



Mestrado em
Engenharia Mecânica

Sistemas de Desenfumagem e Climatização do Hospital CUF Tejo

Relatório de Estágio
apresentado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica
Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos

Autor

Samuel Filipe Bispo Freire

Orientador

António Manuel de Moraes Grade

Professor do Departamento de Engenharia Mecânica
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor

Paulo Festas
COO
Climacer, Lda.

Coimbra, maio, 2020

AGRADECIMENTOS

Durante o decorrer do estágio curricular que agora termina, foram várias as pessoas que me ajudaram neste percurso, com as quais tive a honra de poder aprender e trabalhar. Por isso, aproveito a oportunidade para deixar os meus sinceros agradecimentos.

À minha família, em especial ao meu pai Fernando, à minha mãe Noémia e ao meu irmão Fábio, quero agradecer todo o apoio, carinho e confiança depositada, por terem acreditado em mim, mesmo quando eu não acreditava. A eles, devo tudo!

A todos os meus amigos, agradeço todo o apoio dado durante esta caminhada, que tornou o percurso um pouco mais fácil.

A toda a equipa da Climacer, Lda., um muito obrigado, não só pela oportunidade de realizar o estágio curricular, mas principalmente por me acolherem naquela que é a grande família Climacer.

Ao Eng. Paulo Festas, um grande obrigado pela orientação, disponibilidade de ajuda, e acompanhamento ao longo de todo o estágio.

Ao Eng. Luís Nery, um especial obrigado, não só por todos os ensinamentos transmitidos, mas principalmente por todo apoio, paciência e dedicação, que me ajudaram a crescer não só como profissional, mas também como pessoa.

Ao Prof. Adj. António Grade, quero agradecer o apoio e acompanhamento prestado, não só durante a realização do estágio curricular, mas também por todo o meu percurso pelo ensino superior.

A todos vós, o meu muito obrigado!

RESUMO

O objetivo do presente relatório é a descrição das atividades desenvolvidas durante o estágio na empresa Climacer, nomeadamente a análise da perda de carga num circuito hidráulico de alimentação de unidades de tratamento de ar e o sistema de desenfumagem do Hospital CUF Tejo.

A perda de carga num circuito, seja ele aerólico ou hidráulico, é um fator muito importante, no que diz respeito ao consumo energético. Entre dois circuitos análogos, aquele que apresentar um menor valor de perda de carga irá necessitar de menos energia para que o fluido que nele circula possa fluir.

É importante conhecer a perda de carga de um circuito, de modo a realizar uma boa seleção do grupo propulsor do circuito em questão. Um grupo propulsor sobredimensionado, para além de um maior custo inicial, irá apresentar um maior consumo energético, algo que é indesejável, principalmente nos dias que correm.

Um dos objetivos principais do presente relatório é a análise da perda de carga num circuito hidráulico de alimentação de unidades de tratamento de ar do Hospital CUF Tejo. Como tal, o circuito em questão será analisado em detalhe, de forma a obter um valor da sua perda de carga.

De uma forma mais breve, é também abordado o tema da desenfumagem, visto ter sido um tema presente em grande parte do estágio curricular.

Palavras-chave: AVAC, Perda de carga, Circuito Hidráulico, Desenfumagem.

ABSTRACT

The purpose of this report is to describe the activities developed during the internship at Climacer Lda., namely the analysis of the head loss in a hydraulic circuit supplying air treatment units and the smoke evacuation system of the CUF Tejo Hospital.

Head loss in a circuit, whether aerolic or hydraulic, is a very important factor, when it comes to energy consumption. Between two similar circuits, the one with the lowest pressure drop value will require less energy so that the circulating fluid can flow.

It's important to know the pressure drop in a circuit, in order to make a good selection of the drive group of the circuit in question. An oversized circulator, in addition to a higher initial cost, will have a higher energy consumption, something that is undesirable, especially these days.

One of the main objectives of this report is to analyze the pressure drop in a hydraulic circuit for supplying air handling units at CUF Tejo Hospital. As such, the circuit in question will be analyzed in detail, in order to obtain a value of its head loss.

Briefly, the topic of smoke extraction is also addressed, as it was a present theme throughout most of the internship.

Keywords: HVAC, Head loss, Hydraulic circuit, Smoke extraction.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do Tema	1
1.2. Principais Objetivos	2
1.3. Organização do Relatório	2
2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	3
2.1. Área de Negócio	4
2.2. Principais Referências.....	4
2.2.1. Barragem do Tua - Douro.....	4
2.2.2. Hospital CUF Tejo – Lisboa.....	5
2.2.3. Convento São Francisco – Coimbra	7
3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO CURRICULAR.....	9
4. DESENFUMAGEM.....	11
4.1. Definições	11
4.2. Noções Básicas de Desenfumagem	12
4.2.1. Método Natural-Natural	13
4.2.2. Método Natural-Mecânico.....	13
4.2.3. Método Mecânico-Natural.....	14
4.2.4. Método Mecânico-Mecânico.....	14
4.3. Aplicação de Sistemas de Controlo de Fumos.....	14
4.4. Controlo de Fumos em Vias de Evacuação Horizontais.....	15
4.4.1. Desenfumagem Passiva	16
4.4.2. Desenfumagem Ativa	18
4.4.3. Sobrepressão	19
4.5. Vias de Evacuação Verticais.....	19
4.5.1. Desenfumagem Passiva	20

4.5.2.	Sobrepessão.....	22
5.	HOSPITAL CUF TEJO.....	25
5.1.	Apresentação da Obra.....	25
5.2.	Sistema de Desenfumagem do Hospital CUF Tejo.....	26
5.2.1.	Ventiladores de Desenfumagem.....	26
5.2.2.	Conduitas de Desenfumagem.....	29
5.2.3.	Registos de Desenfumagem.....	31
5.2.4.	Problemas Encontrados em Obra.....	32
5.3.	Sistema de Alimentação das Unidades de Tratamento de Ar.....	37
5.3.1.	Unidades de Tratamento de Ar.....	37
5.3.2.	Chillers.....	41
5.3.3.	Caldeiras.....	44
5.3.4.	Bombas de Circulação.....	46
5.4.	Análise da Perda de Carga do Circuito Hidráulico de uma UTA.....	48
5.4.1.	Fórmula de Cálculo da Perda de Carga em Tubagem.....	49
5.4.2.	Perda de Carga Contínua.....	53
5.4.3.	Perdas de Carga Localizadas.....	58
6.	CONCLUSÃO.....	63
7.	BIBLIOGRAFIA.....	65
8.	ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fachada da empresa Climacer Lda., em Trouxemil	3
Figura 2.2 - Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua	4
Figura 2.3 - Ventiladores de Desenfumagem da Barragem do Tua	5
Figura 2.4 - Fotomontagem do Hospital CUF Tejo	5
Figura 2.5 - Cobertura do HCT	6
Figura 2.6 - Central Técnica dos Chillers.....	7
Figura 2.7 - Convento de São Francisco, Coimbra [João Duarte].....	7
Figura 2.8 - Central Técnica do Convento São Francisco, Coimbra.....	8
Figura 4.1. Desenfumagem passiva para edifícios de altura não superior a 20 m.	16
Figura 4.2. Desenfumagem passiva para edifícios de altura entre 20 m e 28 m	17
Figura 4.3. Pormenor para ventilação de desenfumagem.....	18
Figura 4.4. Controlo de fumos por meios naturais nas vias verticais com abertura permanente no topo	20
Figura 4.5. Controlo de fumos por meios naturais nas vias verticais com exutor no topo.....	21
Figura 4.6. Exutor de desenfumagem instalado na cobertura do HCT	21
Figura 5.1. Implantação do Hospital CUF Tejo	25
Figura 5.2. Fotomontagem do Hospital CUF Tejo.....	26
Figura 5.3. Ventilador Systemair AXC 1250	27
Figura 5.4. Diagrama de pressão do ventilador Systemair AXC 1250-8.	28
Figura 5.5. Ventilador MUB 062 630D4.....	28
Figura 5.6. Ventilador BKF 500D4-XS no HCT.....	29
Figura 5.7. Exemplo de condutas projetadas com Dossolan no HCT	30
Figura 5.8. Prumada de conduta projetada com Dossolan HCT	30
Figura 5.9. Pormenor de condutas revestidas a “Tria-Dossolan”	31
Figura 5.10. Cortes frontal e lateral do RD.04	33

Figura 5.11. Cortes frontal e lateral do RD.40	34
Figura 5.12. Localização do RD.13 no Piso 0, HCT	35
Figura 5.13. Corte lateral do RD.13	35
Figura 5.14. Nicho onde se irá localizar o registo RD.18 no HCT	36
Figura 5.15. Ventiladores de uma UTA do HCT	38
Figura 5.16. UTAN.P-01.11, HCT	40
Figura 5.17. Chiller SYSCREW 1130 WATER RC EVO DES	42
Figura 5.18. Condensador a ar do chiller do HCT	44
Figura 5.19. Corpo principal das caldeiras do HCT	46
Figura 5.20. Bomba Hidráulica Grunfos TPE3 D 40-240-S-A-F-A-BQQE.....	47
Figura 5.21. Tubagem de Ferro Preto do HCT	53
Figura 5.22. Perda de carga da tubagem do circuito de água fria.....	56
Figura 5.23. Perda de carga da tubagem do circuito de água quente	57
Figura 5.24. Filtro do tipo “y” na alimentação de uma UTA do HCT	58
Figura 5.25. Válvula de borboleta, HCT	61
Figura 5.26. Somatório das perdas de carga localizadas, no circuito de água quente.....	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1. Características da UTAN.P-01.11.	39
Tabela 5.2. Características dos chillers do HCT.	41
Tabela 5.3. Características dos condensadores dos chillers do HCT	43
Tabela 5.4. Características das caldeiras do HCT.	45
Tabela 5.5. Características da bomba Grundfos TPE3 D 40-240-S-A-F-A-BQQE	48
Tabela 5.6. Diferentes fórmulas para cálculo da perda de carga.	49
Tabela 5.7. Valores do coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C).....	52
Tabela 5.8. Levantamento de tubagem do circuito de água fria.....	54
Tabela 5.9. Diâmetro interno da tubagem	55
Tabela 5.10. Valores do coeficiente “K _v ” para filtros “y”.....	59
Tabela 5.11. Coeficiente de perda de carga localizada.....	60

SIMBOLOGIA

A – Área [m^2]

g – Aceleração da gravidade [m/s^2]

h_f – Perda de carga [m.c.a.]

J – Perda de carga unitária [m.c.a./m]

Q – Caudal volumico [m^3/h]

p – Pressão [bar]

P – Potência [kW]

T – Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]

v – Velocidade [m/s]

ABREVIATURAS

AQS – Água Quente Sanitária

AT – Área Técnica

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

HCT – Hospital CUF Tejo

IAPMEI – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação

ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

MEM – Mestrado em Engenharia Mecânica

MEP – *Mechanical, Electrical and Plumbing*

ORL - Otorrinolaringologia

PIMST – Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos

PME – Pequenas e Médias Empresas

SGTC – Sistemas de Gestão Técnica Centralizada

SI – Sistema Internacional

UCIP – Unidade de Cuidados Intensivos Polivalente

UCPA – Unidade de Cuidados Pós-Anestésicos

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

VRV – Volume de Refrigerante Variável

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do Tema

Um sistema de desenfumagem tem como principal objectivo garantir a segurança e a possibilidade de se proceder à evacuação de um edifício vítima de um incêndio. No Capítulo 4 do presente relatório estão presentes os principais fundamentos da desenfumagem e sistemas de controlo de fumos. A necessidade da abordagem da desenfumagem prende-se pelo facto de este tema ter tido uma importante e longa presença no decorrer do estágio curricular.

A análise da perda de carga de um circuito hidráulico é um estudo que se enquadra dentro do projeto do sistema de climatização.

A perda de carga num circuito hidráulico refere-se à energia perdida pela água ao percorrer a tubagem onde se encontra. Esta perda de energia é provocada pelo atrito entre a água e as paredes da tubagem, devido à rugosidade da mesma.

Existem dois tipos de perda de carga:

- Perdas de cargas contínuas: são aquelas relativas às perdas de energia ao longo da tubagem, e dependendo principalmente do comprimento da tubagem, material e diâmetro.
- Perdas de carga localizadas: são aquelas que dependem de todos os acessórios instalados no circuito hidráulico.

Durante a fase de projeto de uma obra, uma das fases deste processo passa pelo dimensionamento das bombas hidráulicas. Para uma correta seleção de uma bomba hidráulica, é necessário a análise da perda de carga do circuito hidráulico onde a bomba estará inserida.

É muito importante um bom dimensionamento das bombas hidráulicas. Uma bomba hidráulica bem dimensionada irá ter um bom funcionamento e terá uma boa eficiência energética, algo cada vez mais importante nos dias de hoje.

Porém, deste a fase de projeto até à execução do circuito hidráulico, poderão existir pequenas diferenças no seu traçado, devido a situações que são impossíveis de prever previamente à instalação. Com estas alterações, também a perda de carga se poderá desviar ligeiramente do valor previsto.

1.2. Principais Objetivos

Este relatório é elaborado no âmbito do estágio curricular, referente ao segundo ano do Mestrado em Engenharia Mecânica (MEM) – Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos (PIMST), do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC).

Este documento relata um pouco do trabalho desenvolvido durante o estágio curricular, que decorreu na empresa Climacer Lda., de novembro de 2018 a julho de 2019.

O principal objetivo deste estágio curricular terá sido integrar o aluno no mercado de trabalho, neste caso na área de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), possibilitando demonstrar ao aluno o funcionamento de uma empresa, bem como a aplicação de conhecimentos adquiridos durante o primeiro ano do MEM - PIMST.

A aprendizagem de conhecimentos práticos na área da climatização foi também um dos objetivos sempre em mente ao longo do estágio curricular.

1.3. Organização do Relatório

O presente relatório tem início com uma apresentação da empresa onde decorreu o estágio curricular, seguida de uma descrição das tarefas desenvolvidas durante o mesmo.

De seguida é apresentada uma breve lista de definições básicas de desenfumagem, com o objetivo de facilitar a leitura e compreensão do presente relatório.

Posteriormente são analisados os princípios gerais do movimento de fumos proveniente de incêndios em edifícios, assim como os meios e processos para o seu controlo. Como exemplo prático, será analisado o sistema de desenfumagem das futuras instalações do Hospital CUF Tejo, abordando alguns dos problemas encontrados em obra.

Por fim, surge o principal tema deste relatório, a obra do Hospital CUF Tejo. Aqui é tida uma abordagem geral sobre a obra, tais como a sua localização, características do hospital e custo da obra. São abordados alguns dos problemas encontrados em obra, nomeadamente a nível de desenfumagem. De seguida é analisado com maior detalhe o circuito hidráulico de alimentação de uma unidade de tratamento de ar, com a análise da perda de carga do circuito.

2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA



Figura 2.1 - Fachada da empresa Climacer Lda., em Trouxemil

A Climacer é uma empresa especializada em instalações especiais (MEP) abrangendo o projeto, instalação e assistência pós-venda. Atua nas áreas de Climatização (AVAC), Aquecimento (com sistemas a água ou de expansão direta), Ventilação, Águas e Esgotos, Desumidificação e Despoeiramento. É seu principal objetivo assegurar o conforto térmico e o controlo da qualidade do ar no interior das instalações e com máxima eficiência.

Iniciou a sua atividade em **1990**, focando-se na área de AVAC e canalizações.

Em **1993** muda as suas instalações para a Zona Industrial da Pedrulha, Coimbra, e define novos objetivos de desenvolvimento de projeto, fabrico de condutas e empreitadas de maiores dimensões.

Em **2001** é considerada PME excelência pelo IAPMEI.

Em **2006** constrói novas instalações em Trouxemil, onde ainda hoje se situa.

Em **2009** expande-se a nível técnico e obtém reconhecimento de PME Líder.

Em **2015** é adquirida por novos sócios e uma nova gerência que inicia uma nova fase de exploração e de mercados.

Em **2016** ganha novas obras de grandes dimensões e importância em todo o país.

