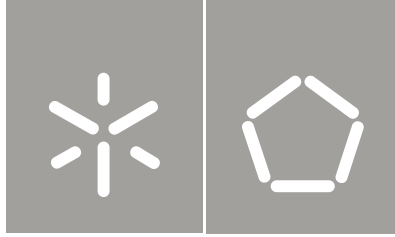


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Luis Manuel Vieira Novais

Estudo de normas, especificações técnicas e
ensaios para certificação de condutas e
acessórios para transporte de ar



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Luis Manuel Vieira Novais

Estudo de normas, especificações técnicas e
ensaios para certificação de condutas e
acessórios para transporte de ar

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Manuel Eduardo Cardoso Ferreira

Co-orientador
Engenheiro Hugo Alexandre Fernandes Silva

DECLARAÇÃO

Nome: Luis Manuel Vieira Novais

Endereço eletrónico: luisnvais@gmail.com

Telefone:918535430

Número do cartão do cidadão: 12737920

Titulo dissertação: **Estudo de normas, especificações técnicas e ensaios para certificação de condutas e acessórios para transporte de ar.**

Orientador(es): Professor Doutor Manuel Eduardo Cardoso Ferreira; Engenheiro Hugo Alexandre Fernandes Silva

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

Ciclo de Estudos Conducente ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Declaro que concedo à Universidade do Minho e aos seus agentes uma licença não-exclusiva para arquivar e tornar acessível, nomeadamente através do seu repositório institucional, nas condições abaixo indicadas, a minha dissertação, no todo ou em parte, em suporte digital.

Declaro que autorizo a Universidade do Minho a arquivar mais de uma cópia da dissertação e a, sem alterar o seu conteúdo, converter a dissertação entregue, para qualquer formato de ficheiro, meio ou suporte, para efeitos de preservação e acesso.

Retenho todos os direitos de autor relativos à dissertação, e o direito de a usar em trabalhos futuros (como artigos ou livros).

Concordo que a minha tese ou dissertação seja colocada no repositório da Universidade do Minho com o seguinte estatuto:

- Disponibilização imediata do conjunto do trabalho para acesso mundial

Universidade do Minho, 31/10/2013

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram e ajudaram na execução deste projeto de dissertação de Mestrado, principalmente:

- Ao meu orientador, Professor Doutor Manuel Eduardo Cardoso Ferreira, pela orientação e apoio;
- Ao meu orientador na empresa, Engenheiro Hugo Alexandre Fernandes Silva pela frontalidade, pelas discussões de soluções e disponibilidade.
- À empresa Os Netos Do Simão, pela disponibilidade de cederem todo o material, e um espaço para um bom trabalho.
- À Dr.^a. Elisabete Machado pela oportunidade que me foi dada.
- Ao Sr. Luis Mendes pela disponibilidade e ajuda prestada sempre que necessário.
- Ao Sr. António Rocha, pela fabricação dos componentes necessários a testar.
- Ao Professor Luis Ferreira da Silva por toda a ajuda, boa vontade e companheirismo que sempre demonstrou ao longo de todo o meu percurso académico.
- À minha namorada pelo companheirismo e apoio.
- Aos meus grandes amigos, de sempre e para sempre, pelo encorajamento, apoio e companheirismo.
- A todos aqueles que não mencionei, mas que intervieram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho.
- Por último quero agradecer e dedicar a tese à minha família, em particular aos meus pais, pela paciência, apoio e motivação em todos os momentos deste percurso.

RESUMO

A crescente preocupação mundial com qualidade do ar interior (QAI), fomentou a necessidade de modernização por parte das empresas numa urgente adaptação a esta nova realidade.

Essa adaptação despertou a necessidade de criação de normas e especificações técnicas com o intuito de uniformizar e balizar os parâmetros necessários para uma correta construção de todos os componentes que intervêm na melhoria da QAI.

Posto isto, esta dissertação tem como finalidade o estudo de normas e especificações técnicas de condutas e acessórios para transporte de ar.

No documento apresentado são descritas as normas aplicadas a alguns componentes na busca de uma maior e melhor utilização no transporte de ar, com a seleção de dois componentes para análise e identificação de melhorias onde estará incluído ensaios realizados de acordo com as normas e legislação em vigor.

No segundo e terceiro capítulo são desenvolvidos os conceitos gerais das normas em causa, nomeadamente EN 1506:2007, NP 2167:1992 e EN1751:2000 sendo elas essenciais para a compreensão e desenvolvimento do trabalho apresentado. É feita ainda uma descrição das instalações experimentais onde decorreram os estudos apresentados enriquecendo assim os resultados dos mesmos.

No quarto capítulo, são abordados os conceitos de Mecânica de Fluidos uma vez que foram indispensáveis para atingir com objetividade o tema explorado nesta dissertação. São apresentados neste capítulo os resultados obtidos a partir dos componentes selecionados assim como a explicação das melhorias efetuadas comparativamente aos modelos iniciais.

No quinto e último capítulo são descritas as conclusões retiradas de todo o trabalho desenvolvido.

A dissertação apresentada permite perceber que as necessidades de adaptação dos componentes existentes são emergentes e que a população anseia por otimizações que não prejudiquem o meio ambiente e sejam benéficas para o conforto e bem-estar de cada um.

ABSTRACT

The crescent global preoccupation with interior air quality (IAQ) increased the necessity of modernization by companies an urgent adaptation to this new reality.

This adaptation awake the need of creation standards and technical specifications in order to standardize and delimit the parameters necessary for the correct construction of all components involved in improving IAQ.

Hereupon, this dissertation aims at the study of standards and technical specifications for pipes and fittings for air transport.

Present in this document is the description of the standards applied to some components in search of a grater and better user air transport, with the selection of two components for analysis and identification of which is included improvements tests according to rules and laws.

The second and third chapter are developed general concepts of the standards concerned, namely EN 1506:2007; NP 2167:1992; EN 1751:2000 they are essential to the understanding and development of the work presents. This Chapter also has a description of experimental facilities where it look the studies presented thus enabling their results.

The fourth chapter examines the concepts of Fluid Mechanics since were objectively necessary to attain the topic explored in this dissertation. In the chapter are presented the results obtained from selected components and explanation of the improvements made compared to earlier models.

