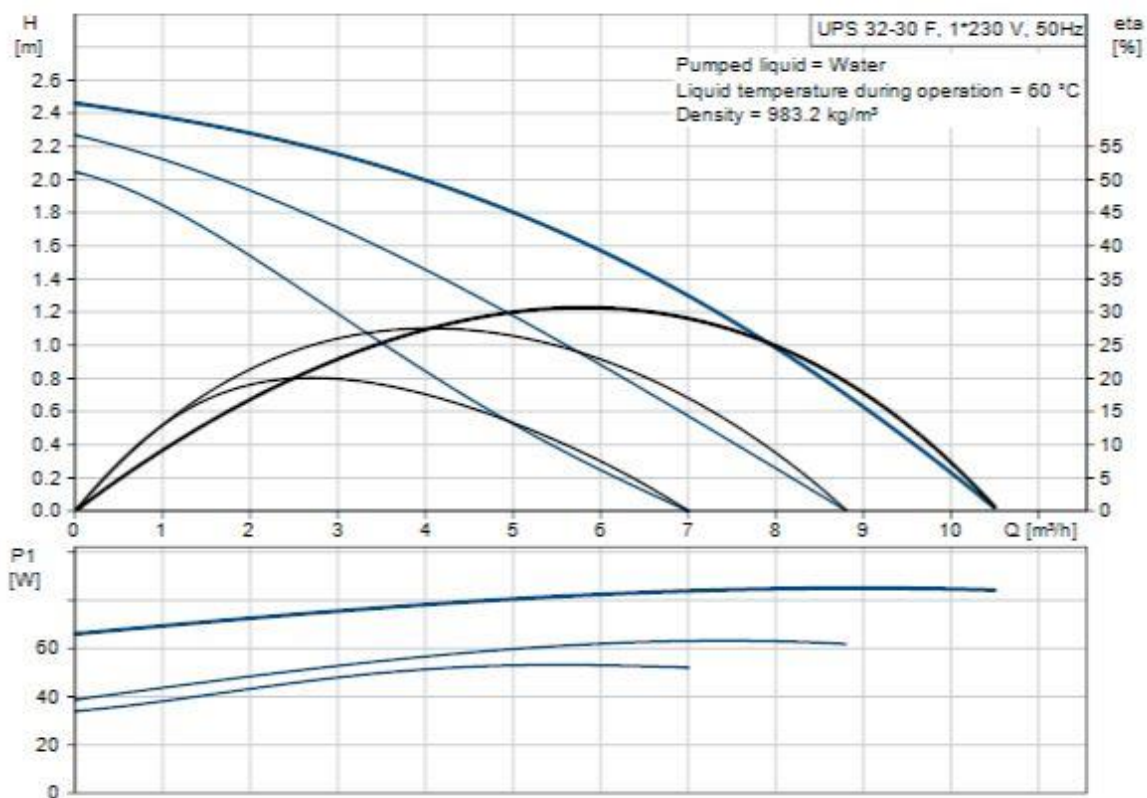


Figura A. 4 Curva de performance relativa à bomba de circulação Grundfos UPS 32-30

Características gerais da bomba GRUNDFOS UPS 32-30 F

Altura máx. da coluna de água	Conexão da tubagem	Pressão nominal	Temperatura de serviço	Temperatura do líquido
30dm	DN32	PN 6/10	0°C a 40°C	-10°C a 120°C

APÊNDICE A

Manual de operação do sistema AVAC da CC

Manual de operação

Neste manual encontra-se uma lista detalhada de ações para realizar o arranque dos três grupos de tratamento de ar, da alimentação da câmara climática, como tomadas e iluminação, o arranque dos grupos de refrigeração e das bombas que fazem circular a água no circuito de arrefecimento.

Na Figura AP. 1 encontra-se o painel de controlo do quadro elétrico do sistema. É neste painel que podemos energizar os equipamentos e de seguida ativá-los através dos respetivos controlos. Este painel possibilita também a consulta de quais equipamentos estão ligados, através de sinais luminosos e uma etiqueta com o equipamento correspondente; possibilita ainda a leitura das temperaturas da água na linha e no retorno.