2.1. Área de Negócio

Posicionando-se na vanguarda da engenharia, investe nos RH e na formação técnica dos seus profissionais, possuindo as ferramentas mais atuais de software (CAD, REVIT, BIM). A empresa tem já no seu portefólio um conjunto de grandes obras públicas e privadas, nos seguintes segmentos:

- Hospitalar e Farmacêutico
- Unidades Hoteleiras
- Centro de Dados
- Escolas e Edifícios Públicos
- Residencial
- Centros Comerciais
- Centros Desportivos e Piscinas
- Industrial
- Escritórios e Auditórios

2.2. Principais Referências

2.2.1. Barragem do Tua - Douro



Figura 2.2 - Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua

Características:

- Potência de frio: 12 kW (1 VRV);
- 18 Ventiladores de Desenfumagem;
- 4 centrais técnicas;
- > 10000 m² de condutas retangulares;
- 12 pisos.



Figura 2.3 - Ventiladores de Desenfumagem da Barragem do Tua

2.2.2. Hospital CUF Tejo – Lisboa



Figura 2.4 - Fotomontagem do Hospital CUF Tejo

Características:

- Potência de frio: 3 x 968 kW com recuperação de 198 kW (3 chillers);
- 92 UTA;
- 668 Ventiloinvectores;
- 26 centrais técnicas;
- > 54000 m² de condutas retangulares;
- 10 pisos (piso -4 ao piso 5).



Figura 2.5 - Cobertura do HCT



Figura 2.6 - Central Técnica dos Chillers

2.2.3. Convento São Francisco – Coimbra



Figura 2.7 - Convento de São Francisco, Coimbra [João Duarte]

Características:

- Potência de frio: 3 x 250 kW + 1 x 50 kW (4 chillers);
- 20 UTA;
- 86 Ventiloinvectores;
- 4 centrais técnicas;
- > 10000 m² de condutas retangulares;
- 5 pisos (piso -2 ao piso 2).



Figura 2.8 - Central Técnica do Convento São Francisco, Coimbra

3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO CURRICULAR

Durante o decorrer do estágio curricular realizado na Climacer foi-me possível participar em duas das obras da empresa.

Numa fase mais breve e inicial, participei na obra Herdade da Barrosinha, um hotel situado em Alcácer do Sal. Aqui foi-me proposto realizar o dimensionamento de condutas de extração das instalações sanitárias. De seguida, e passando agora para a componente de preparação de obra, desenhei nos desenhos de preparação da obra as mesmas condutas de extração que tinha anteriormente dimensionado. Posteriormente, foi iniciada a preparação dos sistemas de climatização, que era assegurada por sistemas multi-split. Tendo sido anteriormente definida a localização das unidades interiores e exteriores, preparámos os caminhos de cobre que ligam as unidades interiores e exteriores dos sistemas multi-split, compatibilizando com as outras especialidades.

Cumprido cerca de um mês de estágio, passei para a frente da obra do Hospital CUF Tejo, na qual permaneci até término do estágio curricular. Aqui foi-me dada a tarefa de “Backoffice”. Inicialmente foram-me atribuídas tarefas um pouco mais simples, como a colocação de registos de caudal e de portas de visita nas nossas condutas de ar, nos desenhos de preparação.

Uma tarefa que me foi entregue e que consumiu algum do meu tempo foi o sistema de desenfumagem. Devido à instabilidade do projeto de AVAC, que foi constantemente alvo de várias revisões, foi necessário proceder a diversas alterações nos desenhos de preparação da obra de forma a que esta estivesse de acordo com o projeto e compatibilizado com as restantes especialidades.

Os trabalhos que se seguiram foram principalmente de preparação de obra, com trabalhos que abrangiam uma área progressivamente maior, e de maior importância. Numa fase mais terminal do estágio, fui o responsável pelo processo de início ao fim. Isto é, a preparação e ordem para produção de certas infraestruturas de AVAC foram da minha responsabilidade.

4. DESENFUMAGEM

4.1. Definições

De seguida serão apresentadas algumas definições básicas presentes na normalização e regulamentação de segurança contra incêndio, para melhor entendimento deste tema abordado no presente relatório. [Coelho, A. Leça (2010). Incêndios em Edifícios]

Abertura de cobertura: Abertura de comando manual ou automático, situada na cobertura de um edifício, com o objetivo de evacuar o calor e o fumo.

Abertura de fachada: Abertura de comando manual ou automático, situada na fachada de um edifício, com o objetivo de evacuar o calor ou o fumo.

Caudal de fuga (m^3/s): Caudal de fluido perdido através de fissuras, porosidades de materiais de condutas ou folgas de portas e janelas em sistemas ativos de controlo de fumos.

Chamada de ar: Corrente de ar acelerada em direcção ao fogo, fornecendo ar à combustão.

Conduta de desenfumagem: Conduta que serve para evacuação de fumo em caso de incêndio.

Desenfumagem ou Controlo de fumos: Meios e medidas para controlar a propagação de fumos e gases de combustão num edifício, durante um incêndio.

Desenfumagem mecânica: Controlo de fumos por meios mecânicos.

Desenfumagem natural: Controlo de fumos utilizando as correntes de convecção.

Extrator/ Exaustor: Ventilador utilizado para extração de fumos.

Exutor de fumos: Dispositivo instalado na cobertura de um edifício e suscetível de abertura em caso de incêndio, permitindo a desenfumagem por meios naturais.

Estratificação de fumos: Acumulação de fumos em camadas num determinado compartimento, causada pelos efeitos térmicos na ausência de turbulência.

Porta “corta-fumo”: Porta concebida para retardar a propagação de fumos num edifício, durante um incêndio.

Pressurização: Estabelecimento de uma diferença de pressão através de uma barreira para proteger uma escada, um vestíbulo, uma via de evacuação ou um compartimento de um edifício contra a penetração de fumos.

Registo de controlo de fumos: Dispositivo móvel de controlo de fumos aberto ou fechado na sua posição normal, de controlo automático ou manual.

Unidade de passagem (UP): Unidade teórica utilizada na avaliação da largura necessária à evacuação dos ocupantes do edifício. A correspondência em unidades métricas, arredondada por defeito para o número inteiro de ocupantes mais próximo, é a seguinte:

- a). $1UP=0,9\text{ m}$;
- b). $2UP=1,4\text{ m}$;
- c). $Y\text{ UP}= Y \times 0,6\text{ m} (Y>2)$

4.2. Noções Básicas de Desenfumagem

Durante um incêndio são libertadas grandes quantidades de calor, fumo e gases tóxicos, dos quais de destacam os mais perigosos:

- Monóxido de carbono (CO);
- Dióxido de carbono (CO₂);
- Ácido cianídrico (HCN);
- Ácido clorídrico (HCl);
- Dióxido de enxofre (SO₂);
- Amoníaco.

De notar que o monóxido e dióxido de carbono tornam-se mais tóxicos quanto maior for a temperatura do espaço onde deflagra o incêndio.

Sem um sistema de desenfumagem, um edifício pode ficar repleto de fumo num curto espaço de tempo.

Em condições normais, o ar atmosférico é composto por cerca de 78,1% de azoto (N₂) e 20,9% de oxigénio (O₂), mais alguns gases em quantidades diminutas. Durante um incêndio, o oxigénio é o principal comburente, o que tem implicações óbvias para a saúde humana.

O controlo de fumo tem uma importância acrescida nas vias de evacuação, visto que é necessário garantir que os valores de temperatura, radiação, visibilidade e concentração de gases tóxicos não coloquem em risco a segurança das pessoas aquando a evacuação do edifício afetado.

A existência de fumos e a consequente redução da visibilidade afecta a evacuação dos ocupantes, visto que a velocidade com que estes se deslocam diminui, aumenta a instabilidade emocional, podendo mesmo levar ao pânico. Tudo isto aumenta o tempo de exposição aos gases tóxicos, que são os principais responsáveis por grande parte das vítimas mortais em incêndios em edifícios.

A desenfumagem consiste numa substituição do ar interior, contaminado pelo fumo e gases tóxicos, por ar novo. A desenfumagem pode acontecer através de meios naturais ou meios mecânicos. Na desenfumagem natural o controlo de fumos ocorre através das correntes de convecção. Os fumos e gases são libertados a altas temperaturas durante a combustão. Assim, como a sua massa volúmica é mais baixa que o ar ambiente, estes produtos da combustão sobem até aos locais mais altos do edifício. Aí são colocados estrategicamente aberturas para o exterior que fazem admissão de ar novo e evacuação dos fumos do incêndio.

A desenfumagem mecânica tem uma filosofia distinta da desenfumagem natural. Na desenfumagem mecânica o objetivo não passa por extrair os fumos e gases da combustão, mas sim por impedir que estes cheguem a determinados locais considerados vitais para a segurança dos ocupantes.

Existem quatro combinações possíveis em relação à natureza dos meios de controlo de fumos utilizados:

- Entrada de ar natural / extração de fumo natural (Método natural-natural);
- Entrada de ar natural / extração de fumo mecânica (Método natural-mecânico);
- Entrada de ar mecânica / extração de fumo natural (Método mecânico-natural);
- Entrada de ar mecânica / extração de fumo mecânica (Método mecânico-mecânico).

4.2.1. Método Natural-Natural

Este é um sistema de controlo de fumos passivo, uma vez que tanto a entrada de ar novo como a saída de fumos e gases para o exterior ocorrem de forma natural. Trata-se de uma solução utilizada com alguma frequência, visto que tem como princípio de funcionamento a diferença de temperaturas, o que significa que é uma solução prática e económica.

Estes sistemas são apropriados em edifícios onde o espaço interior comunica directamente com o exterior, como edifícios amplos e sem andares sobrepostos, mas também em edifícios com poucos andares, em conjunto com condutas de insuflação e extração natural.

4.2.2. Método Natural-Mecânico

O método natural-mecânico consiste na entrada de ar novo de forma natural, mas a extração de fumos e gases é feita de forma forçada, recorrendo a meios mecânicos de sucção, através de bocas situadas nas condutas de extração.

Este tipo de controlo de fumos pode ser aplicado em edifícios altos cujos pisos não tenham acesso directo à cobertura, e ainda em edifícios amplos, como por exemplo armazéns. Nestes casos é necessário ter em conta que a movimentação de gases causada por estes sistemas pode causar a desestratificação da camada de fumo, caso a velocidade de extração não for moderada. Assim, deve-se analisar a aplicação deste sistema e avaliar a necessidade de insuflação mecânica, verificando se se justifica o investimento adicional.

4.2.3. Método Mecânico-Natural

Este método também resulta da aplicação de técnicas mistas, sendo que, ao contrário do método anterior, a entrada de ar novo é feita de forma mecânica e a saída de fumos acontece naturalmente. Este método refere-se à pressurização de espaços, que usualmente são as caixas de escadas.

A implementação deste método deve ser bem ponderada e analisada, uma vez que o uso de meios mecânicos para a insuflação de ar pode levar ao descontrolo da camada de fumos e, conseqüentemente, a infiltração dos gases quentes nos espaços que se pretende manter livres de fumos.

As vantagens deste método são meramente económicas, uma vez que, se se combinarem exdutores com o sistema de ventilação, pode-se evitar os custos inerentes à instalação de um sistema mecânico de insuflação de ar. Esta solução é usualmente utilizada em garagens subterrâneas ou até em túneis rodoviários.

4.2.4. Método Mecânico-Mecânico

Este é um método completamente ativo. Tanto a insuflação de ar novo como a extração de fumos e gases resultantes da combustão são conseguidos através do uso de ventiladores de insuflação e extração, respectivamente.

Este tipo de sistemas pode ser utilizado em edifícios altos. Em caso de incêndio, os obturadores das condutas de extração são mantidos fechados, à excepção dos pisos afetados. Nas condutas de insuflação actua-se de forma similar.

Este sistema permite um controlo de fumos muito eficaz, devido à conjugação dos caudais de insuflação e extração, mas com um custo monetário mais elevado.

4.3. Aplicação de Sistemas de Controlo de Fumos

Sabendo quais os quatro métodos de controlo de fumos possíveis, é importante perceber como são aplicados e quais os critérios considerados na escolha do método, e esses critérios são três: as dimensões do edifício, a sua utilização e a sua ocupação por pessoas. Para edifícios de menores dimensões, ou seja, cuja área seja menor que 300 m², não é essencial estudar o controlo de fumos, visto que os ocupantes tem maior facilidade em abandonar o edifício e não é comum haver bens insubstituíveis. Desta forma, são os edifícios mais complexos e de maiores

dimensões, com utilizações que podem originar situações de risco e com um número de ocupantes mais elevado, que merecem especial atenção.

Sendo assim, quanto à natureza da construção, são considerados os seguintes espaços:

- Locais amplos: podem localizar-se em edifícios de um ou mais pisos, sendo que se distinguem em quatro categorias, em função do seu volume e extensão do espaço a proteger
- Edifícios elevados: edifícios constituídos por vários pisos, mas que se distinguem pela altura total do edifício.

Por outro lado, relativamente à natureza das atividades, e em função da importância e necessidade de controlo de fumos, os edifícios mais relevantes são:

- Locais industriais: locais amplos, de grande ou média volumetria, onde se desenvolvem duas atividades particulares: fábrica e armazém;
- Locais com público: podem existir em espaços grandes ou médios e caracterizam-se pela diversidade de atividades económicas que podem albergar, seja a sua função serviços ou habitação.

De referir também a natureza das circulações, que são de elevada importância, já que servem de vias de evacuação em caso de incêndio ou outro tipo de emergência. Sendo assim, deve-se dar especial foco a:

- Corredores de comprimento superior a 30 m, tal como acontece em hospitais e hotéis;
- Escadas com acesso directo para o ambiente exterior;
- Pátios interiores, espaços amplos de passagem, com grande pé direito e normalmente ladeados por corredores.

Note-se que os parques de estacionamento para automóveis, sejam eles subterrâneos ou ao ar livre, também devem ser considerados.

4.4. Controlo de Fumos em Vias de Evacuação Horizontais

Existem três meios de controlo de fumos em vias horizontais de evacuação:

- Desenfumagem passiva;
- Desenfumagem ativa;
- Sobrepressão relativamente ao local onde se situa o foco de incêndio.

No caso dos edifícios com uma altura superior a 28 metros, o controlo deve ser efectuado por sistemas de desenfumagem ativa com arranque automático, conforme ponto 3 do Artigo 135.º da Portaria 1532/2008 (Anexo I).

4.4.1. Desenfumagem Passiva

No caso de edifícios de altura não superior a 20 metros, adota-se uma solução de controlo de fumos numa via horizontal de evacuação através de condutas colectivas para entrada de ar e saída de fumo e gases tóxicos.

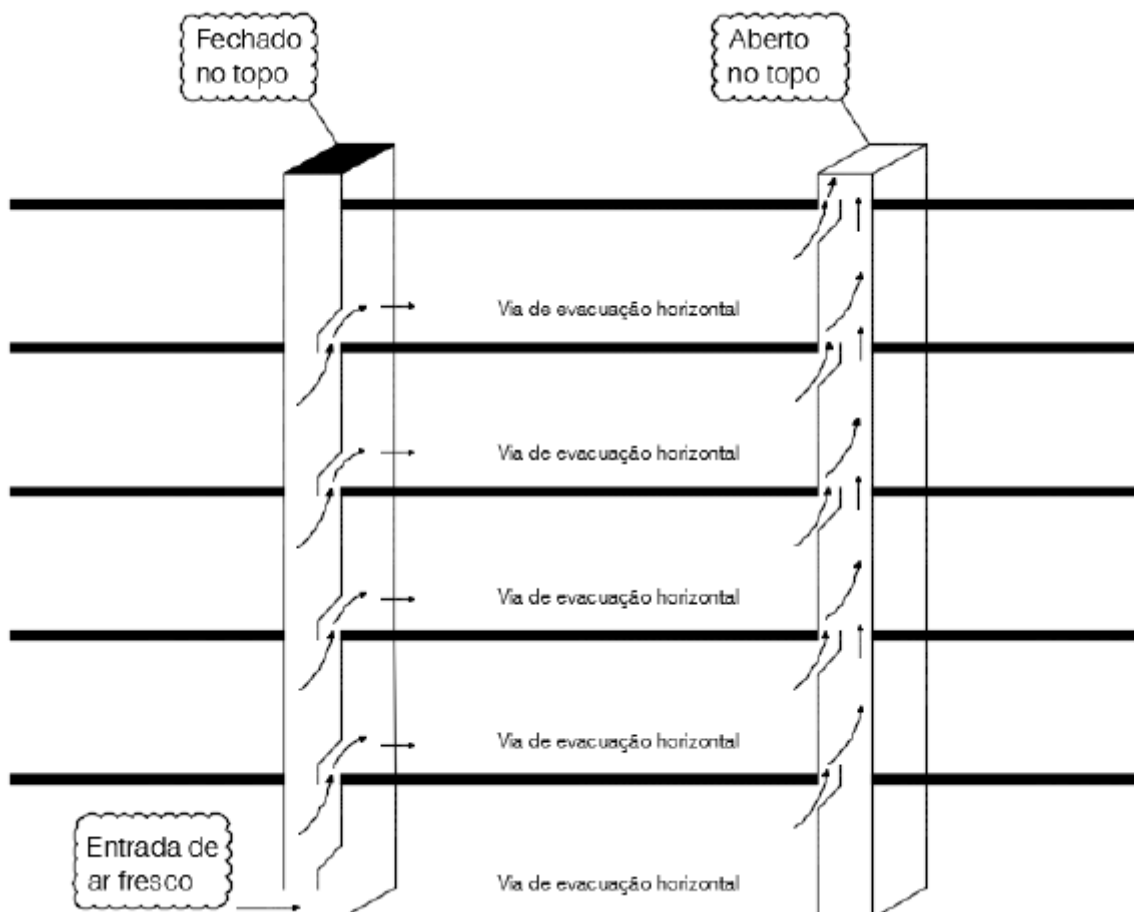


Figura 4.1. Desenfumagem passiva para edifícios de altura não superior a 20 m.