The last chapter contains descriptions and conclusions from all the work developed.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE GRAFICOS.....	ix
INDICE DE TABELAS.....	xi
GLOSSARIO DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS	xiii
1 Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	2
1.2 Objetivos da tese	3
1.3 Organização da tese	3
2 Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 Princípios da norma EN 1506:2007.....	6
2.2 Princípios da norma NP 2167:1992.....	13
2.3 Princípios da norma EN 1751:2000.....	14
3 Instalação Experimental.....	17
3.1 Tubeira.....	19
3.2 Ventilador.....	20
3.3 Tubagem Spiro	21
3.4 Chapéu de Descarga Vertical	23
3.5 Registo Regulador de Caudal	23
3.6 Medidor de caudal de gases	24
4 Resultados	27
4.1 Perdas Carga.....	27
4.2 Método para a determinação do Caudal na Instalação.....	32
4.3 Resultados antes das otimizações.....	35
4.3.1 Análise experimental do Chapéu Descarga Vertical	35
4.3.2 Análise experimental do Registo Regulador de Caudal.....	38
4.4 Resultados depois das otimizações	41
4.4.1 Análise experimental do Chapéu Descarga Vertical	41
4.4.2 Análise experimental do Registo Regulador de Caudal.....	44
4.5 Otimizações Efetuadas.....	46

4.5.1	Chapéu Descarga Vertical	46
4.5.2	Registo Regulador de Caudal.....	54
5	Apontamentos Finais	58
5.1	Conclusões.....	58
5.2	Trabalho Futuro.....	59
	BIBLIOGRAFIA	61
	ANEXOS	63
	ANEXO A – Ficha Técnica Chapéu Descarga Vertical	64
	ANEXO B – Ficha Técnica Registo Regulador de Caudal	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Tipo de curvas existentes.....	8
Figura 2-2: Exemplos de ramificações de condutas.....	9
Figura 2-3: Exemplo de uma peça em “T” com gola circular concêntrica	9
Figura 2-4: Exemplo de uma peça em “T” com gola retangular concêntrica	10
Figura 2-5: Exemplo de reduções concêntricas e excêntricas	10
Figura 2-6: Tolerâncias e folgas nominais para condutas e acessórios	12
Figura 2-7: Detalhes da posição da secção de mostragem	13
Figura 2-8: Configuração modelo da instalação para teste de um regulador de caudal.....	15
Figura 3-1: Esquema da instalação do Registo Regulador Caudal.....	17
Figura 3-2: Esquema da instalação do Chapéu Descarga Vertical.....	18
Figura 3-3: Instalação Experimental do Chapéu Descarga Vertical	18
Figura 3-4: Instalação experimental do Registo Regulador de Caudal.....	19
Figura 3-5: Tubeira	19
Figura 3-6: Ventilador SODECA CMA-545-2T-3.....	21
Figura 3-7: Variador de frequência acoplado ao ventilador	21
Figura 3-8: Tubo Spiro	22
Figura 3-9: Curva Spiro	22
Figura 3-10: Chapéu Descarga Vertical.....	23
Figura 3-11: Registo Regulador de Caudal	24
Figura 3-12: Registo Regulador de Caudal estanque	24
Figura 3-13: Tomadas de Pressão na tubeira / instalação do Registo Regulador de Caudal ...	25
Figura 3-14: Tomadas de pressão na instalação do Chapéu Descarga Vertical	25
Figura 3-15: Tubo de Pitot.....	26
Figura 3-16: Tubo de Pitot: Ilustração de funcionamento.....	26
Figura 4-1: Exemplo de secção de conduta.....	28
Figura 4-2: Cotagem Tubeira.....	33
Figura 4-3: Chapéu Descarga Vertical fabricado na empresa “Os Netos do Simão”	35
Figura 4-4: Registo Regulador Caudal fabricado na empresa “Os Netos Do Simão”	38
Figura 4-5: Chapéu Descarga Vertical proposto.....	41
Figura 4-6: Registo Regulador de Caudal proposto	44
Figura 4-7: Chapéu Descarga Vertical Ar Proposto	46
Figura 4-8: Primeira Otimização efetuada no Chapéu Descarga Vertical.	47
Figura 4-9: Área de extração Chapéu Descarga Vertical fabricado “ Os Netos do Simão”	47
Figura 4-10: Área de extração do Chapéu Descarga Vertical proposto	48
Figura 4-11: Alteração da gola superior do Chapéu Descarga Vertical	49
Figura 4-12: Chapéu Descarga Vertical no Lantek (Usual)	53
Figura 4-13: Chapéu Descarga Vertical no Lantek (Novo)	53
Figura 4-14: Alteração da colocação dos acessórios do manípulo regulador	54
Figura 4-15: Autocad disco/registo com disco	55
Figura 4-16: Máquina Corte Plasma	55
Figura 4-17: Registo Regulador Caudal Estanque.....	56
Figura 4-18: Registo com respetivos acessórios no manípulo	57

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4-1: Fator de atrito para escoamento completamente desenvolvido em tubos circulares.....	31
Gráfico 4-2: Rugosidade Relativa e/D	32
Gráfico 4-3: Perdas Carga Chapéu Descarga Vertical Ar (Usual)	37
Gráfico 4-4: Perdas Carga Registo Regulador Caudal (Usual)	40
Gráfico 4-5: Perdas Carga Chapéu Descarga Vertical (Novo)	43
Gráfico 4-6: Perdas Carga Registo Regulador Caudal (Novo)	45

INDICE DE TABELAS

Tabela 2-1: Normas europeias para fabrico de condutas e acessórios	5
Tabela 2-2: Dimensão recomendada para condutas circulares	6
Tabela 2-3: Dimensões nominais das golas	7
Tabela 2-4: Raio das curvas	7
Tabela 2-5: Dimensões nominais de ramificações e peças em “T”	8
Tabela 2-6: Dimensão recomendada para reduções circulares	11
Tabela 2-7: Tolerâncias e folgas nominais para condutas e acessórios	12
Tabela 2-8: Modelo de quadro de registo de informação dos testes enunciados	16
Tabela 4-1: Rugosidade dos materiais	32
Tabela 4-2: Valor de Frequências a ensaiar	35
Tabela 4-3: Determinação do Caudal Real á entrada do ventilador	36
Tabela 4-4: Determinação Perdas carga do Chapéu Descarga Vertical ar (Usual)	36
Tabela 4-5: Valor de Frequências a ensaiar	39
Tabela 4-6: Determinação do Caudal Real á entrada do ventilador	39
Tabela 4-7: Determinação Perdas Carga Registo Regulador Caudal ar (Usual)	39
Tabela 4-8: Determinação do Caudal Real á entrada do ventilador	42
Tabela 4-9: Determinação Perdas carga do Chapéu Descarga Vertical (proposto)	42
Tabela 4-10: Determinação do Caudal Real á entrada do ventilador	45
Tabela 4-11: Determinação Perdas carga do Registo Regulador Caudal (proposto)	45
Tabela 4-12: Dimensões do Chapéu De Descarga Vertical proposto	51
Tabela 4-13: Dimensões do Chapéu Descarga Vertical Ar atual da empresa “ Os Netos Do Simão”	52