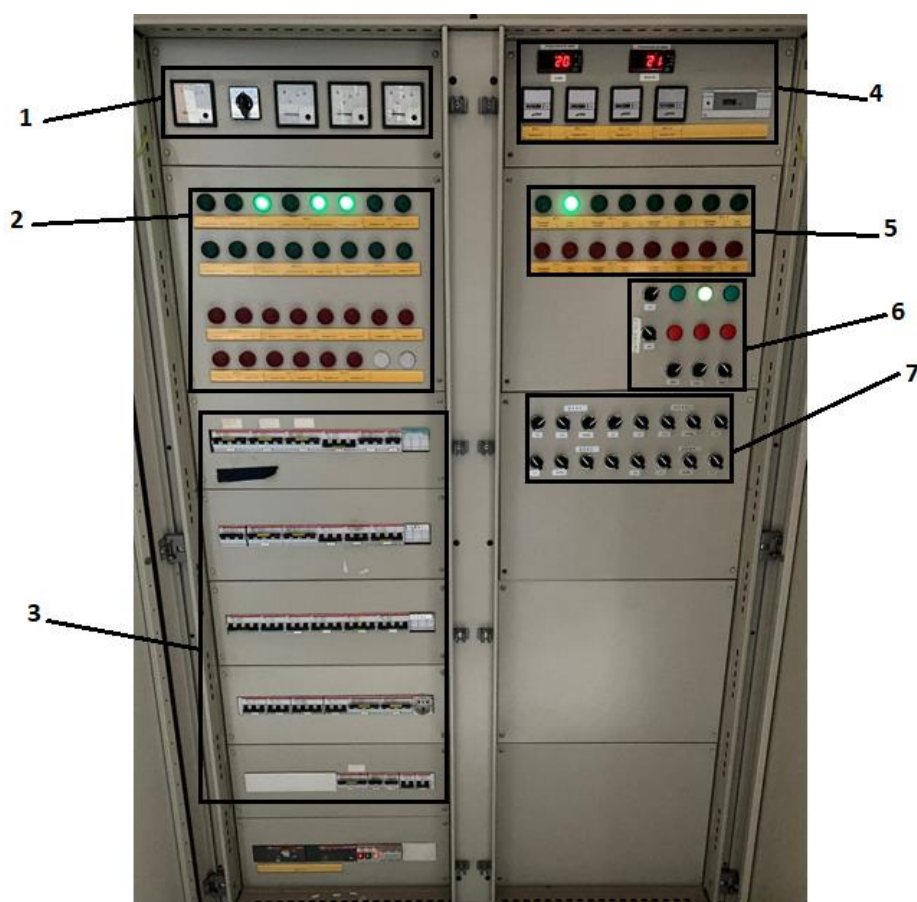


Figura AP. 1 Quadro elétrico do sistema de AVAC.

Legenda da figura:

- 1- Voltímetro e amperímetros
- 2- Sinais luminosos que indicam se os equipamentos estão ligados
- 3- Disjuntores dos equipamentos do sistema de AVAC
- 4- Leitores da temperatura da água de linha e retorno
- 5- Sinais luminosos que indicam se os equipamentos estão ligados
- 6- Interruptores ON/OFF do sistema frigorífico e respetivos sinais luminosos
- 7- Interruptores ON/OFF dos GTA

Corte geral

O primeiro passo a realizar, de modo a fazer a ativação do sistema de AVAC, é colocar o interruptor do corte geral na posição “On” (Figura AP. 2). Sem a ativação do corte

geral não é possível ligar mais nenhum equipamento através do quadro elétrico, pois este disjuntor é o que permite aos restantes ter acesso a energia.



Figura AP. 2 Interruptor do corte geral.