O sistema anterior não é adequado para edifícios de altura superior a 20 metros. Para edifícios com uma altura superior a 20 metros e inferior a 28 metros, recorre-se a uma solução com uma única conduta para entrada de ar sem qualquer ligação ao nível dos pisos, para entrada de ar novo e saída de fumos e gases de combustão. Neste tipo de solução, as bocas de admissão e evacuação estão normalmente fechadas, só abrindo em caso de incêndio.

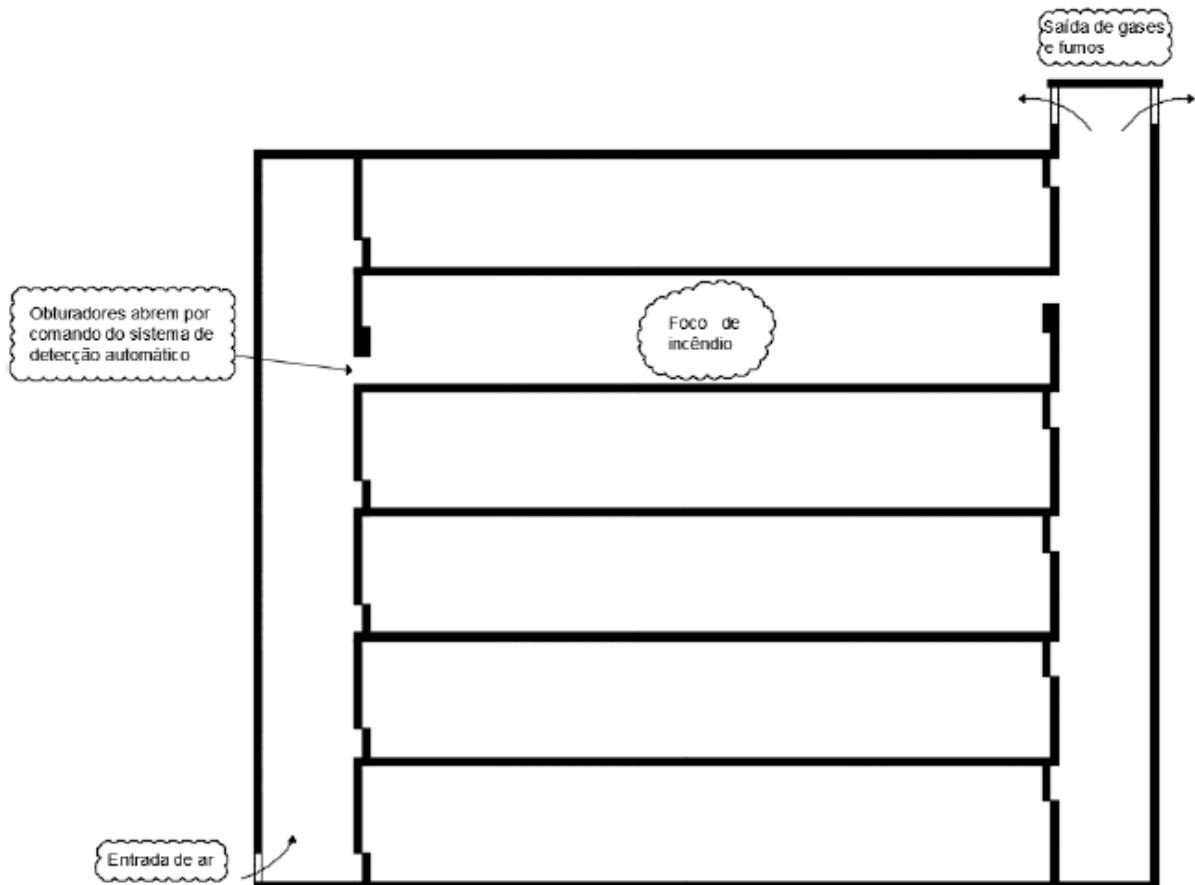


Figura 4.2. Desenfumagem passiva para edifícios de altura entre 20 m e 28 m

As aberturas para admissão e expulsão de ar, de modo a garantir uma desenfumagem eficaz, devem cumprir vários pressupostos:

- A parte inferior das bocas (registos) de extração de fumos deve estar, no mínimo, a 1,80 metros do pavimento e estarem situadas no terço superior do pé-direito do espaço;
- A parte superior das bocas de insuflação de ar deve estar a menos de 1 metro do pavimento;
- A distância máxima entre duas bocas consecutivas de insuflação e extração não deve ser superior a 10 metros em percursos em linha recta, e 7 metros nos restantes percursos.
- O número de aberturas para insuflação de ar não deve ser inferior às destinadas para extração de fumos e gases;
- As aberturas de extração de fumos devem ter uma área mínima de $0,10 \text{ m}^2$ por unidade de passagem de largura da via.

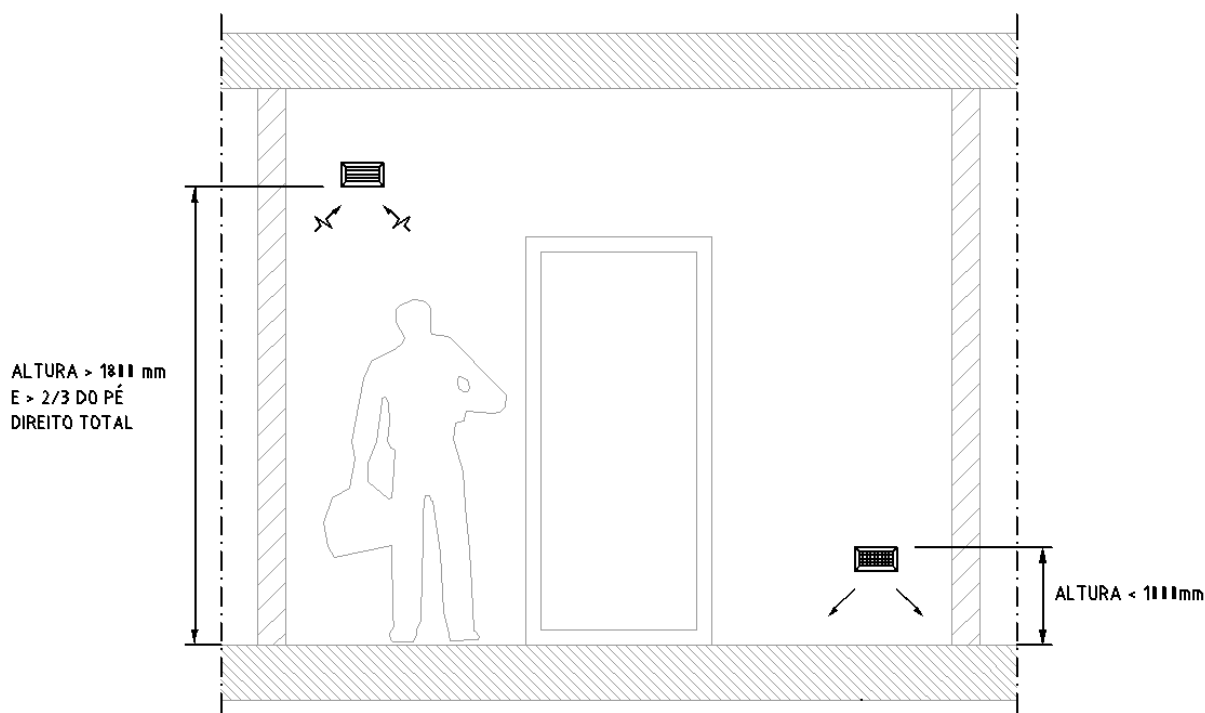


Figura 4.3. Pormenor para ventilação de desenfumagem

4.4.2. Desenfumagem Ativa

Tal como já foi referido anteriormente, a insuflação de ar novo pode ser feita recorrendo a meios naturais ou mecânicos, mas a extração de fumos e gases deve ser feita de forma mecânica. Assim sendo, a disposição dos registos de insuflação e extração deve ser feita conforme as seguintes condições:

- Disposição em paredes exteriores ou confinando com locais amplamente arejados, incluindo escadas enclausuradas;
- Distância máxima, entre dois registos de insuflação e extração, de 15 metros em percursos retos ou 10 metros nos restantes percursos;
- Distância mínima ao pavimento de 1,8 metros, em relação à parte inferior, para registos de extração de fumos e situados no terço superior do pé-direito do espaço;
- Distância mínima de 1 metro ao pavimento para registos de insuflação de ar, em relação à parte superior;
- As áreas de circulação compreendidas entre um registo de insuflação e outro de extração devem ser varridos por caudais de extração, por unidade de passagem, de no mínimo $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$;

- Caso a admissão de ar seja realizada através de vãos de parede, a respetiva área livre considerada deve situar-se na metade inferior do pé-direito de referência;
- Em caso de insuflação mecânica, esta deve ocorrer a uma velocidade de 2 a 5 m/s, sendo o caudal de extração 1,3 vezes o caudal de insuflação;
- A diferença de pressão entre as vias horizontais e as vias verticais deve ser inferior a 80 Pa, com todas as portas de comunicação fechadas. [Leça Coelho, António (2002). Curso Segurança Contra Incêndio em Edifícios – Fundamentos da segurança contra incêndio em edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil]

4.4.3. Sobrepressão

Ao adotar a estratégia de desenfumagem por sobrepressão, deve ser garantido um diferencial de pressão entre 20 a 80 Pa entre as caixas de escadas e os espaços adjacentes, sendo que a diferença de pressão entre a caixa de escada e o espaço que comunica directamente com ela deve ser superior a 5 Pa.

Se local do incêndio existir uma instalação de controlo de fumos, neste caso a via de comunicação horizontal pode estar em sobrepressão cerca de 20 Pa relativamente ao espaço da instalação de controlo de fumos.

Caso existam câmaras corta-fogo na comunicação entre vias, a diferença de pressões deve ser criada na própria câmara, devendo existir sistemas de desenfumagem na via de evacuação. A câmara corta-fogo deve ser pressurizada de 20 a 80 Pa, com uma velocidade de passagem do ar não inferior a 5 m/s, com uma porta aberta.

4.5. Vias de Evacuação Verticais

Na eventualidade de acontecer um incêndio num edifício com vários pisos, por uma questão de segurança a alimentação dos elevadores é cortada. Assim, as caixas de escadas são a única forma dos ocupantes evacuarem o edifício, daí que seja de elevada importância manter as condições ambientais aceitáveis. Para que tal aconteça, é necessária a existência de um eficiente controlo de fumos, que pode ser atingido através de dois meios: desenfumagem passiva ou a sobrepressão das caixas de escadas.

Ao contrário do que acontece nas vias de evacuação horizontais, nas caixas de escadas não é permitido pela legislação a utilização de sistemas de desenfumagem ativa. [Leça Coelho, António (2002). Curso Segurança Contra Incêndio em Edifícios – Fundamentos da segurança contra incêndio em edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil]

4.5.1. Desenfumagem Passiva

Optando por uma desenfumagem passiva nas caixas de escadas, a admissão de ar nestes espaços deve ser assegurada por aberturas dispostas na base e no topo da caixa de escadas, devendo a abertura superior estar permanentemente aberta, ou estar equipada com um exutor de fumos, sendo que em ambos os casos a área livre de passagem deve ser de pelo menos 1 m².

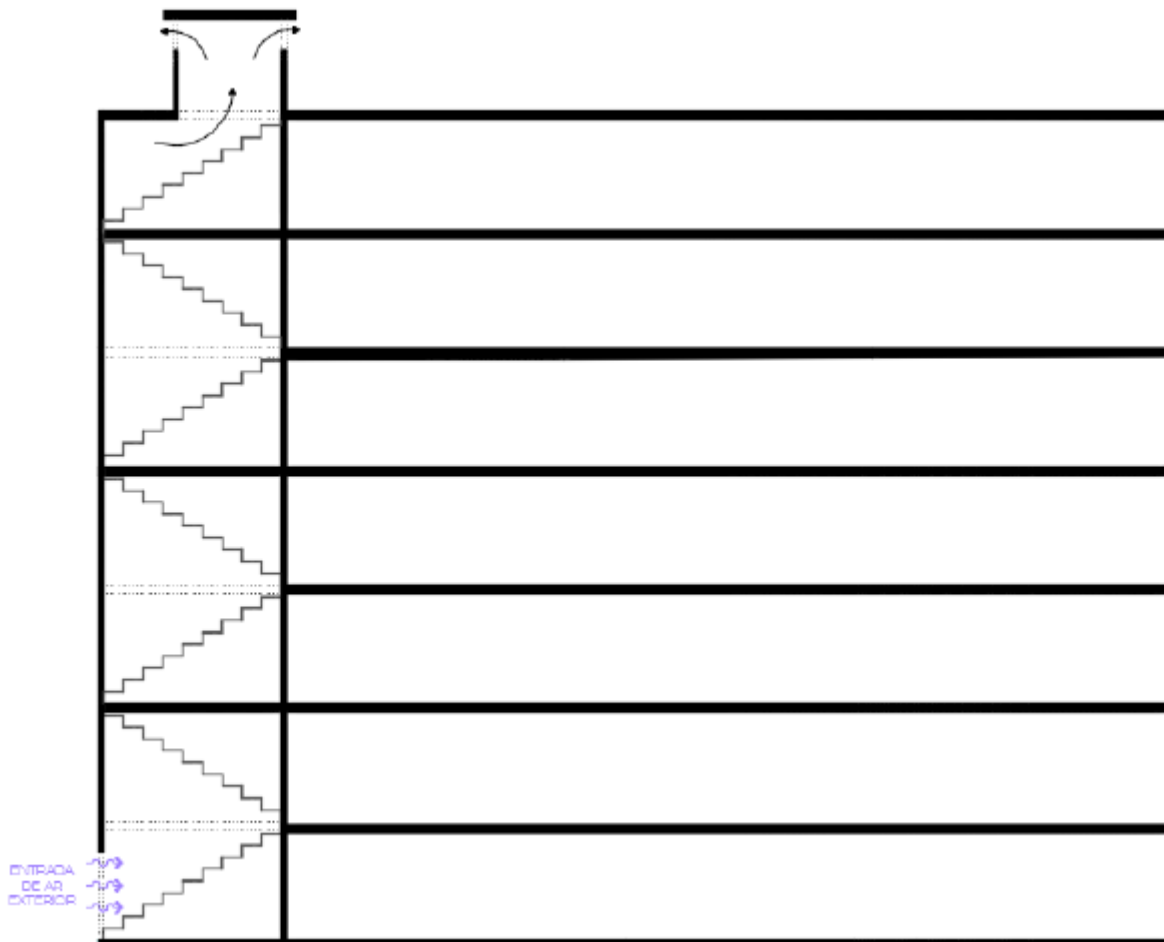


Figura 4.4. Controlo de fumos por meios naturais nas vias verticais com abertura permanente no topo