GLOSSARIO DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolos Latinos	Definição	Unidade
A	Área da secção transversal	(m^2)
C_D	Coefficiente descarga	(—)
D	Diâmetro tubagem	(m)
Δh_d	Perdas de carga distribuídas	(m)
Δh_i	Perdas de carga localizadas	(m)
L	Comprimento secção	(m)
P	Pressão	(P_a)
Q	Caudal volumétrico	($m^3 s^{-1}$)
Q_t	Caudal volumétrico teórico	($m^3 s^{-1}$)
Q_r	Caudal volumétrico real	($m^3 s^{-1}$)
R	Raio da tubagem	(m)
R_e	Número de Reynolds	(—)
U	Velocidade de escoamento	ms^{-1}
U_i	Velocidade no eixo de escoamento	ms^{-1}
U_m	Velocidade média de escoamento	ms^{-1}
Z	Distância da tubagem ao solo	(m)

Símbolos Gregos	Definição	Unidade
Φ	Diâmetro local da tubeira	(m)
μ	Viscosidade dinâmica	($kg/m.s$)
P	Massa volúmica	(kg/m^3)

ΔH	Perda carga total	(Pa)
ΔP	Perda de pressão	(Pa)
G	Aceleração da gravidade	(m/s ²)

Abreviaturas

QAI	Qualidade do Ar Interior
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
NP	Norma portuguesa
EN	Norma europeia

1 Introdução

Hoje em dia a necessidade de termos a presença de ar limpo num ambiente ocupacional como fonte de oxigénio para o metabolismo do ser humano é essencial. Portanto, a ventilação natural existente nestes espaços pode não ser suficiente para garantir que os mesmos estejam em condições para serem respirados pelo nosso organismo. Assim, a ventilação mecânica passa a ter um papel preponderante através do uso de redes aerúlicas que mantêm estes locais com presença de ar limpo, com humidade e temperatura aceitáveis.

Todo este processo, leva-nos a considerar projetos de sistemas AVAC como particularmente importantes na projeção de edifícios de pequenas dimensões como é o caso de edifícios domésticos (habitações familiares), edifícios de serviços de média ou grande dimensão e por último de edifícios industriais.

Para que uma boa qualidade do ar seja garantida, em edifícios industriais, com processos e operações que emitem poluentes, é necessário proceder-se à extração do ar poluído para o exterior. Quando o pretendido é obter condições de conforto interior, edifícios domésticos ou de prestação de serviços, é necessário a insuflação de ar exterior novo tratado. O processo de renovação do ar é garantido por intermédio de insuflação/extração de ar.

A origem desta tecnologia baseou-se essencialmente em invenções ou descobertas levadas a cabo por algumas pessoas sendo que a sua evolução foi sempre acompanhada de perto pela Revolução Industrial, ainda nos dias de hoje existe uma constante evolução e modernização levada a cabo por um conjunto de empresas espalhadas um pouco por todo o mundo.

Com tudo isto, o ramo AVAC constitui hoje em dia, uma importante atividade na economia nacional e internacional existindo empresas especializadas e dedicadas à produção, instalação e comercialização destes mesmos produtos.

Este ramo empresarial está em constante evolução e movimentação, logo existe nos dias de hoje, uma crescente preocupação a nível mundial em relação à qualidade do produto final,

em relação à eficiência energética desse mesmo produto e por último uma crescente preocupação relacionada com a questão ambiental.

Para se poder dar uma resposta positiva a todas estas questões foram elaboradas normas para definir as condições em que estes equipamentos devem ser projetados, instalados, mantidos e por último operados.

1.1 Motivação

A realização desta dissertação teve o intuito de realizar um projeto final de curso num meio empresarial de modo a não só concretizar o fim da conclusão de mestrado, mas também com possibilidade de observação numa empresa metalomecânica onde será possível o contacto direto com o ambiente de trabalho, bem como do desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos.

O mercado deste tipo de equipamentos, designados como equipamentos AVAC, está em constante movimento tanto a nível nacional como internacional.

Com a atual crise financeira que o nosso país atravessa, as empresas tem vindo a apostar na sua internacionalização, ou seja, na exportação dos seus produtos, para tal a qualidade dos mesmos está sempre em mutação de forma a atingir melhores resultados.

Para que todo este processo seja possível, as indústrias metalomecânicas nacionais veem-se na necessidade de adotar competências e mecanismos apropriados que as levem não só à certificação dos produtos já existentes, mas também à criação de novos produtos para conseguirem entrar e competir num mercado, por si só, tão exigente.

Surge então a necessidade de criar uma unidade de ensaios nos Laboratórios de Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, em parceria com a empresa Os Netos Do Simão com o objetivo de desenvolver e testar este tipo de produtos tendo em vista o aumento da competitividade das empresas nacionais neste meio em constante desenvolvimento.

1.2 Objetivos da tese

Este projeto tem como objetivo principal o estudo de normas, especificações técnicas e realização de ensaios para certificação de condutas e acessórios para transporte de ar.

Numa primeira fase, irão ser feitas alterações em determinados produtos de acordo com a norma aplicada, EN 1506:2007, que especifica as dimensões e tolerâncias para condutas e acessórios circulares.

Posto isto, numa segunda fase, propõe-se a preparação e monitorização de uma instalação experimental de acordo com as normas aplicadas, EN 1751:2000 e NP 2167:1992 que detalham as metodologias e instrumentos de ensaio a utilizar.

Os equipamentos de ensaio a utilizar são: um Registo Regulador de Caudal de ar e um Chapéu de Descarga Vertical.

Os ensaios experimentais serão realizados em concordância com as normas acima referidas, sendo que através dos mesmos poderemos obter um conjunto de resultados, nomeadamente, a melhoria do seu aspeto construtivo culminando com o cálculo das perdas de carga existentes.

Com base nestes ensaios serão obtidos os parâmetros necessários para a elaboração de uma ficha técnica de cada componente e verificar se os mesmos estão em conformidade com os requisitos mínimos exigidos pelas normas.

1.3 Organização da tese

O primeiro capítulo tem como finalidade enquadrar o tema da tese no panorama Nacional e Internacional, terminando com a descrição dos objetivos da tese.

No segundo capítulo é efetuada uma revisão bibliográfica sobre os princípios das normas aplicadas aos produtos em estudo, nomeadamente, o Chapéu de Descarga Vertical e a Registo Regulador de Caudal.

No capítulo três descreve-se a instalação experimental utilizada, juntamente com uma breve descrição da sua configuração.