Câmara climática

De seguida, para que seja possível a utilização da câmara climática é necessário ativar os disjuntores D22, D23, D24, D25, D26 e D27, que estão assinalados na Figura AP. 3 e na Figura AP. 4.

D23 – Iluminação e tomadas da CC

D24 – Controlos remotos do sistema AVAC na CC

D25 – Autómato I

D26 – Autómato II

D27 – Autómato III



Figura AP. 3 Disjuntores respetivos à CC.

D22 - Computador de controlo e das placas de aquisição e placas de envio

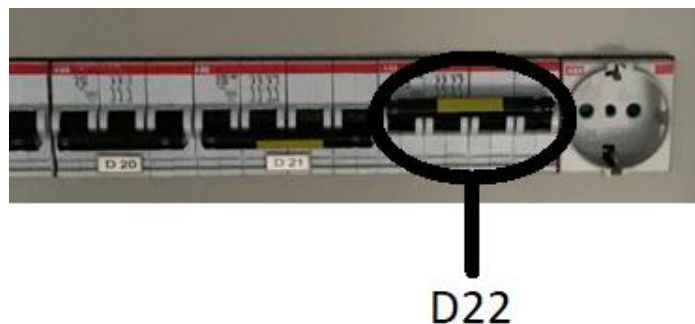


Figura AP. 4 Disjuntor das placas de aquisição e envio.

Grupo de Tratamento de Ar I

O quadro elétrico do grupo de tratamento de ar I é composto por quatro disjuntores: D3, D4, D6 e D7, que estão assinalados na Figura AP. 5.

D3 e D4 – Ventiladores de insuflação, circulação e extração

D6 – Resistências elétricas

D7 – Bomba de circulação



Figura AP. 5 Disjuntores do GTA I.

Assim, depois de o quadro elétrico estar a fornecer energia aos componentes do GTA I, é necessário ativar os respetivos interruptores, assinalados na Figura AP. 6.



Figura AP. 6 Interruptores do GTA I.

Legenda da figura:

- 1 – Ventilador não modular
- 2 – Ventiladores modulares
- 3 – Resistência elétrica
- 4 – Bomba de circulação

Grupo de Tratamento de Ar II

O quadro elétrico do grupo de tratamento de ar II é composto por quatro disjuntores: D8, D9, D11 e D12, que estão assinalados na Figura AP. 7 e na Figura AP. 8.

D8 e D9 – Ventiladores de insuflação, circulação e extração

D11 – Resistências elétricas

D12 – Bomba de circulação



Figura AP. 7 Disjuntores do GTA II.

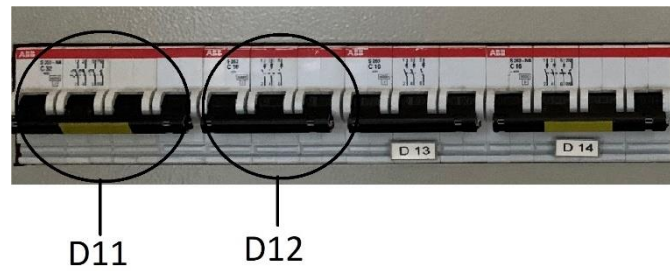


Figura AP. 8 Disjuntores do GTA II.

Uma vez que o quadro elétrico está ligado, podemos então acionar os equipamentos através do painel de controlo ilustrado na Figura AP. 9.

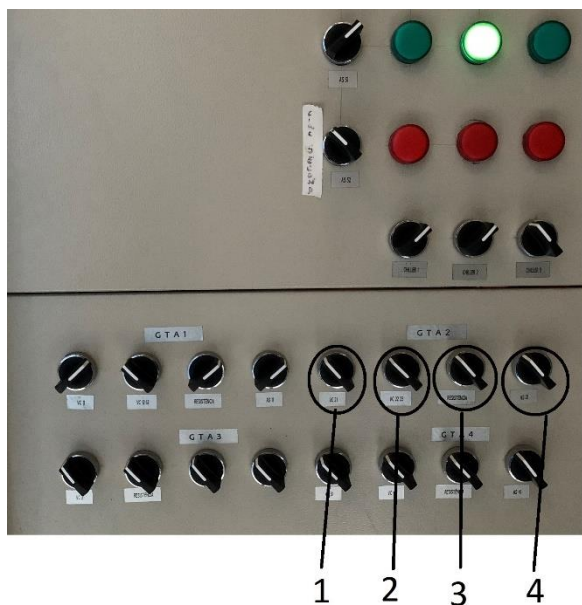


Figura AP. 9 Interruptores do GTA II.