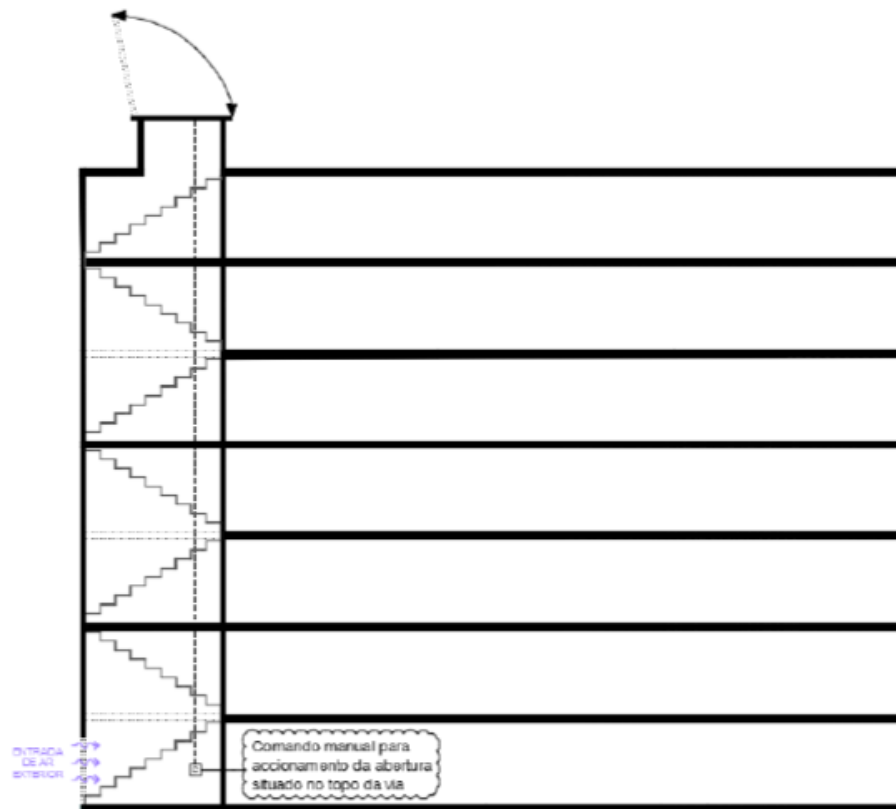


Figura 4.5. Controlo de fumos por meios naturais nas vias verticais com exutor no topo



Figura 4.6. Exutor de desenfumagem instalado na cobertura do HCT

Caso a via de evacuação vertical esteja equipada com um exutor de fumos no topo, é necessário instalar um comando de acionamento manual instalado no interior da via de evacuação, ao nível de acesso dos bombeiros, de modo a que estes tenham um fácil e rápido acesso ao controlo do exutor.

De referir que deve ser garantido que a soma total das áreas das aberturas inferiores deve ser, no mínimo, igual à abertura superior. No entanto, esta solução não é adequada para edifícios com um desenvolvimento vertical superior a 20 metros, devendo ser adotada uma solução mecânica de controlo de fumos.

4.5.2. Sobrepressão

Tal como já foi referido anteriormente, a legislação impede que o controlo de fumos e gases no interior das vias de evacuação verticais seja atingido através de meios mecânicos. Assim sendo, a sobrepressão é o único método ativo para controlo de fumos. Como tal, a entrada destes para as vias de comunicação verticais é limitada pela sobrepressão estabelecida nas mesmas, e que pode ser atingida pelos seguintes processos;

- Insuflação de ar nas vias de comunicação verticais;
- Insuflação de ar nas vias de comunicação verticais, em conjunto com extração das vias de evacuação horizontais do piso sinistrado;
- Extração de fumos e gases nos compartimentos sinistrados

Estes são os três principais processos, a partir dos quais se podem construir soluções diferentes resultantes da combinação destes processos. No caso de se tratar de um edifício de elevada altura, recorre-se à insuflação de ar nas comunicações verticais, aliada com a extração dos caminhos horizontais de evacuação dos pisos sinistrados.

O diferencial de pressão entre as vias de evacuação verticais e o piso sinistrado deve estar compreendido entre 20 e 80 Pa, com as portas de acesso às caixas de escadas fechadas, à exceção da porta do piso afetado pelo incêndio, onde se deverá medir uma velocidade de 0,5 m/s, caso não exista câmara corta-fogo. Caso exista, a velocidade aceitável passa a ser de 1 m/s com ambas as portas de acesso da câmara abertas.

A pressão de 20 Pa é a pressão mínima que garante a infiltração de fumos nas caixas de escadas, e a pressão de 80 Pa é a pressão máxima, pois uma pressão superior pode causar dificuldade na abertura da porta de acesso à caixa de escadas.

De forma a garantir uma maior segurança, deve estar prevista uma forma de recurso caso o sistema ativo tenha falhas no seu funcionamento. Assim, o sistema de sobrepressão deve ser acompanhado paralelamente por um sistema de desenfumagem passiva. Este deve ser composto por um exutor de fumos no topo da caixa de escadas, como já referido anteriormente, mas com a diferença de o seu controlo apenas deve ser acessível ao responsável de segurança e aos

bombeiros, dado o seu carácter de recurso em caso de falha do sistema principal de sobrepressão.

No caso dos edifícios de elevada densidade ocupacional, pode ocorrer uma abertura prolongada das portas de acesso às vias de evacuação verticais, o que irá comprometer o bom funcionamento do sistema de desenfumagem. Para reduzir o impacto deste factor na eficácia do sistema de controlo de fumos, recorre-se à utilização de câmaras corta-fogo que, apesar de tornar o caminho de fuga um pouco mais complexo, permite aumentar a eficácia do sistema de controlo de fumos, o que permite a instalação de sistemas mais económicos e de menores caudais. [Gomes Pinhal, Bárbara (2010). Controlo de Fumos - Evolução e Tendências]

5. HOSPITAL CUF TEJO

5.1. Apresentação da Obra

O Hospital CUF Tejo encontra-se atualmente em construção em Alcântara, Lisboa, numa área de implantação de 10 200 m². Inclui 4 caves, 5 pisos elevados e cobertura, com uma área total de construção de 75 000 m². O terreno de construção está confinado a Norte pela Avenida 24 de Julho, a Este pela Rua de Cascais e a Sul pela Avenida da Índia.



Figura 5.1. Implantação do Hospital CUF Tejo

Este será um hospital polivalente de elevada diferenciação, com foco em áreas incontornáveis na medicina do futuro: oncologia, neurociências, cardiovascular, pulmão, ORL e oftalmologia.

Vai dispor de mais de 100 gabinetes de consulta e mais de 60 gabinetes de exames e tratamentos, para além de 11 Blocos Operatórios – dois dos quais com mais de 80 m² e mais dois exclusivamente dedicados a cirurgia de ambulatório – assim como 200 camas de internamento geral e 14 camas de UCIP.

O projeto, da autoria do arquiteto Frederico Valsassina, representa um investimento de mais de 100 milhões de euros.



Figura 5.2. Fotomontagem do Hospital CUF Tejo

5.2. Sistema de Desenfumagem do Hospital CUF Tejo

O sistema de desenfumagem do Hospital CUF Tejo tem preconizado dois tipos de controlo distintos:

- Vias de evacuação verticais: Sistemas de sobrepressão;
- Vias de evacuação horizontais: Sistemas ativos de insuflação de ar novo e dissipação de fumos.

Um troço de conduta de desenfumagem é composto por três elementos principais:

- Ventilador (extração ou insuflação);
- Conduatas;
- Registo de Desenfumagem.

5.2.1. Ventiladores de Desenfumagem

A grande maioria dos ventiladores de desenfumagem serão instalados na cobertura do edifício. Estes estarão afectos à desenfumagem dos pisos -1 a 5. Para os restantes pisos, -4, -3 e -2, os

ventiladores encontram-se numa central técnica situada no piso -2. Para melhor entender a disposição dos ventiladores.

Para uma melhor perceção do tipo de ventiladores de desenfumagem que serão instalados no Hospital CUF Tejo, irei dar o exemplo de um modelo. Um dos ventiladores de extração de desenfumagem será um ventilador da marca Systemair, modelo AXC 1250-8. Este é um ventilador axial para operação em desenfumagem, testado para funcionamento a 400°C durante 120 minutos, de acordo com EN 12101-3. No seu ponto rendimento máximo, debita um caudal de 56 400 m³/h e uma pressão estática de 448 Pa. Tem a capacidade de variação do ângulo de ataque das pás, oferecendo um amplo leque de opções de configuração de pontos de operação.



Figura 5.3. Ventilador Systemair AXC 1250

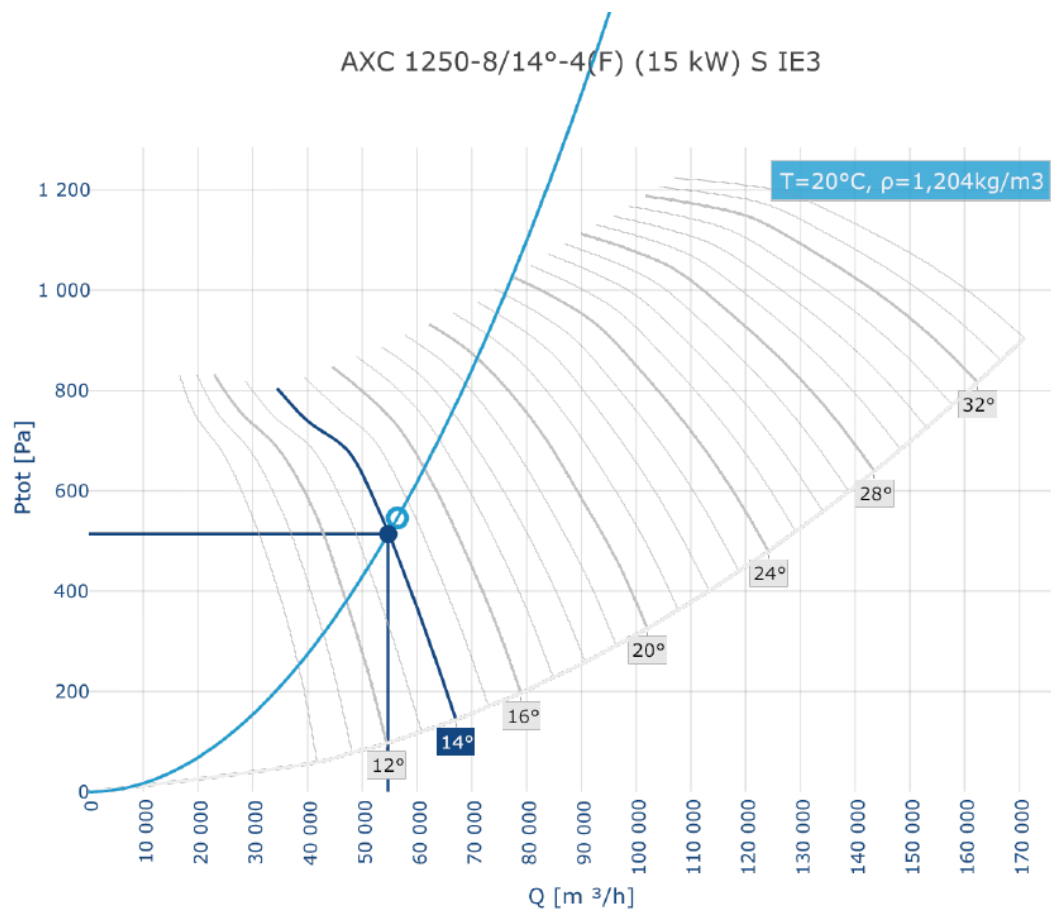


Figura 5.4. Diagrama de pressão do ventilador Systemair AXC 1250-8.

Para além dos ventiladores AXC, que estão afectos à extração de fumos e gases tóxicos, existem também os ventiladores do fabricante Systemair, modelo MUB, que estão afectos não só à insuflação de ar novo de desenfumagem, bem como à extração de fumos e gases nas vias de evacuação horizontais.



Figura 5.5. Ventilador MUB 062 630D4

Para pressurização das caixas de escadas são usados os ventiladores do modelo BKF, também do fabricante Systemair. Estes são ventiladores que podem ser usados em situações de extração de fumos e calor em caso de incêndio, mas também em condições normais de ventilação. No caso da obra HCT, são usados para pressurização das vias de evacuação verticais.



Figura 5.6. Ventilador BKF 500D4-XS no HCT

Todos os ventiladores na obra do Hospital CUF Tejo deverão estar munidos de variadores de frequência, de forma a se poder regular o caudal, e de interruptores de corte local. Todos os motores e ventiladores têm de cumprir com a diretiva europeia ECO Design para 2018. Os ventiladores deverão possuir classificação energética igual ou superior a IE4.

5.2.2. Conduitas de Desenfumagem

Relativamente às condutas de desenfumagem, estas são condutas comuns de chapa galvanizada. Porém, como são um elemento fulcral em caso de incêndio, tem de apresentar algum tipo de proteção contra o fogo. Esta proteção é feita com Dossolan. Dossolan é um produto composto por fibras minerais, ligantes hidráulicos e adjuvantes específicos. Apresenta-se sob a forma de flocos leves de cor cinza claro e é totalmente isento de amianto e de outros materiais nocivos.

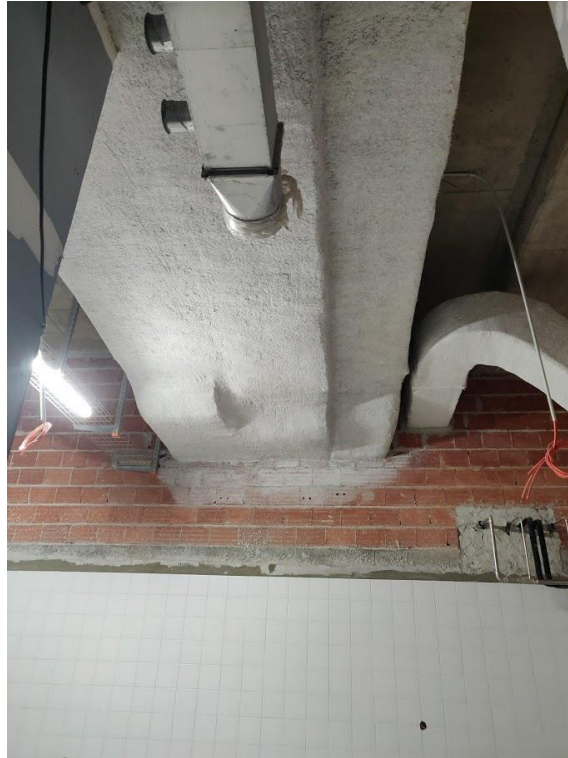


Figura 5.7. Exemplo de condutas projetadas com Dossolan no HCT



Figura 5.8. Prumada de conduta projetada com Dossolan HCT

O Dossolan é projetado mecanicamente por máquinas de projeção de fibras. Numa conduta de desenfumagem, primeiramente é aplicada uma leve camada em toda a superfície da conduta, sendo de seguida aplicada uma rede metálica, com o objetivo de obter uma melhor aderência do projetado à conduta. É, de seguida, aplicada mais uma camada de Dossolan, devendo a espessura do isolamento corta fogo ser de, do mínimo, 50 milímetros. O Dossolan pode ficar com um acabamento grosso/rugoso, ou pode ser rolado/talochado, deixando um acabamento mais fino. Após secagem pode ser pintado.