De seguida no Capítulo quatro é feita uma descrição das técnicas experimentais e as suas respetivas fundamentações teóricas.

Os resultados experimentais, bem como os ensaios e propostas de melhoria/processo de fabrico são apresentados no capítulo cinco.

Por último, a tese termina com as principais conclusões resultantes de todo o trabalho desenvolvido em volta deste tema.

2 Revisão Bibliográfica

Atualmente existe uma preocupação com a qualidade do Ar interior (QAI) em edifícios e habitações. Esta preocupação justifica-se pelo tempo passado em espaços fechados pela população em geral. Uma má QAI pode ter consequências graves para a saúde e pode afetar a produtividade dos seus utilizadores.

Para que tal não aconteça, existem um conjunto de regulamentos que tem de ser respeitados, bem como um conjunto de normas que tem de ser seguidas/cumpridas, nomeadamente, em relação ao fabrico de todo o tipo de condutas e acessórios.

Na Tabela 2.1 são listadas as normas europeias aplicadas ao fabrico de condutas e acessórios para ventilação de edifícios. Estas normas estabelecem requisitos relativos à conceção, tolerâncias, ao fabrico assim como todos os métodos de ensaio aplicados nestes tipos de componentes.

Tabela 2-1: Normas europeias para fabrico de condutas e acessórios

Normas	Aplicação
EN 1505	Ventilação de edifícios: Condutas metálicas e acessórios com secção retangular – Dimensões
EN 1506	Ventilação de edifícios: Condutas metálicas e acessórios com secção retangular – Dimensões
EN 1507	Ventilação de edifícios: Condutas metálicas e acessórios com secção circular – Requisitos de resistência e estanquidade.
EN 12237	Ventilação de edifícios: Sistemas de condutas - Resistência e estanquidade de condutas metálicas circulares
EN1751	Ventilação de edifícios: Dispositivos terminais – Ensaio aerodinâmico de registos e válvulas.
NP 2167	Qualidade do ar: Secção amostragem e plataforma para chaminés ou condutas circulares de eixo vertical.

2.1 Princípios da norma EN 1506:2007

A norma EN 1506 tem como objetivo estabelecer todas as dimensões e tolerâncias para condutas de metal e acessórios de seção circular usados em sistemas de ventilação.

A Tabela 2-2 contém todas as dimensões recomendadas para condutas circulares segundo a norma EN 1506, onde podemos verificar todos os diâmetros nominais recomendados por uma outra norma, ISO 7807, a sua área transversal e a área de superfície da conduta.

Tabela 2-2: Dimensão recomendada para condutas circulares

Nominal diameter, d mm	Cross-sectional area, A_c m^2	Duct surface area, A_i m^2/m
Recommended sizes		
63	$3,12 \times 10^{-3}$	0,197
80	$5,03 \times 10^{-3}$	0,251
100	$7,85 \times 10^{-3}$	0,314
125	$12,3 \times 10^{-3}$	0,393
160	$20,1 \times 10^{-3}$	0,502
200	$31,4 \times 10^{-3}$	0,628
250	$49,1 \times 10^{-3}$	0,785
315	$77,9 \times 10^{-3}$	0,990
400	0,126	1,26
500	0,196	1,57
630	0,312	1,98
800	0,503	2,51
1000	0,785	3,14
1250	1,23	3,93
Additional sizes		
150	$17,7 \times 10^{-3}$	0,471
300	$70,7 \times 10^{-3}$	0,943
355	$98,9 \times 10^{-3}$	1,11
450	0,159	1,41
560	0,246	1,76
710	0,396	2,23
900	0,636	2,83
1120	0,985	3,52
NOTE Recommended sizes correspond to the sizes stated in ISO 7807.		

Para além das dimensões recomendadas em condutas circulares, temos também que ter em atenção os seus acessórios e as suas respetivas dimensões.

Na Tabela 2-3 são demonstradas as dimensões das juntas, onde se pode observar, que em função do seu diâmetro nominal teremos diferentes comprimentos de junta ou comprimento de intersecção da conduta com o seu acessório.

Tabela 2-3: Dimensões nominais das golas

Nominal diameter in mm		63 to 315	> 315 to 800	> 800 to 1250
l_p	in mm	≥ 25	≥ 50	≥ 100

Posto isto, na Tabela 2-4 podemos observar os raios das curvas segundo o seu diâmetro nominal.

Tabela 2-4: Raio das curvas

d_i in mm	r_m in mm
≤ 100	100
> 100	d_i

Temos porém de ter em conta o seu comprimento efetivo, pois este também tem as suas recomendações. Podemos então observar a variação do comprimento efetivo segundo o ângulo e tipo de curva.

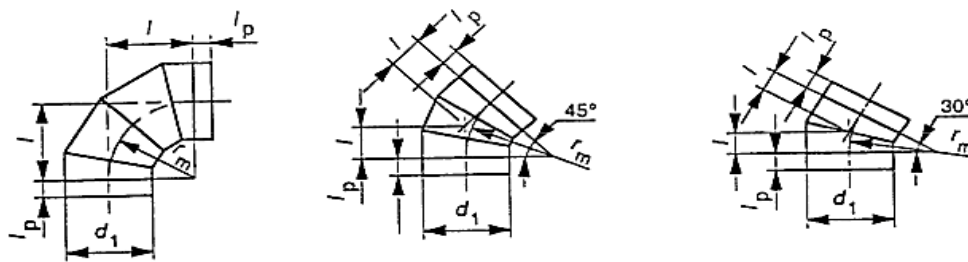
Em relação a ramificações e peças em "T" as suas dimensões recomendadas estão ilustradas na Tabela 2-5, onde podemos observar os tamanhos recomendados (R) e ainda os tamanhos adicionais (A). Na Figura 2-1, podemos observar alguns exemplos do tipo de configuração existente para curvas circulares.

Em relação a ramificações e peças em “T” as suas dimensões recomendadas estão ilustradas na Tabela 2-5, onde podemos observar os tamanhos recomendados (R) e ainda os tamanhos adicionais (A). Na Figura 2-1, podemos observar alguns exemplos do tipo de configuração existente para curvas circulares.

Tabela 2-5: Dimensões nominais de ramificações e peças em “T”

d_s d, d_1 mm	63	80	100	125	150	160	200	250	300	315	355	400	450	500	560	630	710	800	900	1000	1120	1250	
80	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	-	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	-	R	R	R	A	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	-	R	R	R	A	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250	-	R	R	R	A	R	R	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	-	-	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
315	-	-	R	R	A	R	R	R	A	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
355	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	R	R	R	A	R	A	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450	-	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	R	R	A	R	A	R	A	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
560	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
630	-	-	-	-	-	-	-	R	A	R	A	R	A	R	A	R	-	-	-	-	-	-	-
710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-	-	-
800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	A	R	A	R	A	R	A	R	-	-	-	-	-
900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	A	-	-	-	-
1000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	A	R	A	R	A	R	A	R	-	-	-
1120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	A	A	-	-
1250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	A	R	A	R	A	R	A	R	R

R - Recommended sizes A - Additional sizes.