Legenda da figura:

- 1 – Ventilador não modular
- 2 – Ventiladores modulares
- 3 – Resistência elétrica
- 4 – Bomba de circulação

Grupo de Tratamento de Ar III

O quadro elétrico do GTA III, para além dos disjuntores dos equipamentos inerentes à UTA tem também o disjuntor do humidificador a vapor e do desumidificador, apresentado na Figura AP. 10 e na Figura AP. 11.

D13 – Ventilador

D14 – Resistências elétricas

D15 – Humidificador de vapor

D16 - Desumidificador

D17 – Bomba de circulação



Figura AP. 10 Disjuntores do GTA III, humidificador e desumidificador.



Figura AP. 11 Disjuntores do GTA III.

De modo a ligar os equipamentos do GTA III é necessário ativar o painel de controlo respetivo como podemos verificar na Figura AP. 12.



Figura AP. 12 Interruptores do GTA III.

Legenda da figura:

1 – Ventilador

2 – Resistência elétrica

Grupos frigoríficos

De modo a ativar o circuito de água refrigerada e os *chillers* é necessário ligar os disjuntores D01, D02, D03, D1 e D2, apresentados na Figura AP. 13.

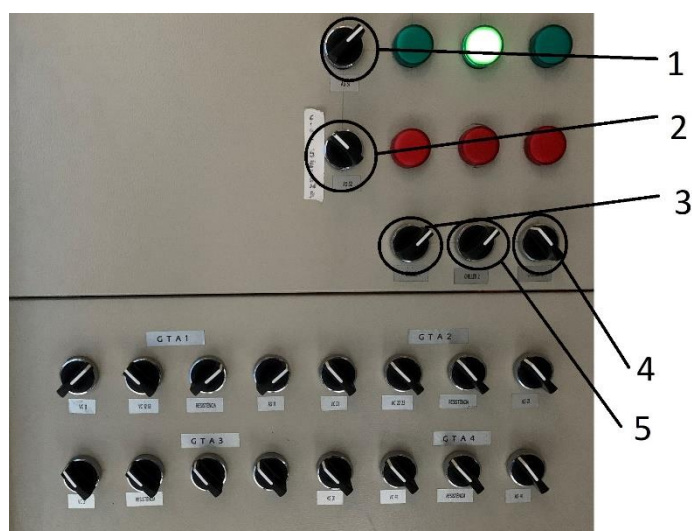
D01, D02, D03 – Grupos Frigoríficos

D1 e D2 – Bombas de circulação



Figura AP. 13 Disjuntores do grupo frigorífico.

Por fim, assim como foi feito para os GTA, é também necessário o acionamento dos interruptores respetivos aos grupos frigoríficos (Figura AP. 14).



Legenda da figura:

- 1 – Bomba de circulação
- 2 – Bomba de circulação
- 3 – Chiller 1
- 4 – Chiller 2
- 5 – Chiller 3

Figura AP. 14 Interruptores do grupo frigorífico.

Humidificador e desumidificador

Depois de ativados os disjuntores do humidificador, D15, e do desumidificador, D16 (Figura AP. 10), prossegue-se à ativação manual dos mesmos. Note-se que a ativação é feita no equipamento e não no quadro elétrico (Figura AP. 15).