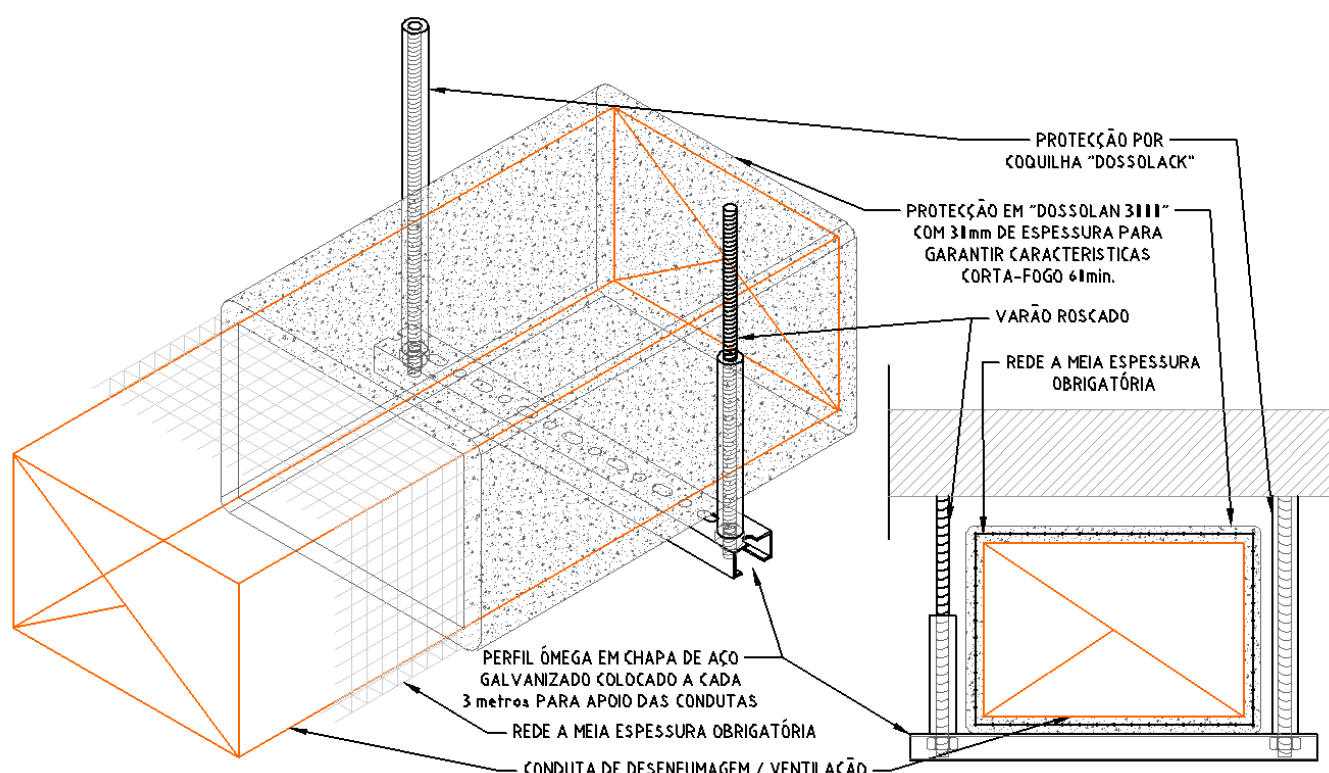


Figura 5.9. Pormenor de condutas revestidas a “Tria-Dossolan”

5.2.3. Registos de Desenfumagem

O registo de desenfumagem é o elemento terminal do troço de desenfumagem. Este faz a ligação entre o espaço em que está inserido e a conduta. É normalmente fechado e irá abrir quando receber ordem do Sistema de Gestão Técnica Centralizada (SGTC), de modo a que possa ocorrer a insuflação de ar novo no espaço, ou a extração do ar contaminado do espaço, conforme for o caso.

Os equipamentos que serão instalados em obra são do tipo ON/OFF, com certificação CE de acordo com a EN 12101-8 e testado de acordo com a EN 1366-10. Em posição fechado, o registo de desenfumagem irá impedir a passagem de fumos para zonas não afetadas, enquanto

que em posição aberta irá permitir a insuflação de ar novo ou a extração de fumos no compartimento afetado.

Os registos possuem uma construção em chapa de aço com proteção de zinco. A lâmina do registo é de placas de cálcio-silicato. Os registos, quando fechados, possuem material com proteção corta-fogo que impede a passagem do mesmo, bem como a passagem de fumos.

Este tipo de registo poderá ser instalado em condutas verticais ou horizontais, devendo ser respeitada a distância de 100 mm entre a parte mais externa da lâmina e a derivação/curva da conduta.

A abertura e fecho dos registos de desenfumagem poderá ser feita através de um motor de 230 V (DKI DV7) ou de 24 V (DKI DV9). Todos os modelos são equipados com início e fim de curso.

Os registos de desenfumagem são instalados em duas posições distintas, dependendo da sua função. Conforme dita a legislação em vigor, as admissões de ar devem ocorrer a nível baixo, enquanto que as extrações de ar devem ocorrer a nível alto. Para além disso, conforme o Artigo 157.º da Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro, as bocas de admissão de ar novo e extração de fumos deverão cumprir uma distância máxima entre elas, medida segundo o eixo da circulação, de 15 metros nos percursos em linha recta.

Para insuflação de ar novo, o registo de desenfumagem deve ser instalado no máximo a um metro do chão, medido a partir do topo do registo ao chão. Para um registo de extração de fumos, deve ser instalado no mínimo a 1,8 metros do chão, medindo a partir da parte inferior do registo de desenfumagem.

5.2.4. Problemas Encontrados em Obra

Existiram três problemas principais relacionados com os registos de desenfumagem.

Um dos problemas que aconteceu frequentemente na obra do Hospital CUF Tejo foi, precisamente, a impossibilidade de cumprir estas distâncias dos registos de desenfumagem ao solo. Isto porque as dimensões do registo indicadas pelo projeto impossibilitavam a instalação do registo com as medidas ao solo corretas.

Para se perceber melhor o problema, darei o seguinte exemplo, onde todas as distâncias estão em conformidade com a legislação. O projeto de AVAC define que o registo de desenfumagem RD.04 é um registo do fabricante France Air, modelo BTDR3 DECO 2V 750*835. Porém, os registos que estão presentes em contrato não são da marca France Air, mas sim do fabricante Systemair, pelo que é necessário recorrer a um mapa de equivalências. Neste caso, o modelo da Systemair que equivale ao modelo acima descrito da France Air é o modelo OPTONE-T "Classic" 2H/2V 750*850. Este registo tem as seguintes características:

- Dimensões: 750×850 mm;
- Área: 52 dm²;

- Número de portas: 2;
- Atravancamento: 445 mm;
- Dimensão da grelha: 810×910 mm.

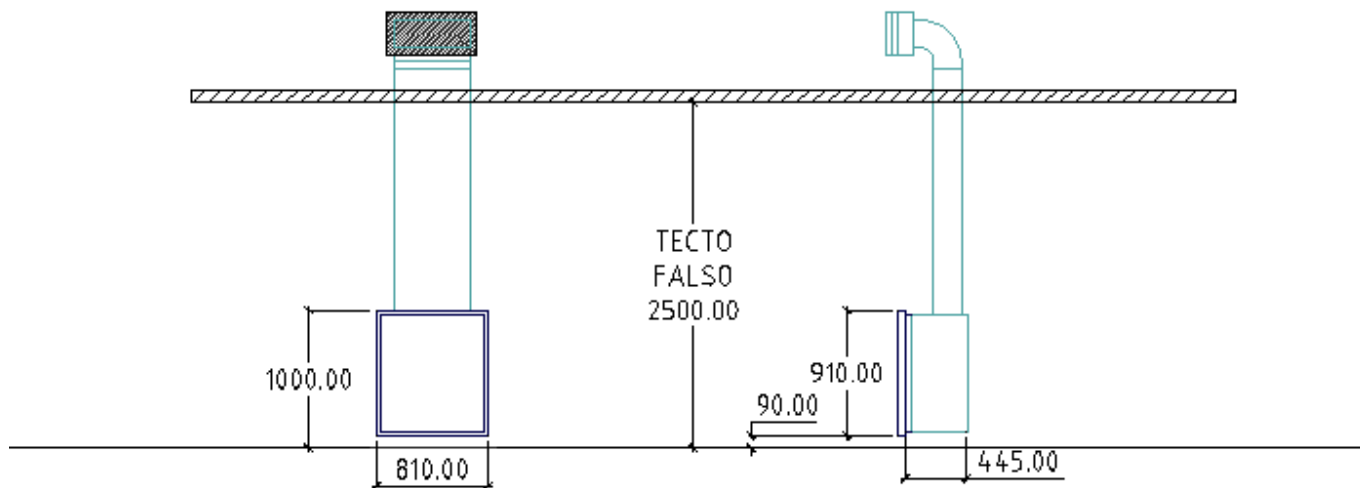


Figura 5.10. Cortes frontal e lateral do RD.04

Analisando a Figura 5.10, verifica-se que o registo RD.04 não apresenta qualquer incompatibilidade com a arquitetura. Sendo assim, é possível instalar correctamente o registo, cumprindo a distância ao chão de 1 metro.

Porém, nem todos os registos apresentavam esta compatibilidade. O registo RD.40 é um exemplo, a tem as seguintes características:

- Dimensões: 400×650 mm;
- Número de portas: 1;
- Atravancamento: 420 mm;
- Dimensão da grelha: 460×710 mm

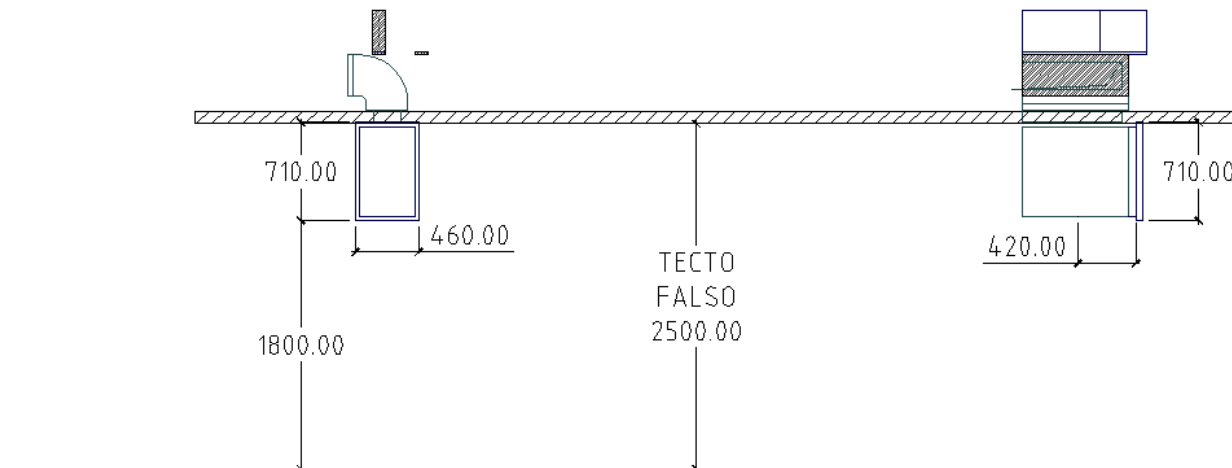


Figura 5.11. Cortes frontal e lateral do RD.40

Conforme a Figura 5.11, verifica-se que é impossível a instalação do registo, já que este iria entrar no tecto falso de modo a cumprir a distância requerida de 1.8 metros ao chão. Este problema pode ocorrer logo numa fase inicial, em que ocorre a incompatibilidade para o pé direito existente, ou numa fase posterior, em que inicialmente não existia qualquer incompatibilidade entre arquitetura e AVAC, mas posteriormente poderá existir uma revisão do projeto de arquitetura, em que o pé direito do espaço a instalar o registo irá baixar, o que impossibilita a instalação do registo de desenfumagem à cota requerida.

A solução para este problema passa por redimensionar o registo de desenfumagem, de modo a que tenha uma largura maior e uma altura menor, evitando assim a incompatibilidade com o tecto falso, mesmo cumprindo a distância ao chão.

O projeto de AVAC prevê a instalação de vários registos de desenfumagem em sancas, locais de mudança de pé direito. No entanto o projeto de arquitetura inicialmente não previa a existência das tais sancas, tornando impossível a instalação do registo no local preconizado em projeto.

Um desses registos é o RD.13 localizado no piso 0. O projeto define que o registo deve ser instalado na circulação, conforme a Figura 5.12. Para que o registo possa ser instalado, é necessário existir uma sanca, onde o pé direito altera, possibilitando a instalação do registo.

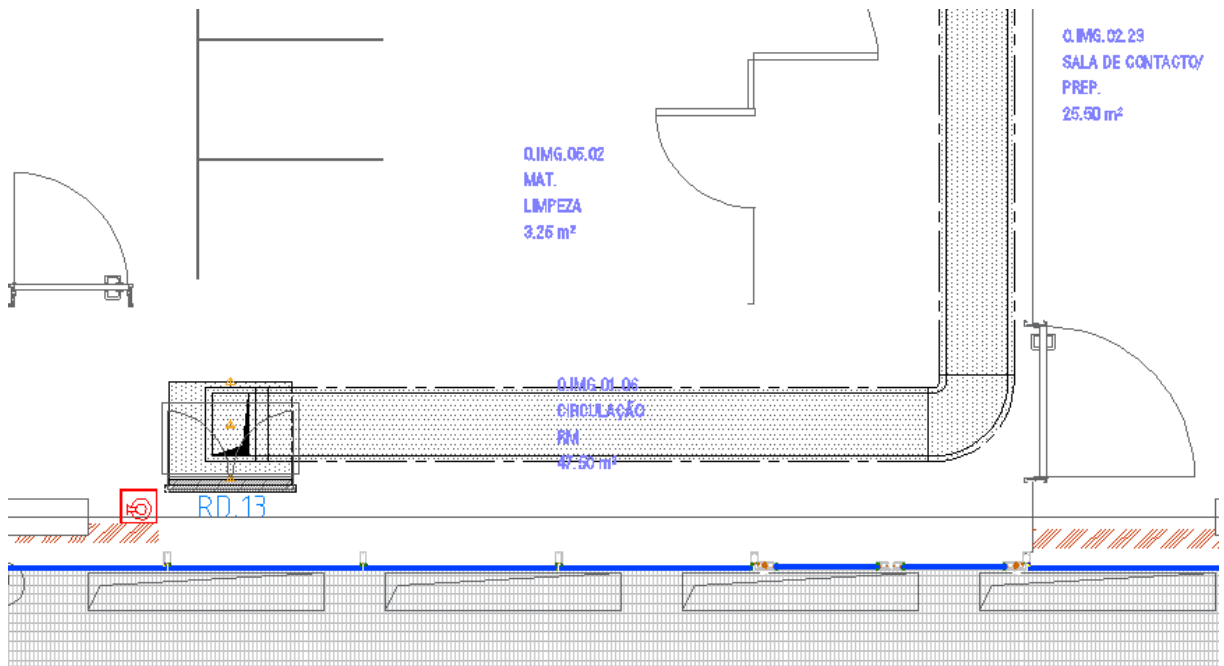


Figura 5.12. Localização do RD.13 no Piso 0, HCT

Após ter sido submetido um BPE (Boletim de Pedido de Esclarecimento) à fiscalização, alegando que sem a existência de uma sanca era impossível a instalação do registo, foi-nos transmitido que irá realmente existir uma mudança do pé direito, neste caso de 2,5 metros para 3 metros, o que já possibilita a instalação do registo. A Figura 5.13 representa um corte lateral do RD.13, já com a mudança de pé direito referida.

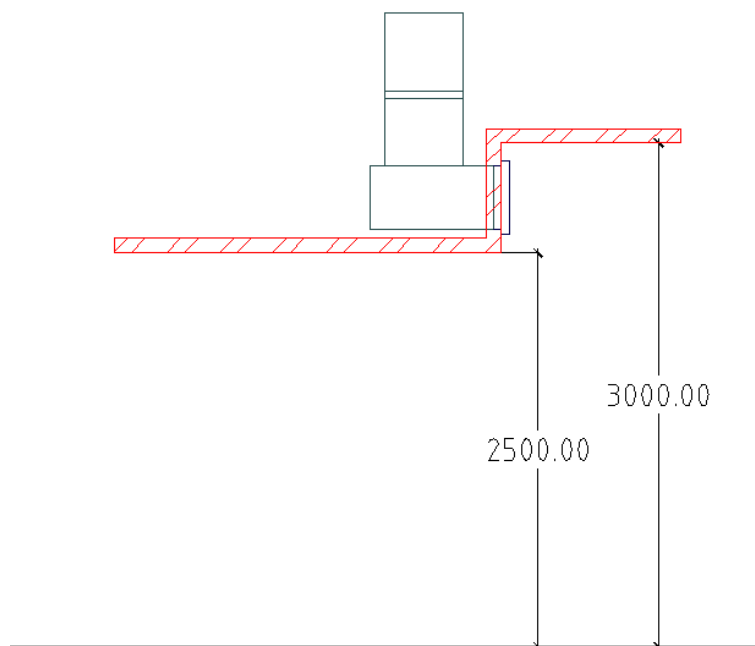


Figura 5.13. Corte lateral do RD.13

Uma outra incompatibilidade entre o projeto de AVAC e o projeto de arquitetura encontra-se ao nível dos nichos que abrigam os plenos dos registos de desenfumagem. Existem casos onde de facto existe nicho, mas a sua dimensão é insuficiente para abrigar o pleno do registo de desenfumagem, e existem casos onde realmente a arquitetura não prevê a existência de qualquer nicho. Um dos registos que apresentava incompatibilidade com a arquitetura era o registo RD.18, localizado do corredor norte do piso 0, e apresenta as seguintes características:

- Dimensões: 700×750 mm;
- Número de portas: 1;
- Atravancamento: 720 mm;
- Dimensão da grelha: 760×810 mm

Analisando as características do registo RD.18, conclui-se que o seu pleno precisa de ter um comprimento superior a 720 mm, de modo a que seja possível a porta do registo abra na sua totalidade.