Key

a) 90° bend, $l = r_m$
minimum 3 segments

b) 45° bend, $l = 0,41 r_m$
minimum 2 segments

c) 30° bend, $l = 0,27 r_m$
minimum 2 segments

Figura 2-1: Tipo de curvas existentes

Nas Figuras 2-2, 2-3 e 2-4 podemos observar os dois tipos de ramificações de condutas, peças em “T” com ramificação concêntrica e excêntrica.

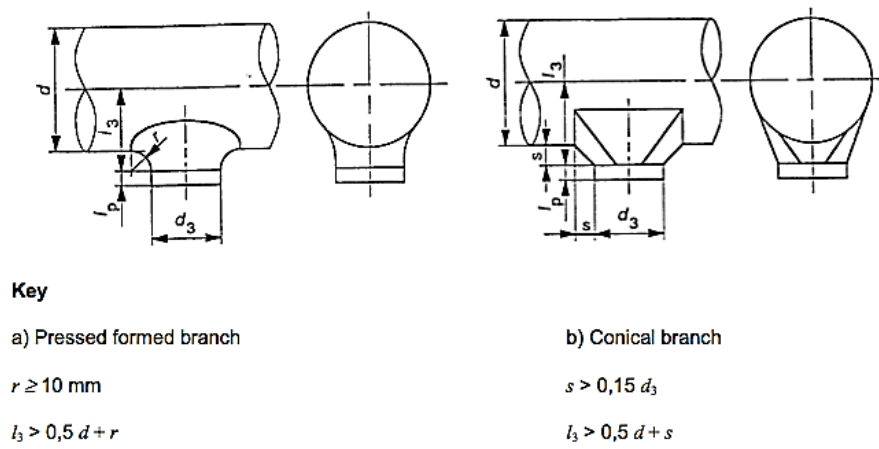


Figura 2-2: Exemplos de ramificações de condutas

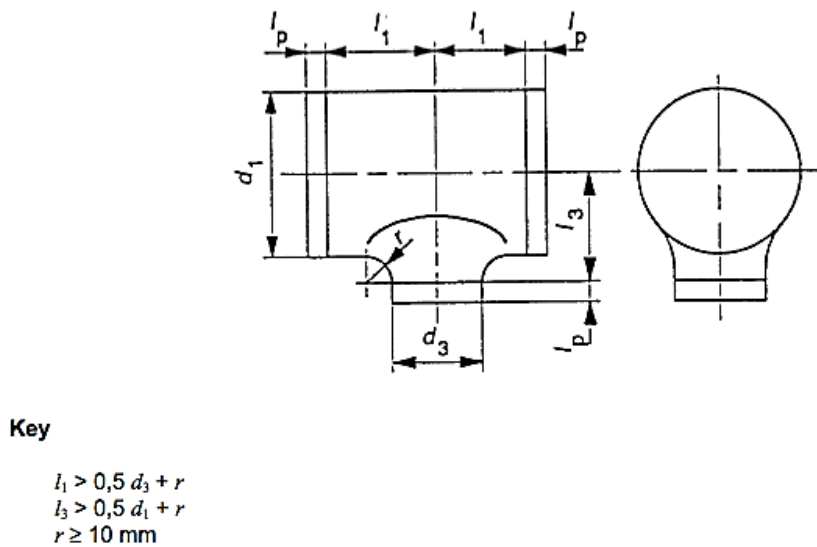
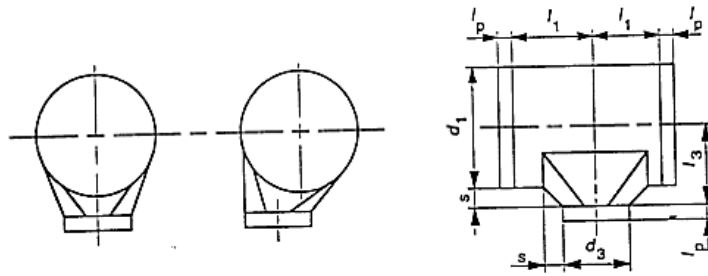


Figura 2-3: Exemplo de uma peça em “T” com gola circular concêntrica



Key

a) Concentric branch

b) Tangential branch

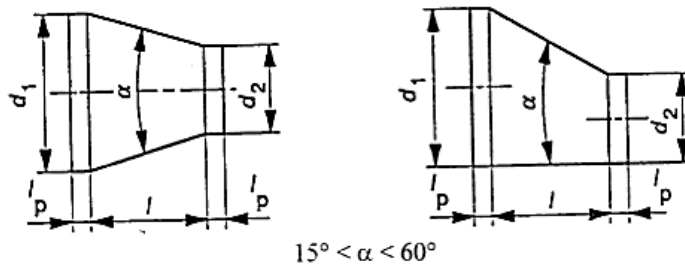
$$l_1 > 0,5 d_3 + s$$

$$l_3 > 0,5 d_1 + s$$

$$s > 0,15 d_3$$

Figura 2-4: Exemplo de uma peça em “T” com gola retangular concêntrica

Por fim temos as peças de transformação ou reduções como são mais conhecidas. Existem então, dois tipos de reduções, sendo elas, as concêntricas e as excêntricas como ilustra a Figura 2-5.



Key

a) Concentric

b) Eccentric

$$l = (d_1 - d_2) / [2 \tan (\alpha / 2)]$$

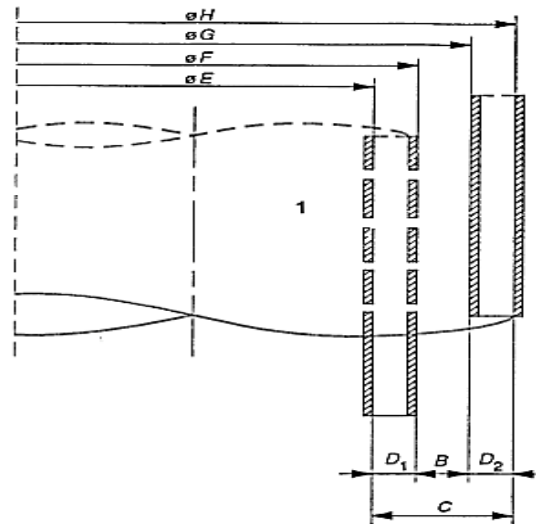
$$l = (d_1 - d_2) / \tan \alpha$$

For diameters up to and including 315 mm, transformation pieces are normally pressed. In these cases α may be increased to a maximum of 90°.