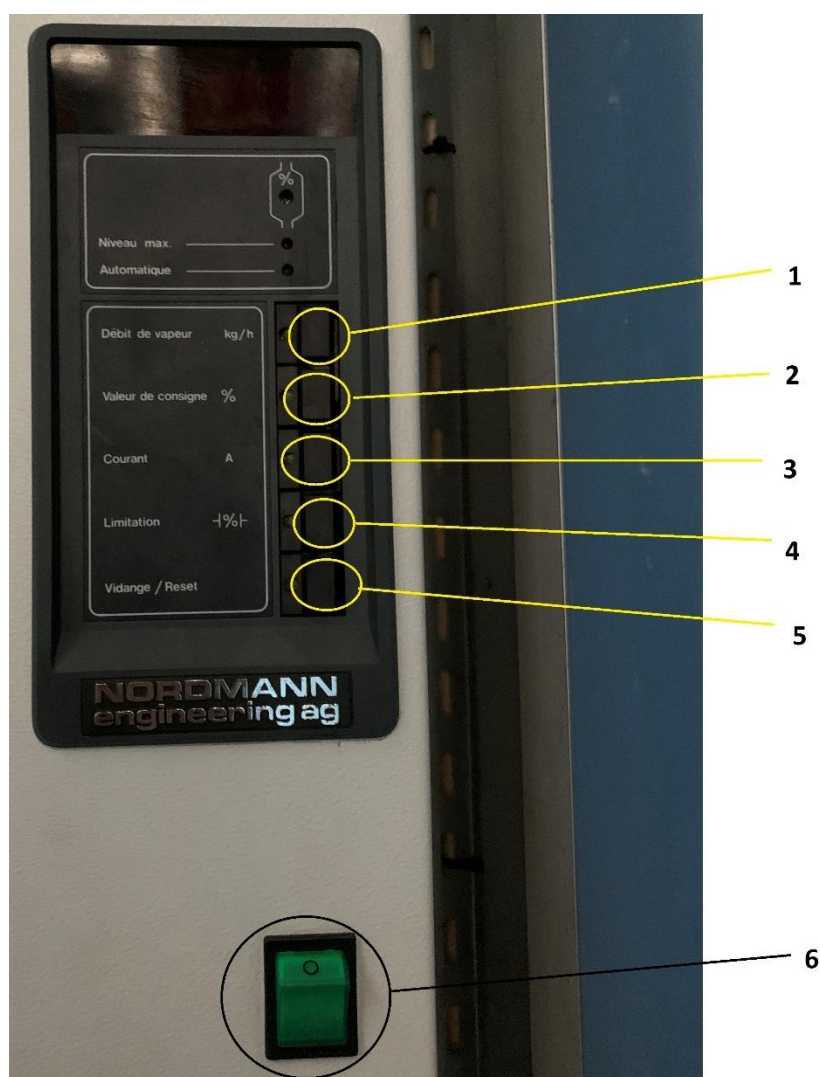


Figura AP. 15 Painel de ativação e controle do humidificador.

Legenda da figura:

- 1 – Débito de vapor (kg/h)
- 2 – Ponto de regulação (%)
- 3 – Corrente (A)
- 4 – Limitação (%)
- 5 – Reset

O desumidificador (Figura AP. 16), por sua vez, pode operar de duas formas: automático (AUT) ou manual (MAN).



Figura AP. 16 Painel de ativação do desumidificador.

Quando o desumidificador se encontra em modo AUT os ventiladores de desumidificação, o rotor e as resistências de reativação operam a partir do momento em que o teor de humidade excede o valor dado.

No modo MAN o desumidificador opera continuamente na capacidade máxima. Para operar o desumidificador em modo MAN é necessário realizar os seguintes passos:

- 1- Iniciar o equipamento, ativando o interruptor principal.
- 2- Colocar o interruptor de modos na posição MAN e verificar que os LED que se encontram no painel de controlo estão acesos.
- 3- Deixar o equipamento ligado durante 8 minutos, com o propósito de estabilizar as condições de operação. (Note-se que depois da desativação do equipamento, a ventoinha de ar de reativação continuará a trabalhar para dissipar o calor residual.)