Figura 5.14. Nicho onde se irá localizar o registo RD.18 no HCT

O nicho da Figura 5.14 é o nicho que irá albergar um carretel e o registo de desenfumagem RD.18. As suas dimensões são 2500 mm de altura, 700 mm de largura e 300 mm de profundidade. Comparando estas dimensões com as dimensões do pleno do registo de desenfumagem, conclui-se que é impossível a instalação do pleno, visto que o pleno deve ter, no mínimo, 720 mm de comprimento, enquanto que o nicho apenas tem 300 mm.

A resolução deste problema passou por abrir o nicho no local onde se irá situar o registo. Esta solução é possível neste caso em particular pois existe espaço não útil atrás do nicho.

5.3. Sistema de Alimentação das Unidades de Tratamento de Ar

Neste presente relatório vou também estudar o sistema de alimentação de água das Unidades de Tratamento de Ar (UTA) do Hospital CUF Tejo. O HCT irá ter instaladas 64 UTA's e 41 Unidades de Tratamento de Ar Novo (UTAN), perfazendo um total de 105 UTA's. Estas encontram-se distribuídas por diversas Áreas Técnicas (AT) do HCT, nomeadamente nos pisos enterrados (Pisos -4, -3, -2, -1), na AT do piso 2 e na cobertura.

A instalação de AVAC consta fundamentalmente de um conjunto de sistemas de produção de água refrigerada e água quente, através de chillers com recuperação parcial de calor e caldeiras de chão, de condensação, alimentadas a gás natural, e as unidades de tratamento de ar.

A produção de água quente sanitária será centralizada em seis depósitos acumuladores, com uma capacidade de 4000 litros cada.

5.3.1. Unidades de Tratamento de Ar

As unidades de tratamento de ar são dos principais equipamentos utilizados em sistemas de climatização. Segundo a Eurovent, entidade europeia independente dedicada essencialmente à certificação do desempenho de equipamentos de ar condicionado e de refrigeração, e de acordo com as normas europeias e internacionais, uma UTA é uma caixa com painéis duplos de chapa com isolamento, composta pelo menos por um ventilador, um filtro e um componente que tenha ação sobre a temperatura do ar.

As unidades de tratamento de ar e ar novo serão normalmente constituídas pelas secções de admissão de ar com registo, secção de recuperação de calor (roda térmica, placas ou de baterias de água), secção de mistura (nos casos com recirculação), secção de pré filtragem, bateria de arrefecimento a água fria com tabuleiro de drenagem em aço inox, bateria de aquecimento a água quente, secção de ventilação (com óculo e iluminação), secções de atenuação de ruído, secção de filtragem final. A opção de recuperação de calor de baterias será apenas para as situações em que por questões de qualidade do ar interior não seja possível qualquer mistura entre o ar de retorno e o ar novo. Todas as unidades de tratamento de terão sempre dois níveis de filtragem.



Figura 5.15. Ventiladores de uma UTA do HCT

Todas as UTA's a instalar no HCT devem cumprir certos requerimentos:

- Os módulos dos ventiladores deverão ter um sistema de medição de caudal (manómetro diferencial);
- Todos os motores terão de ser EC (*Eletronicamente Comunicados*), fazendo o conversor de frequência parte integrante do motor;
- As UTA's deverão ficar assentes em apoios antivibráticos e maciços;
- Os ventiladores deverão ter um interruptor de corte local;
- Os ventiladores deverão ser do tipo *plug fan*;
- O número de fiadas nas baterias não deve ser superior a 5;
- As UTA's deverão ter a capacidade de fazer *free cooling*;
- Deverá ser fornecida uma pastilha de controlo de Legionella para cada tabuleiro de condensados;
- Todas as unidades deverão ser fornecidas com atenuadores acústicos de origem, tanto na insuflação como no retorno;
- As UTA's devem estar de acordo com a norma EU n.º 1253 Ecodesign 2018
- Os ventiladores deverão possuir classificação energética igual ou superior a IE4.

Para se ter uma melhor ideia do tipo de UTA's instaladas no Hospital CUF Tejo, irei de seguida descrever uma UTA. A UTAN.P-01.11 é uma unidade de tratamento de ar novo (UTAN) da

marca Systemair, modelo HHFlex 04.04. Está localizada na AT do piso -2 e as suas características são conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Características da UTAN.P-01.11.

Construção higiénica			Não
Baterias	Aquecimento	Potência total [kW]	2,8
		T _{entrada de ar} [°C]	17,3
		T _{saída de ar} [°C]	23,0
		Velocidade do ar na bateria [m/s]	1,5
	Arrefecimento	Potência total [kW]	1,5
		Potência sensível [kW]	1,5
		T _{entrada de ar} [°C]	26,0
		T _{saída de ar} [°C]	23,0
		Velocidade do ar na bateria [m/s]	1,9
Ventilação	Insuflação	Caudal (m ³ /h)	1500
		Potência Acionamento [kW]	2,5
	Extração	Caudal [m ³ /h]	1500
		Potência Acionamento [kW]	2,5
Dimensões	Total	Comprimento [mm]	6214
		Largura [mm]	898
		Altura [mm]	1698
	Pré-filtro	Sim	

Acessórios	Filtro	Sim
	Tipo de filtro (INS/RET)	F7 + F7/M5
	Módulo de mistura	Não
	Módulo vazio	Sim
Localização da Unidade	Interior	
Peso [kg]	1258	
Eficiência de recuperação (%)	76	



Figura 5.16. UTAN.P-01.11, HCT

Esta unidade de tratamento de ar está afectada à zona geral de farmácia do piso -1.

5.3.2. Chillers

Os chillers são equipamentos que, de uma forma simplificada, produzem água refrigerada ($\approx 7^{\circ}\text{C}$), recorrendo principalmente ao ciclo de compressão de vapor. No entanto, grande parte dos chillers de hoje permitem não só o arrefecimento, mas também o aquecimento da água, através da recuperação de calor.

O Hospital CUF Tejo irá albergar nas suas instalações três chillers de condensação remota com recuperação parcial de calor. Serão três unidades do modelo SYSCREW 1130 WATER RC EVO DES, do fabricante Systemair, e tem as seguintes características, conforme demonstrado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Características dos chillers do HCT.

Potência Frigorífica [kW]	996,0
Potência Calorífica [kW]	190,0
EER	3,77
Consumo [kW/A]	263,0/906
Corrente de arranque / Nominal [A]	640
N.º de Compressores	2
Fluido Frigorigéneo	R134a
Peso aproximado [kg]	4634
Largura [mm]	1520
Comprimento [mm]	4600
Altura [mm]	1710



Figura 5.17. Chiller SYSCREW 1130 WATER RC EVO DES

Está previsto que um dos chillers, com recuperação parcial de calor, funcione em caso de emergência. Este chiller está dedicado às áreas funcionais dos blocos operatórios, unidade de cuidados pós-anestésicos (UCPA) convencional, unidade de cuidados intensivos, angiografia, recobro, atendimento permanente, esterilização e outros serviços em que se pretenda que o sistema de AVAC esteja em funcionamento em caso de falha de energia.

Em função da capacidade de produção e do diferencial de temperatura entre a entrada e saída da água, o SGTC (Sistema de Gestão Técnica Centralizada) fará a modulação do caudal de água no chiller dentro dos limites de segurança indicados pelo fabricante do mesmo.

Estes são chillers com condensadores remotos do tipo split, ou seja, a unidade condensadora encontra-se separada da unidade produtora de frio. O corpo principal dos chillers encontram-se localizados numa área técnica no piso -2, enquanto que os condensadores estão localizados no piso 0.

Uma vez que existem três unidades internas de chillers, todos eles do mesmo modelo, existem também três condensadores, também estes do mesmo modelo.

Tabela 5.3. Características dos condensadores dos chillers do HCT

Capacidade de rejeição [kW]	1200
Consumo ventiladores [kW/A]	14,33/21,0
Corrente de arranque [A]	24,0
Caudal de ar [m³/h]	200360
Temperatura de entrada do ar [°C]	32,0
Temperatura de condensação [°C]	50,0
N.º de Ventiladores	10
Nível de ruído [dB(A)]	90
Peso aproximado [kg]	2486
Largura [mm]	2385
Comprimento [mm]	7460
Altura [mm]	2500

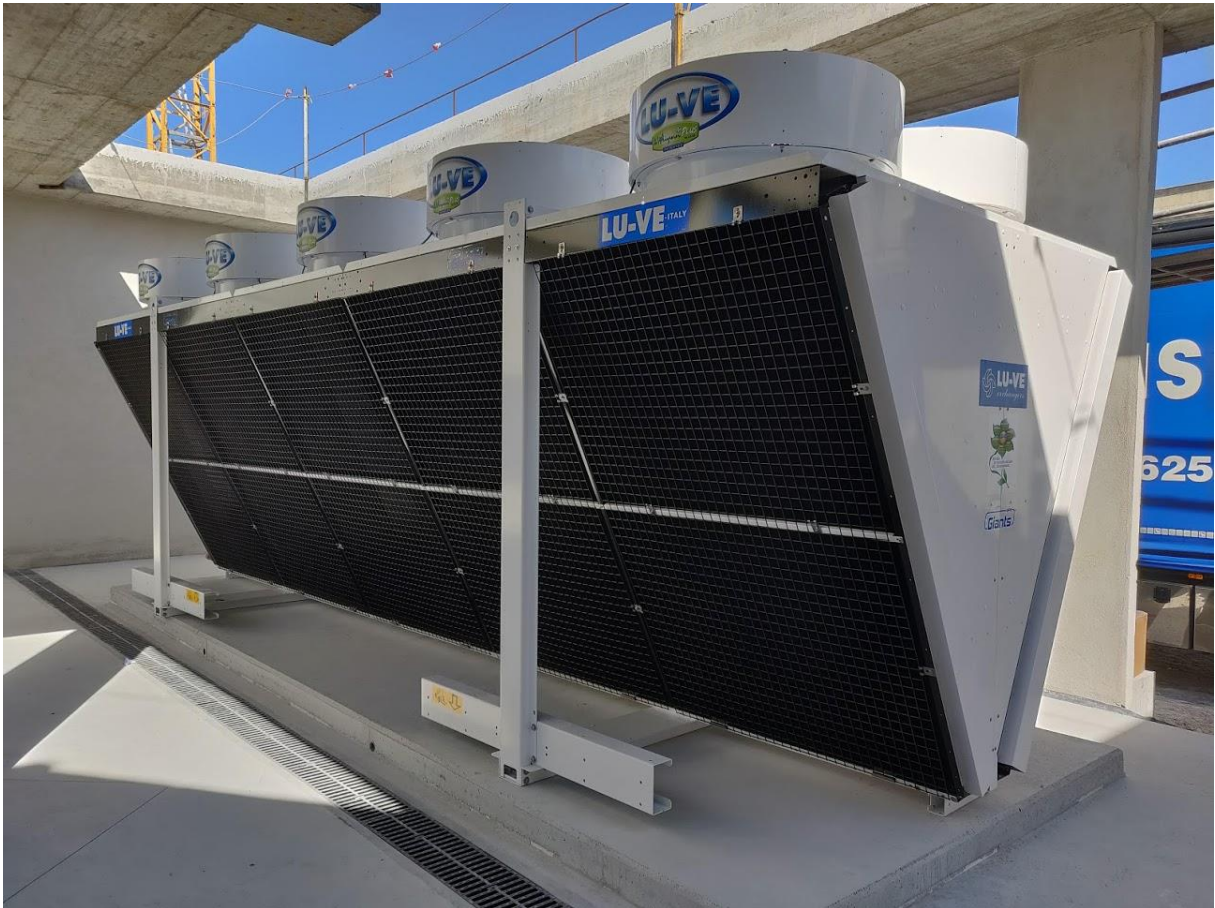


Figura 5.18. Condensador a ar do chiller do HCT

As unidades condensadoras deverão ser equipadas com tratamento anticorrosivo de alta resistência, para uma categoria de corrosividade C5, segundo a ISO 9223. A estrutura de unidade será construída em chapa de aço galvanizado tratado. Todos os componentes de aço galvanizado são individualmente pintados, com uma pintura com proteção UV com base em poliuretano, no âmbito de um processo de pintura especial antes da montagem da unidade. Este sistema de pintura e execução oferece uma proteção homogénea à corrosão em ambientes agressivos.

5.3.3. Caldeiras

A produção de água quente tem origem em duas fontes térmicas distintas, nomeadamente na rejeição de calor dos chillers e nas caldeiras de condensação. A rejeição de calor dos chillers tem sempre prioridade sobre as caldeiras de condensação no aquecimento de águas. As caldeiras estão preparadas para dar apoio ao aquecimento ambiente, sempre que a rejeição de calor dos chillers não seja suficiente. A rejeição de calor dos chillers aquece os dois primeiros depósitos de 4000 litros, sendo os restantes quatro depósitos aquecidos pelas caldeiras.

No HCT irão estar instaladas duas caldeiras de chão, do fabricante Viessmann, modelo VITOCROSSAL 200-620. Estas são caldeiras de condensação alimentadas a gás natural, e terão um funcionamento em cascata. Ambas estarão instaladas numa AT do piso 0.

Tabela 5.4. Características das caldeiras do HCT.

Potência Calorífica [kW]	575
Caudal [m³/h]	24,76
T_{e ag} /T_{s ag} [°C]	60/80
Pressão máxima [bar]	6
Tipo de combustível	Gás natural
Peso [kg]	758
Largura [mm]	2525
Profundidade [mm]	1295
Altura [mm]	1580

No funcionamento em cascata, a segunda caldeira só pode funcionar quando a primeira estiver a 100% da carga. Quando a segunda caldeira entra em funcionamento, a primeira terá de manter a potência de 100%, ou seja, sempre que existir necessidades acima dos 100% a segunda caldeira fará a modelação e a primeira ficará a 100%.

O arranque das caldeiras só se verifica se a rejeição de calor dos chillers não for suficiente para o aquecimento ambiente ou AQS.



Figura 5.19. Corpo principal das caldeiras do HCT

5.3.4. Bombas de Circulação

A energia térmica produzida nos geradores de água quente e água refrigerada anteriormente descritos, será transportada até às unidades terminais de conversão, por meio de bombas hidráulicas, em esteiras de tubagem em aço carbono.

O sistema de distribuição será a quatro tubos, para água fria, ida e retorno, e água quente, ida e retorno. No entanto, nos gabinetes individuais, sempre que não existam necessidades de aquecimento adicional para além do ar novo, os ventiloconvectores deverão ser abastecidos a dois tubos (água fria, ida e retorno). Deste modo evita-se o investimento de mais dois tubos, isolamento, suportes, válvulas de controlo e seccionamento, cabos de controlo, aumento do caudal das bombas, aumento da secção das tubagens, diminuição dos espaços técnicos e aumento do consumo energético das bombas de circulação.

Todas as bombas hidráulicas terão velocidade variável, variando o caudal em função das necessidades térmicas do circuito respetivo. As bombas deverão vir equipadas com sensor de temperatura interno e transdutor de pressão.

O SGTC irá controlar a rotatividade das bombas por horas de funcionamento e/ou por avaria da bomba em funcionamento.