Figura 2-5: Exemplo de reduções concêntricas e excêntricas

Tabela 2-7: Tolerâncias e folgas nominais para condutas e acessórios

<i>d</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
Recommended sizes in mm								
63	0,7	1,7	0,5	0,5	61,8	62,3	63,0	63,5
80	0,7	1,7	0,5	0,5	78,8	79,3	80,0	80,5
100	0,7	1,7	0,5	0,5	98,8	99,3	100,0	100,5
125	0,7	1,7	0,5	0,5	123,8	124,3	125,0	125,5
160	0,7	1,9	0,6	0,6	158,7	159,3	160,0	160,6
200	0,7	2,1	0,7	0,7	198,6	199,3	200,0	200,7
250	0,7	2,3	0,8	0,8	248,5	249,3	250,0	250,8
315	0,7	2,5	0,9	0,9	313,4	314,3	315,0	315,9
400	0,7	2,7	1,0	1,0	398,3	399,3	400,0	401,0
500	0,7	2,9	1,1	1,1	498,2	499,3	500,0	501,1
630	0,7	3,1	1,2	1,2	628,1	629,3	630,0	631,2
800	0,7	3,6	1,3	1,6	798,0	799,3	800,0	801,6
1000	0,7	4,1	1,4	2,0	997,9	999,3	1000,0	1002,0
1250	0,7	4,7	1,5	2,5	1247,8	1249,3	1250,0	1252,5
Additional sizes in mm								
150	0,7	1,9	0,6	0,6	148,7	149,3	150,0	150,6
300	0,7	2,5	0,9	0,9	298,4	299,3	300,0	300,9
355	0,7	2,7	1,0	1,0	353,3	354,3	355,0	356,0
450	0,7	2,9	1,1	1,1	448,2	449,3	450,0	451,1
560	0,7	3,1	1,2	1,2	558,1	559,3	560,0	561,2
710	0,7	3,5	1,3	1,6	708,0	709,3	710,0	711,5
900	0,7	4,1	1,4	2,0	897,9	899,3	900,0	902,0
1120	0,7	4,7	1,5	2,5	1117,8	1119,3	1120,0	1122,5



Key

- | | | | |
|-----------------------|---|----------|--|
| <i>B</i> | minimum diametral clearance | <i>E</i> | minimum diameter of the male end |
| <i>C</i> | maximum diametral clearance | <i>F</i> | maximum diameter of the male end |
| <i>D</i> ₁ | tolerance of the diameter of the male end | <i>G</i> | minimum diameter of the duct or female end |
| <i>D</i> ₂ | tolerance of the diameter of the female end | <i>H</i> | maximum diameter of the duct or female end |
| 1 | male end | | |
| 2 | duct or female end | | |

Figura 2-6: Tolerâncias e folgas nominais para condutas e acessórios

2.2 Princípios da norma NP 2167:1992

A norma NP 2167:1992 tem como objetivo estabelecer e uniformizar as condições a que uma secção de amostragem e a plataforma respetiva devem satisfazer, aplicando-se não só a chaminés mas também a condutas circulares.

Em primeiro lugar convém ressaltar que a secção de amostragem é uma secção reta em que se verifica um perfil de velocidades sensivelmente uniforme e onde a repartição de partículas ou aerossóis não apresente localmente vórtices, zonas mortas, correntes preferenciais ou de retorno.

Posto isto, a secção de amostragem deverá estar localizada a uma distância a montante, D_1 , igual ou superior a oito vezes o diâmetro interno dessa secção e a jusante, D_2 , a uma distância igual ou superior a duas vezes ao seu diâmetro interno como é ilustrado na seguinte Figura 2-7.

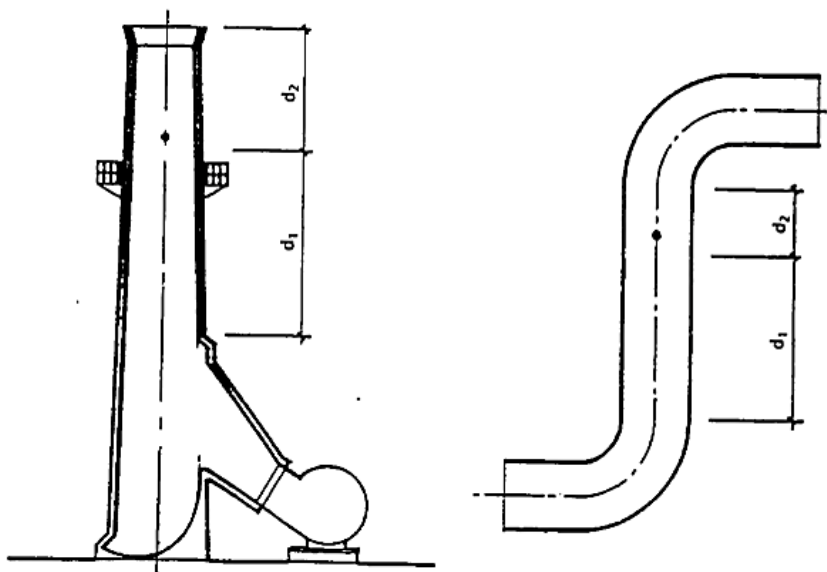


Figura 2-7: Detalhes da posição da secção de amostragem

A amostragem compreende, normalmente uma série de operações com determinada sequência, determinação de pressões, temperatura, composição do gás e amostragem propriamente dita.

Para a execução destes procedimentos, a secção de amostragem deve estar completamente desimpedida de modo a obtermos uma correta leitura de valores.

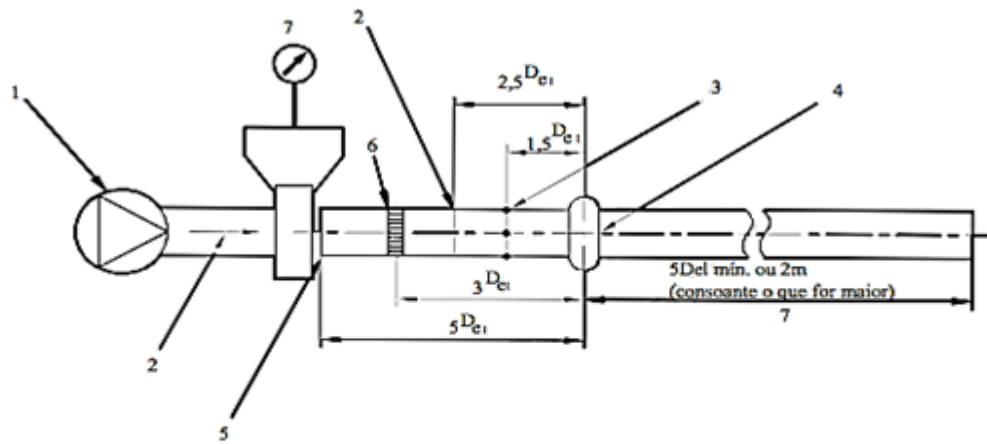
2.3 Princípios da norma EN 1751:2000

Esta norma foi elaborada pelo comité técnico *CENTC 156 “ Ventilation for Buildings”* e tem como função ou objetivo especificar os métodos de ensaio e tolerâncias de registos regulador de caudal e válvulas, que são usadas nos sistemas de ventilação de ar.