Para informação mais detalhada deve-se consultar o manual de operação fornecido pela Munters.

LabVIEW

Para o controlo remoto do sistema de AVAC, usa-se o computador localizado na CC. Este está provido do software LabVIEW e ao iniciá-lo deparamo-nos com o layout ilustrado na Figura AP. 17. Depois de se seleccionar as configurações pretendidas para o sistema de AVAC, basta pressionar o botão START para dar início à climatização e tratamento de ar devidos.

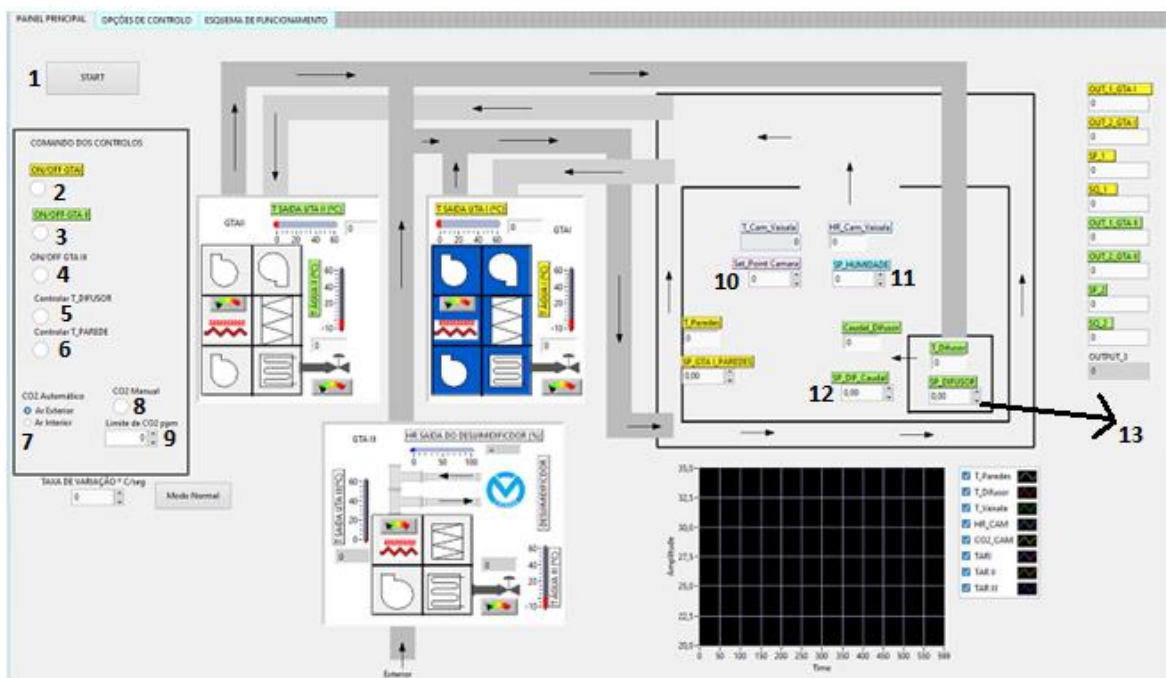


Figura AP. 17 Display de controlo do sistema AVAC no LabVIEW.

Legenda da figura:

- 1 – START
- 2 – ON/OFF GTA I
- 3 - ON/OFF GTA II
- 4 - ON/OFF GTA III
- 5 – Controlo de temperatura do difusor
- 6 – Controlo de temperatura das paredes
- 7 – Controlo de CO_2 para nível de ar exterior/ar interior

- 8 – Ativar controlo de CO_2 manual
- 9 – Limite manual de CO_2 (apenas se CO_2 for ativado)
- 10 – Setpoint de temperatura na CC
- 11 – Setpoint de humidade relativa na CC
- 12 – Setpoint de caudal de ar do difusor
- 13 – Setpoint de temperatura do difusor