As bombas serão equipadas com protocolo ModBUS para comunicação com o SGTC. As variáveis de comunicação são os estados dos alarmes, a frequência, a pressão diferencial e o consumo energético da bomba.

Uma das bombas hidráulicas será uma bomba do fabricante Grundfos, modelo TPE3 D 40-240-S-A-F-A-BQQE. Esta é uma bomba monocelular monobloco dupla de voluta, com bocais de aspiração e de saída *in-line*, de diâmetro idêntico. A bomba dupla é concebida com duas cabeças de bomba paralelas. É concebida segundo o princípio de construção desmontável pela parte superior, ou seja, a cabeça da bomba (motor, cabeça da bomba e o rotor) pode ser retirado para realização de manutenção ou assistência técnica, mantendo o corpo da bomba na tubagem.



Figura 5.20. Bomba Hidráulica Grunfos TPE3 D 40-240-S-A-F-A-BQQE

Esta bomba é responsável pela circulação da água do circuito hidráulico que alimenta a UTAN.P-1.11, bem como mais outras seis UTA's. Existem duas bombas idênticas, uma responsável pelo circuito de água quente e outra pelo circuito de água fria. Estas encontram-se colocadas nas linhas de retorno, antes do coletor secundário de água fria e água quente, respectivamente.

Tabela 5.5. Características da bomba Grundfos TPE3 D 40-240-S-A-F-A-BQQE

Líquido	Água
Gama de temperatura do líquido [°C]	-25 a 120
Velocidade para características da bomba [rpm]	2920
Caudal efetivo calculado [m³/h]	25,9
Altura manométrica [m]	29
Pressão máxima de funcionamento [bar]	16
Ligação à tubagem	DN 40

5.4. Análise da Perda de Carga do Circuito Hidráulico de uma UTA

O circuito hidráulico de alimentação de uma UTA é composto por 6 elementos principais:

- Gerador de água quente (caldeira);
- Gerador de água fria (chiller);
- Coletor principal;
- Coletor secundário;
- Bomba hidráulica;
- Unidade terminal (UTA).

É comum em instalações do género optar-se por uma solução que utiliza duas bombas hidráulicas, uma de maior dimensão junto ao coletor primário, e outra de dimensão menor, junto ao coletor secundário. No entanto, na obra do Hospital CUF Tejo, será adotada uma solução diferente, em que apenas existe uma bomba hidráulica, de maiores dimensões, junto ao coletor secundário, na linha de retorno.

O circuito de alimentação da UTAN.P-01.11 (Figura 5.16) será o alvo de estudo do presente relatório. Este circuito hidráulico alimenta, para além da UTAN.P-01.11, outras seis unidades de tratamento de ar. Desta forma, de modo a calcular a perda de carga do circuito, deverá ser estudado o traçado mais desfavorável. Como todas as UTA's possuem os mesmos acessórios nas suas ligações hidráulicas, o traçado mais desfavorável será aquele com maior comprimento, que neste caso termina na alimentação da UTAN.P01.04.

5.4.1. Fórmula de Cálculo da Perda de Carga em Tubagem

Existem diversas fórmulas matemáticas para o cálculo da perda de carga em tubagem. Todas elas se baseiam numa equação geral:

$$J = k \frac{v^n}{D^p} \quad (1)$$

Esta expressão indica a perda de carga unitária. No entanto, existem várias equações de diferentes autores, que se baseiam nesta equação geral, onde as diferenças se encontram ao nível dos coeficientes “n” e “p”. A Tabela 5.6 mostra algumas dessas fórmulas [4].

Tabela 5.6. Diferentes fórmulas para cálculo da perda de carga.

Autor	Fórmula (aspecto geral)	Coefficiente “n”	Coefficiente “p”	Soma dos coeficientes
Darcy	$J = k \frac{v^2}{D^p}$	2	1	3
Levy-Vallot	$J = k \frac{v^2}{D^{1,33}}$	2	1,33	3,33
Manning	$J = k \frac{v^2}{D^{1,33}}$	2	1,33	3,33
Flamant	$J = k \frac{v^{1,75}}{D^{1,25}}$	1,75	1,25	3
Biegeleisen-Bukowsky	$J = k \frac{v^{1,9}}{D^{1,1}}$	1,9	1,1	3
Lawford	$J = k \frac{v^{1,87}}{D^{1,127}}$	1,87	1,127	2,997
Scobey	$J = k \frac{v^2}{D^{1,25}}$	2	1,25	3,25

Fair, Whipple e Hsiao	$J = k \frac{v^{1,88}}{D^{1,12}}$	1,88	1,12	3
Hazen-Williams	$J = k \frac{v^{1,85}}{D^{1,17}}$	1,85	1,17	3,02

Darcy teve o grande mérito de ter sido o primeiro investigador a considerar a natureza e o estado das paredes do tubo. Com base em apenas duzentas observações, Darcy obteve uma fórmula cuja utilidade e aplicação têm sido reconhecidas e asseguradas desde a sua conceção.

$$J = k \frac{v^2}{D} \quad (2)$$

A fórmula de Darcy tem hoje mais de 160 anos de existência. Como é evidente, no decorrer de tantos anos, a indústria dos materiais e a técnica de fabrico dos tubos evoluiu significativamente. A superfície interna dos tubos apresenta uma menor rugosidade, e é possível o fabrico de tubagem mais longa, o que permite reduzir o número de juntas. Tudo isto torna mais favorável o fluxo do fluído.

O emprego de algumas das primeiras fórmulas está condicionado à classificação dos tubos em duas classes: tubos novos ou usados. Porém, é difícil responder à questão de quando um tubo deixa de ser novo e passa a ser velho.

Tais inconvenientes atribuídos à fórmula de Darcy desaparecem quando se considera a nova apresentação da sua fórmula, mais conhecida como fórmula de Darcy-Weishbach.

$$h_f = f \frac{Lv^2}{D2g} \quad (3)$$

Onde:

- h_f : perda de carga [m.c.a.];
- f : coeficiente de atrito;
- L : comprimento da canalização;
- v : velocidade média [m/s];
- g : aceleração da gravidade [m/s²].

O tratamento estatístico dos inúmeros dados existentes sobre o assunto mostra que o coeficiente n varia entre cerca de 1,7 e 2. Um valor médio pode ser assumido em torno de 1,85.

Reynolds, que investigou as velocidades-limite entre os regimes de escoamento laminar e turbulento, concluiu que o coeficiente n assume o valor da unidade para um regime laminar, e que para regimes turbulentos, n depende da rugosidade das paredes dos tubos, oscilando entre valores de 1,73 e 2. Para tubos muito lisos, n vale cerca de 1,75, enquanto que, para tubos de alta rugosidade, n vale 2.

Com base nestas considerações, conclui-se que uma fórmula “racionalizada” para a determinação da perda de carga nas tubagens seria

$$J = k \frac{v^{1+x}}{D^{2-x}}$$

Onde, para um fluxo 100% turbulento, o valor de x seria 1 e, para as situações correntes, com movimento turbulento, oscilaria de 0,70 a 1. Usando o valor médio de $x = 0,85$, resulta a seguinte expressão:

$$J = k \frac{v^{1,85}}{D^{1,15}}$$

Depois de feitas estas considerações, dois investigadores norte-americanos, Allen Hazen e Gardner S. Williams, após um cuidadoso exame estatístico de dados obtidos por mais de trinta investigadores, inclusive os de Darcy e os decorrentes das próprias investigações, propuseram em 1903 a fórmula de Hazen-Williams.

$$J = k \frac{v^{1,85}}{D^{1,17}} \quad (4)$$

Esta fórmula, com o seu fator numérico em unidades SI, é a seguinte:

$$J = 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87} \quad (5)$$

Onde:

- J : perda de carga unitária [m.c.a./m];
- Q : caudal [m³/s];
- C : coeficiente adimensional que depende da natureza das paredes dos tubos (Tabela 5.7);
- D : diâmetro [m].

Tabela 5.7. Valores do coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C)

Tubos retos, extremamente lisos, cimento – amianto	C = 140
Tubos muito lisos, betão, ferro fundido novo	C = 130
Aço carbono, série média	C = 130
Aço soldado novo, madeira aparelhada	C = 120
Aço rebitado novo, cerâmica vitrificada	C = 110
Ferro fundido, após alguns anos de uso	C = 95
Tubos velhos em más condições	C = 60 a 80

5.4.1.1. Vantagens da fórmula de Hazen-Williams

A fórmula de Hazen-Williams resultou de um estudo estatístico cuidadoso, no qual foram considerados os dados experimentais disponíveis, obtidos anteriormente por um grande número de investigadores, bem como dados dos próprios autores.

A expressão de Hazen-Williams é teoricamente correta: a soma dos expoentes p e n , que é de 3,02, apresenta uma diferença mínima relativamente ao valor teórico.

Os expoentes da fórmula foram estabelecidos de maneira a resultarem as menores variações do coeficiente C para tubos do mesmo grau de rugosidade. Por isso, esse mesmo coeficiente é, tanto quanto possível e praticável, uma função quase que exclusiva da natureza das paredes da tubagem.

A grande aceitação que a fórmula teve permitiu que fossem obtidos valores bem determinados do coeficiente C . Nestas condições, pode-se estimar o envelhecimento dos tubos.

É uma fórmula que pode ser satisfatoriamente aplicada para qualquer tipo de tubagem e material, desde aço, cimento, chumbo, estanho, ferro forjado, ferro fundido, latão, madeira e vidro. Os seus limites de aplicação são bastante extensos, podendo ser aplicada em diâmetros de 50 a 3500 mm e velocidades até 3m/s, ou seja, a grande maioria dos casos do dia a dia. [Azevedo Netto, José (1998). Manual de Hidráulica]

É por todas estas razões que a fórmula de Hazen-Williams será utilizada neste trabalho para o cálculo da perda de carga.

5.4.2. Perda de Carga Contínua

A tubagem e coletores a utilizar nos circuitos de água refrigerada e água quente serão em aço carbono, também chamado ferro preto, por ser obtido directamente do processo de laminagem. A tubagem é de série média, sem costuras, e deve ser construída de acordo com as Normas DIN 2440, para diâmetros até DN 150, e DIN 2448, para diâmetros superiores a DN 150. Todos os acessórios de montagem, tais como uniões, reduções, curvas, entre outros, devem também respeitar as normas supracitadas.

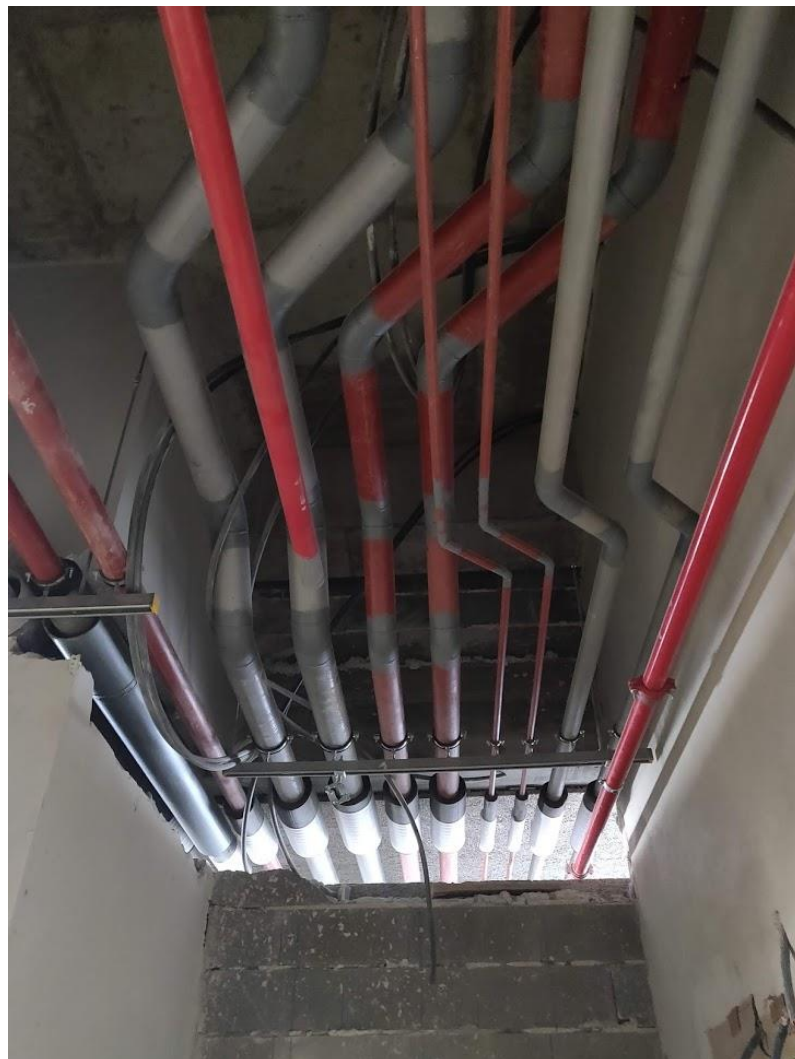


Figura 5.21. Tubagem de Ferro Preto do HCT

O circuito hidráulico em estudo é composto por troços de ferro preto de diferentes dimensões. Para questões do cálculo da perda de carga, foi feito um levantamento das quantidades de tubo, em função do caudal de água. É importante identificar os troços com o mesmo diâmetro, mas que conduzem caudais de água diferentes, visto que o caudal tem influência na perda de carga. Segundo a Equação da Continuidade (6), o caudal é dado por:

$$Q = v \times A \quad (6)$$

Onde:

- Q: Caudal do fluído [m³/h]
- v: Velocidade do fluído [m/s]
- A: Área de secção de passagem do fluído [m²]

A Tabela 5.8 indica as quantidades de tubagem do circuito, em função do caudal de água.

Tabela 5.8. Levantamento de tubagem do circuito de água fria.

Dimensão tubo	Caudal [m³/h]	Quantidade [m]
DN 150	171,56	14
DN 80	25,91	121
	23,48	8
	23,22	13
	20,91	7
	16,31	8
DN 65	12,66	21
	12,42	15

Com os dados da Tabela 5.8, apenas fica a faltar o valor do coeficiente C , da fórmula de Hazen-Williams, e o valor do diâmetro interno do tubo para se conseguir calcular a perda de carga da tubagem.

De acordo com a Tabela 5.7, para um tubo de aço carbono, série média, o coeficiente de atrito C tem um valor de 130, enquanto que a Tabela 5.9 indica os diâmetros internos em função do diâmetro nominal da tubagem.

Tabela 5.9. Diâmetro interno da tubagem

<i>Diâmetro Nominal</i>	<i>Diâmetro interno [mm]</i>
<i>DN 15</i>	16,20
<i>DN 20</i>	21,70
<i>DN 25</i>	27,35
<i>DN 32</i>	36,05
<i>DN 40</i>	41,95
<i>DN 50</i>	53,05
<i>DN 65</i>	68,75
<i>DN 80</i>	80,90
<i>DN 100</i>	105,05
<i>DN 150</i>	155,20

Desta forma, possuo todos os dados necessários para o cálculo da perda de carga na tubagem. Foi usada uma folha de cálculo como ferramenta para o cálculo do valor pretendido. Desta folha, resultou um valor da perda de carga da tubagem para o circuito de água fria de 7,03 m.c.a. (metro coluna de água).

Circuito de Distribuição de Água Fria

Numeração Desenho	Tipologia Troço	Projecto		Verificação de Tubagem		Calculo da Perda Carga			
		Caudal [l/h]	Diamêtro	Velocidade [m/s]	Verificação	ΔP [mca/m]	L [m]	ΔP [mca]	ΔP [mca] x 1,3
UTAN P01.04	P	171 560	6 "	2,52	OK	0,0402	14	0,5588	0,7265
	P	25 910	3 "	1,40	OK	0,0290	121	3,5013	4,5517
	P	23 480	3 "	1,27	OK	0,0241	8	0,1979	0,2572
	P	23 220	3 "	1,25	OK	0,0236	13	0,3120	0,4057
	P	20 910	3 "	1,13	OK	0,0195	7	0,1285	0,1670
	S	16 310	3 "	0,88	OK	0,0123	8	0,0934	0,1214
	S	12 660	2 1/2"	0,95	OK	0,0170	21	0,3634	0,4724
	S	12 420	2 1/2"	0,93	OK	0,0164	15	0,2524	0,3281
Q Total		171 560				Totais	207,2	5,41	7,03

Perda Carga Diametros Projecto: 7,03

Figura 5.22. Perda de carga da tubagem do circuito de água fria

De forma a um melhor entendimento dos resultados apresentados pela Figura 5.22, de seguida abaixo demonstro o processo de cálculo de um dos troços. O circuito primário de 3" (DN 80), com caudal de 25,91 m³/h, servirá como exemplo do processo de cálculo, e os dados necessários ao cálculo da perda de carga são os seguintes:

- Caudal: $Q = 25,91 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,0072 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Diâmetro 3" (DN 80), o que implica um diâmetro interno $D = 0,0809 \text{ m}$ (Tabela 5.9).