Nesta mesma norma estão incluídos os ensaios às fugas de registos e válvulas fechadas e às fugas pelas estruturas dos registos ou corpos de válvulas. Pode verificar-se ainda as características requeridas para a relação caudal volúmico/pressão.

Para o âmbito desta tese de mestrado apenas será realizado o ensaio para as características requeridas para a relação caudal volúmico/pressão em ambos os componentes.

Para os ensaios de caudal volúmico/pressão o registo ou válvula deve ser montado num sistema equipado com um ventilador, um dispositivo para controlar o caudal de ar presente na instalação, um caudalímetro e condutas de ensaio, Figura 2-8.



- 1 Ventilador
- 2 Se necessário, rede a uma distância mínima de $2,5D_{e1}$ e medição de temperatura a $2,5 D_{e1}$
- 3 4 tomadas de ar ligadas por anel piezométrico: em alternativa pode ser usada uma sonda
- 4 Registo ou válvula em ensaio
- 5 Ligação ao caudalímetro, ventilador e controlador de caudal
- 6 Estabilizador de caudal
- 7 Estação de medição de caudal

Figura 2-8: Configuração modelo da instalação para teste de um regulador de caudal

As condutas de ensaio devem ter secção reta igual ao tamanho nominal da unidade em ensaio, sendo que as condutas de ensaio submetidas à corrente de ar superior devem ser retilíneas por um comprimento mínimo de $5D_{e1}$. Por sua vez a conduta submetida a corrente de ar inferior deve ser retilínea por um comprimento mínimo de $5D_{e2}$ ou dois metros, conforme o valor mais elevado.

A estabilização do caudal deve ser feita por um estabilizador de caudal como indica a Figura 2-8, ou então, por um troço de conduta reta com um comprimento mínimo de $8D_{e1}$.

A pressão estática a montante deverá ser obtida usando quatro tomadas de pressão estática colocadas a $1,5D_{e1}$ da ligação superior do registo ou válvula em ensaio. Proceder-se-á à ligação destas tomadas através de um anel piezométrico sendo que em alternativa podemos usar o tubo de Pitot.

O registo ou válvula deverá estar totalmente aberto e os ensaios deverão ser feitos de acordo com os procedimentos seguintes:

Utilizar, no mínimo, 5 valores de caudais de ar distribuídos igualmente ao longo da gama de caudais ensaiados, e escolher o valor mais baixo de modo a que a pressão estática obtida não seja inferior a 10 Pa.

Remover o registo e válvula da instalação e ligar diretamente a conduta a montante á conduta a jusante. Repetir o procedimento descrito anteriormente.

Se necessário repetir o procedimento descrito na primeira alínea mas com o registo ou válvula numa outra posição que não a de totalmente aberta.

Por fim deve-se registar a informação pretendida em um quadro semelhante ao apresentado na Tabela 2-8.

Tabela 2-8: Modelo de quadro de registo de informação dos testes enunciados

Símbolo	Quantidade	Unidade
$p_{st(i)}$	Pressão estática à entrada de conduta com o registo ou válvula instalados	Pa
$p_{st(b)}$	Pressão estática á entrada da conduta sem o registo ou válvula instalados	Pa
p_a	Pressão atmosférica	Pa
θ_i	Temperatura do ar à entrada do registo ou válvula em ensaio	°C
Δp ¹⁾	Pressão diferencial	Pa
p_{st}	Pressão estática imediatamente a jusante do caudalímetro	Pa
θ_s	Temperatura do ar imediatamente a jusante do caudalímetro	°C
s	Posição do registo (ou percentagem de abertura)	%, α ou m

¹⁾ Ou parâmetro apropriado referente a q_v .

3 Instalação Experimental

Neste capítulo serão descritas as instalações experimentais, sendo que o seu princípio de funcionamento é idêntico à instalação mencionada na norma EN 1751:2000, Figura 2-8, mas a sua configuração é ligeiramente diferente, ajustada ao local de montagem, Figura 3-1 e Figura 3-2.

A instalação experimental é constituída pelos seguintes componentes:

- Tubeira
- Variador de frequência
- Ventilador
- Tubagem Spiro
- Chapéu de Descarga Vertical
- Registo Regulador de Caudal
- Medidor de caudal de ar

Na Figura 3-1 e Figura 3-2 encontram-se representadas as instalações experimentais em causa bem como os pontos de medição utilizados nos ensaios propostos.