Com os valores do caudal e do diâmetro interno, temos todos os dados necessário ao cálculo da perda de carga, através da fórmula de Hazen-Williams.

$$J = 10,643 \times 0,0072^{1,85} \times 130^{-1,85} \times 0,0809^{-4,87} = 0,029 \text{ mca/m}$$

Este é o valor da perda de carga unitária. Para obter o valor para todo o troço preconizado, basta multiplicar pelo comprimento total, que é de 121 metros, o que resulta numa perda de carga de 3,5 m.c.a..

Porém, este valor é apenas para os troços retos de tubagem. A perda de carga introduzida por acessórios, tais como curvas, reduções, “tês”, é tida em conta multiplicando o valor anterior por 1,3, ou seja, estes acessórios aumentam a perda de carga em 30%. Assim sendo, a perda de carga introduzida por uma tubagem de ferro preto de 3 polegadas, onde circula um caudal de 25,91 m³/h, é de 4,55 m.c.a.

Somando a perda de carga de todos os troços, a perda de carga total do circuito de água fria é de 7,03 m.c.a.

Relativamente ao circuito de água quente, o mesmo estudo foi efectuado. A perda de carga deste circuito, já tendo em conta a perda de carga dos acessórios como as curvas e outros acima mencionados, é de 5,02 m.c.a.

Circuito de Distribuição de Água Quente

Numeração Desenho	Tipologia Troço	Projecto		Verificação de Tubagem		Calculo da Perda Carga			
		Caudal [l/h]	Diamêtro	Velocidade [m/s]	Verificação	ΔP [mca/m]	L [m]	ΔP [mca]	ΔP [mca] x 1,3
UTAN P01.04	P	32 730	4 "	1,05	OK	0,0125	25	0,3077	0,4001
	P	13 250	2 1/2"	0,99	Possível Optimização	0,0185	126	2,3242	3,0215
	P	10 480	2 1/2"	0,78	Possível Optimização	0,0120	14	0,1675	0,2178
	P	10 000	2 1/2"	0,75	Possível Optimização	0,0110	13	0,1371	0,1783
	P	8 910	2 1/2"	0,67	Possível Optimização	0,0089	7	0,0585	0,0760
	S	5 620	2 "	0,71	OK	0,0133	9	0,1214	0,1578
	S	4 070	1 1/2"	0,82	OK	0,0230	18	0,4074	0,5296
	S	3 620	1 1/2"	0,73	OK	0,0185	18	0,3409	0,4432
Q Total		32 730				Totais	228,7	3,86	5,02

Perda Carga Diametros Projecto: **5,02**

Figura 5.23. Perda de carga da tubagem do circuito de água quente

5.4.3. Perdas de Carga Localizadas

O circuito hidráulico em estudo possui diversos acessórios, que também eles introduzem perda de carga. Existem diversos tipos de acessórios, tais como válvulas de borboleta, válvulas de regulação de caudal, filtros “y”, válvulas de retenção, entre outros. Para além dos vários tipos de válvulas e filtros, há que ter também em conta a perda de carga introduzida pelas baterias de água da UTA, os coletores de água e o próprio chiller.

Os filtros do tipo “y” tem a função de remover sujidade e impurezas presentes no circuito hidráulico. Neste caso em específico, serão instalados antes de cada bomba hidráulica, antes de cada UTA, tanto no circuito de água fria como de água quente. No caso do chiller, será instalado um filtro “y” na linha de retorno de água quente,



Figura 5.24. Filtro do tipo “y” na alimentação de uma UTA do HCT

É então necessário proceder ao cálculo da perda de carga introduzida pelos acessórios. Foram utilizadas duas fórmulas de cálculo distintas, consoante os dados disponíveis.

$$K_v = \frac{Q}{\Delta P} \quad (7)$$

Onde:

- K_v : caudal de água que resulta numa perda de carga de 1 bar através do acessório [m^3/h];
- Q : caudal de água que circula no acessório [m^3/h];
- ΔP : perda de carga introduzida pelo acessório [bar].

O valor de K_v pode ser encontrado nos catálogos de seleção dos fabricantes dos acessórios. Neste caso, a Tabela 5.10 faz parte do catálogo de seleção de filtros “y” do fabricante Crane (Anexo IV).

Tabela 5.10. Valores do coeficiente “ K_v ” para filtros “y”

SIZE (mm)	WEIGHT (kg)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	H (Rc)	K_v
50	10	230	139.2	197	½"	58
65	14	290	158.6	227	1"	89
80	18	310	177.5	256	1"	127
100	24	350	197.6	293	1½"	180
125	37	400	269.6	362	2"	268
150	50	480	296.8	407	2"	356
200	89	600	363.4	513	2"	630

Considerando um filtro “y” de 2 ½” (DN 65) que estará instalado na linha de retorno da água fria da UTAN P01.04. O caudal “Q” que irá circular no filtro em questão será de 12,42 m^3/h . Quanto ao coeficiente “ K_v ”, de acordo com a Tabela 5.10, para um filtro de 2 ½”, o valor de K_v é de 89 m^3/h . Assim sendo, existem todos os dados necessários para o cálculo da perda de carga através do filtro. Usando a equação 10, fica:

$$\Delta P = \left(\frac{12,42}{89} \right)^2 = 0,019474 \text{ bar} = 0,19474 \text{ mca}$$

A outra forma de calcular a perda de carga num acessório é através do uso da Equação 8.

$$H_L = k \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Onde:

- H_L : perda de carga [m.c.a.];
- k : coeficiente de perda de carga localizada;
- v : velocidade do escoamento no acessório [m/s];
- g : aceleração da gravidade (9,81 m/s²).

A Equação 11 é usada quando é conhecido o valor do coeficiente de perda de carga “k”, que pode ser obtido através da Tabela 5.11.

Tabela 5.11. Coeficiente de perda de carga localizada

Type of valve / fitting	De-sign	Loss coefficient ζ for DN =																Comment				
		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500		600	800	1000	
Shut-off valves	Slide disc valves (d _E = DN)	min	0.1	←																	0.1	
		max	0.65	0.6	0.55	0.5	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3	←										0.3
	Round-body gate valves (d _E = DN)	min						0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11
		max						0.32	0.31	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14
	Ball and plug valves (d _E = DN)	min	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02					
		max	0.15	←												→	0.15					
	Butterfly valves	PN 2.5 10	min					0.90	0.59	0.38	0.26	0.20	0.14	0.12	0.09	0.06	←					0.06
		max						1.20	1.00	0.80	0.70	0.62	0.56	0.50	0.42	0.40	0.37	0.33	0.33	0.33	0.30	0.28
		PN 16 25	min					2.04	1.80	1.55	1.30	1.08	0.84	0.75	0.56	0.48	0.40	←				0.40
		max						2.50*	2.30*	2.10*	1.90*	1.70*	1.50*	1.30	1.10	0.90	0.83	0.76	0.71	0.67*	0.63*	
	Globe valves, forged	min			6.0	←		6.0														
		max			6.8	←		6.8														
	Globe valves, cast	min	3.0	←													3.0					
		max	6.0	←													6.0					
	Compact valves	min	0.3	0.4	0.6	0.6	1.0	1.1	←								1.1					
		max	0.3	0.9	1.9	←		1.9	2.2	2.2	2.3	2.5	2.5									
	Angle valves	min	2.0	←																		2.0
		max	3.1	←																		6.6
	Y-valves	min	1.5	←																		1.5
	max	2.6	←																		2.6	
Straight-through valves	min	0.6	←																		0.6	
	max	1.6	←																		1.6	
Diaphragm valves	min	0.8	←																		0.8	
	max	2.7	←																		2.7	
Non-return valves	Non-return valves, straight seat	min	3.0	←																	3.0	
		max	6.0	←																	6.0	
	Non-return valves, axial	min	3.2	←																	4.3	
		max	3.4	3.4	3.5	3.6	3.8	4.2	5.0	6.4	8.2	4.6	←									4.6
	Non-return valves, slanted seat	min	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	←										1.5
		max	3.0	←																		3.0
	Foot valves	min						1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	(7.0)	(6.1)	(5.5)	(4.5)	(4.0)
		max						3.0	←													() In groups
	Swing check valves	min	0.5	←				0.5	0.4	←												0.3
		max	3.0	←																		3.0
Hydrostops	v = 4 m/s						0.9					3.0		3.0	2.5	2.5	1.2	2.2				
	v = 3 m/s						1.8					4.0		4.5	4.0	4.0	1.8	3.4				
	v = 2 m/s						5.0					6.0		8.0	7.5	6.5	6.0	7.0				
Filters						2.8	←														2.8	
Strainers						1.0	←														1.0	

1) If the narrowest shut-off diameter d_E is smaller than the line connection nominal diameter DN, the loss coefficient ζ must be increased by (DN/d_E)^x with x = 5 to 6.

2) When the valve is partially open, i.e. low flow velocities, the loss coefficients increase to the "max" values. With increasing flow velocities v (in m/s) the loss coefficients decrease roughly as $\zeta \propto 1/v$. See Fig. 13 for designs.

As válvulas de borboleta são usadas para regulação do caudal do fluido em escoamento, podendo também ser usadas para seccionamento.



Figura 5.25. Válvula de borboleta, HCT

Como exemplo, duas válvulas de borboleta de 3" irão estar instaladas nas linhas de aspiração e compressão da bomba hidráulica. Os dados são os seguintes:

- Caudal: $Q = 23,48 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Diâmetro interno = $80,9 \text{ mm} = 0,080 \text{ m}$ (Tabela 5.9);
- $k = 2,10$.

Através da Equação 9 é obtido o valor da velocidade de escoamento da água.

$$v = \frac{23,48 \div 3600}{\frac{\pi \times 0,080^2}{4}} = 1,27 \text{ m/s}$$

Com o valor da velocidade obtido, é agora possível calcular a perda de carga por cada válvula de borboleta, usando a Equação 8.

$$H_L = 2,10 \times \frac{1,27^2}{2 \times 9,81} = 0,1726 \text{ mca}$$

Desta forma, é assim calculado a perda de carga de todos os acessórios. No caso do circuito de água quente, o total das perdas de carga localizadas é de 16,51 m.c.a. Somando as perdas de carga contínuas e um fator de segurança de 10%, o valor da perda de carga total para este circuito é de 23.69 m.c.a., valor que se encontra dentro dos parâmetros da bomba hidráulica preconizada para este circuito.

Acessórios / equipamentos	Qt	Coefficiente - k	Velocidade(m/s)	Entrada Manual ΔP [mca]	ΔP [mca]
Juntas Anti-Vibráticas 4"	2	2,3	1,05		0,2585
Valvula Borboleta 4"	4	1,9	1,05		0,4271
Filtro de cesto 4"	1			0,179491992	0,1795
Válvula Regulação de Caudal Motorizada 4"	1			2,263159351	2,2632
Valvula Borboleta 2 1/2"	4	2,1	0,99		0,4196
Valvula Borboleta 2 1/2"	3	2,1	0,78		0,1954
Válvula de Retenção Disco Partido 2 1/2"	1			0,105565552	0,1056
Filtro Y 4"	1			0,330633611	0,3306
Valvula Borboleta 1 1/2"	2			0,010830083	0,0108
Valvula Regulação de Caudal 1 1/2"	1			0,010830083	0,0108
Filtro Y 2 1/2"	1			0,13865724	0,1387
Filtro Y 1 1/2"	1			0,120334252	0,1203
Bateria Quente UTAN.P01.04	1			1,93877551	1,9388
Chiller SyScrew 1130 Water EVO RC	1			4,183673469	4,1837
Colector secundário DN 125	1			2	2,0000
Colector primário DN 600	1			4	4,0000
TOTAL Perdas Carga Localizadas [m.c.a.]:					16,58
TOTAL Perdas Carga Tubagem [m.c.a.]:					5,02
TOTAL [m.c.a.]:					21,61
10,00% Segurança)					23,77
Dp bomba [m.c.a]					24

Figura 5.26. Somatório das perdas de carga localizadas, no circuito de água quente

6. CONCLUSÃO

Findo o estágio curricular na Climacer Lda., pode-se concluir que os objetivos inicialmente traçados foram cumpridos com sucesso.

Todo o trabalho por mim realizado, que inicialmente era supervisionado com maior atenção, foi ficando cada vez mais autónomo e de maior responsabilidade.

Percebeu-se o funcionamento global de uma obra de grandes dimensões, nomeadamente a nível de preparação e execução de obra e resolução de problemas, sempre com um elevado nível de aprendizagem.

Percebeu-se a necessidade e importância do bom funcionamento de um sistema de desenfumagem, já que a saúde e bem-estar nos ocupantes de um edifício podem estar entregues a este sistema.

Essencialmente, entendeu-se a importância de um bom dimensionamento de um circuito hidráulico, bem como as implicações caso isso não aconteça, quer a nível económico, técnico e ambiental. A palavra “eficiência” é regra, nos dias que correm. Todos os equipamentos, não só hidráulicos, mas todo o tipo de equipamento que apresente um consumo energético, devem desempenhar bem a sua tarefa, consumindo o mínimo de energia ao fazê-lo.

Em suma, conclui-se que a decisão de realizar um estágio curricular foi a mais acertada para finalizar o Mestrado em Engenharia Mecânica – Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos. O nível de aprendizagem, a integração no mercado de trabalho e a oportunidade de trabalhar com excelentes profissionais do ramo são as principais razões pela qual estou certo de a minha escolha ter sido acertada.

7. BIBLIOGRAFIA

Coelho, A. Leça (2010). Incêndios em Edifícios.

Leça Coelho, António (2002). Curso Segurança Contra Incêndio em Edifícios – Fundamentos da segurança contra incêndio em edifícios. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Gomes Pinhal, Bárbara (2010). Controlo de Fumos - Evolução e Tendências.

Loureiro, Juliana (2018). Controlo de Fumos no Edifício de Ampliação do Hospital CUF Descobertas em Lisboa.

Azevedo Netto, José (1998). Manual de Hidráulica.

Systemair (2016). Catálogo geral Systemair 2016/2017.

<http://www.coimbraconvento.pt/pt/> (Convento São Francisco, 2020).

<http://www.climacer.com/#page> (Portefólio Climacer, 2020).

<https://www.valetua.pt/mister-we-could-use-a-man-like-herbert-hoover-again-and-his-skipper-2/> (Agência de Desenvolvimento Regional do Vale do Tua, 2020).

<http://www.exuvent.pt/solucoes/desenfumagem/> (Exuvent, 2019).

<http://www.dh-portugal.pt/desenfumagem.htm> (D+H Portugal, 2019).

http://www.petaproj.pt/desenf_principios.html (Petaproj, 2019).

<https://www.saudecuf.pt/cuf/noticias/hospital-cuf-tejo-desenhado-para-as-doencas-do-futuro> (CUF, 2019).

<https://www.systemair.com/Global/> (Systemair, 2019).

<https://pt.grundfos.com/> (Grundfos, 2019).

<https://www.tria.pt/> (Tria, 2019).

8. ANEXOS

Anexo I - Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro

Anexo II – Documentação Técnica Bomba Hidráulica

Anexo III - Documentação Técnica Dossolan

Anexo IV - Documentação Técnica Filtro “Y”

Anexo V – Documentação Técnica Unidade de Tratamento de Ar

Anexo VI – Documentação Técnica Válvula de Retenção

Anexo VII – Documentação Técnica Separador de Ar

Anexo VIII – Documentação Técnica Chiller

Anexo IX – Documentação Técnica Válvula Borboleta

Anexo X – Documentação Técnica Válvula de Regulação de Caudal

Anexo XI – Documentação Técnica Registo de Desenfumagem