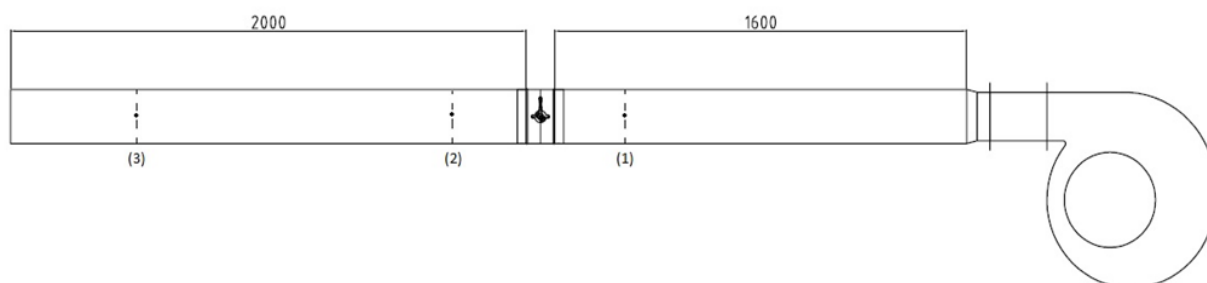


Figura 3-1: Esquema da instalação do Registo Regulador Caudal

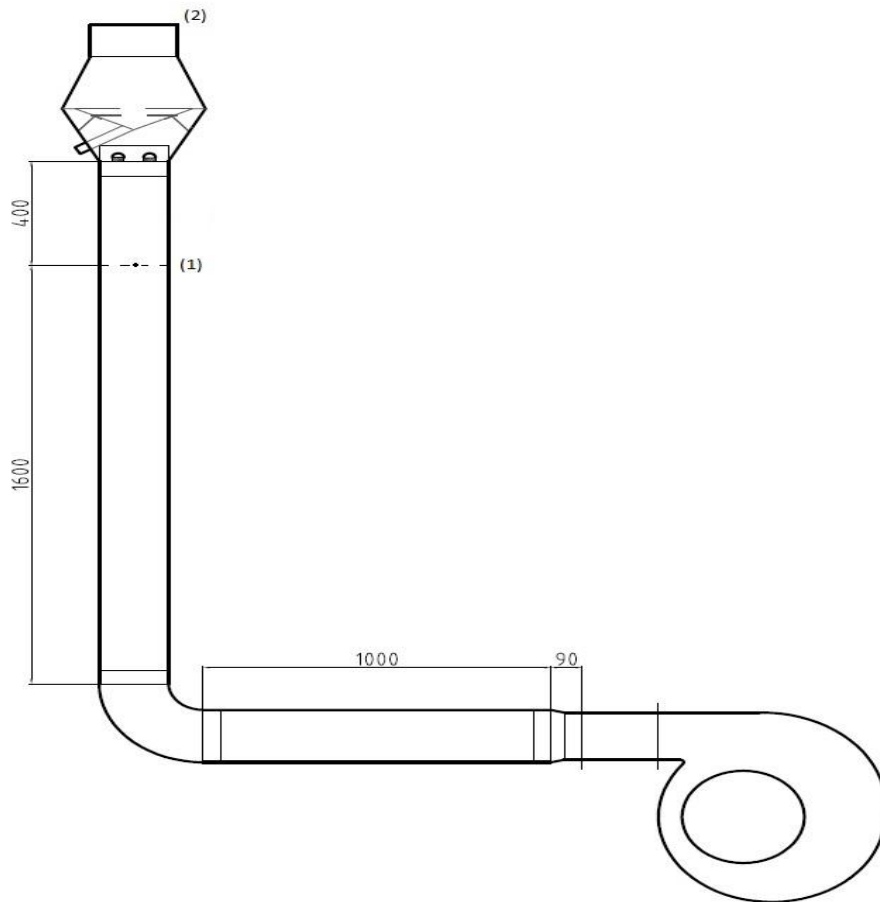


Figura 3-2: Esquema da instalação do Chapéu Descarga Vertical

Na Figura 3-3 e Figura 3-4 podemos ver a montagem real das mesmas no local onde decorrem os ensaios.



Figura 3-3: Instalação Experimental do Chapéu Descarga Vertical



Figura 3-4: Instalação experimental do Registo Regulador de Caudal

3.1 Tubeira

A Tubeira tem como principal função medir o caudal de ar que está a ser introduzido na tubagem através de três tomadas de pressão estática como demonstra a Figura 3-5, sendo essa a razão pela qual ela esta instalada à entrada do ventilador.



Figura 3-5: Tubeira

O fluido ao entrar na Tubeira, é progressivamente acelerado, o que origina o desenvolvimento de uma camada limite fina junto à parede, sendo esta a razão principal pela qual as medidas de velocidade no seu eixo, correspondem, muito aproximadamente, ao valor médio da velocidade do seu escoamento, $U_i = U_m$.

3.2 Ventilador

Foi instalado um ventilador centrífugo de média pressão, modelo *SODECA CMA-545-2T-3*, para o fornecimento do ar necessário à realização dos respetivos testes nos produtos acima mencionados, Figura 3-6, com motor de 2,2 kW sendo ele capaz de movimentar ar até uma pressão máxima cerca de 4000 Pa e de obtermos também um caudal máximo cerca de 2630 m^3/h . Acoplado ao ventilador temos um variador de frequência, que podemos observar na Figura 3-7, que nos permite ter o controlo da velocidade de rotação do ventilador e, com isto, podemos obter o caudal pretendido.



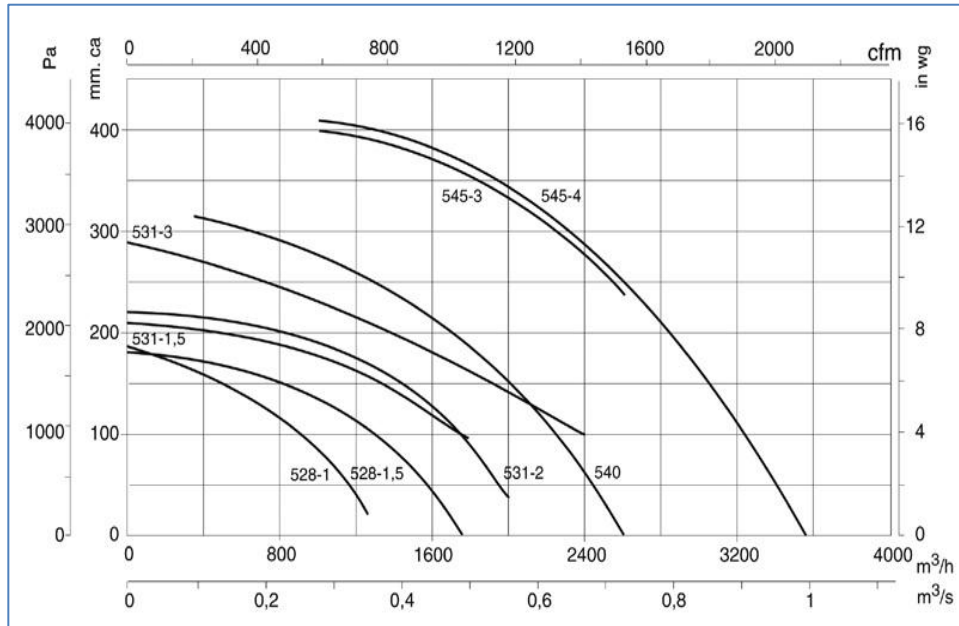


Figura 3-6: Ventilador SODECA CMA-545-2T-3



Figura 3-7: Variador de frequência acoplado ao ventilador

3.3 Tubagem Spiro

Para ser possível a execução dos testes aos componentes em cima referenciados, era necessário a utilização de instalações constituídas por duas secções retas de tubo Spiro com o comprimento de 1,5 metros e 3 metros, por uma curva Spiro a 90° e por uma redução ou ampliação, dependendo do fim a que se destina, de $\varnothing 180/200\text{mm}$, Figura 3-8 e 3-9.

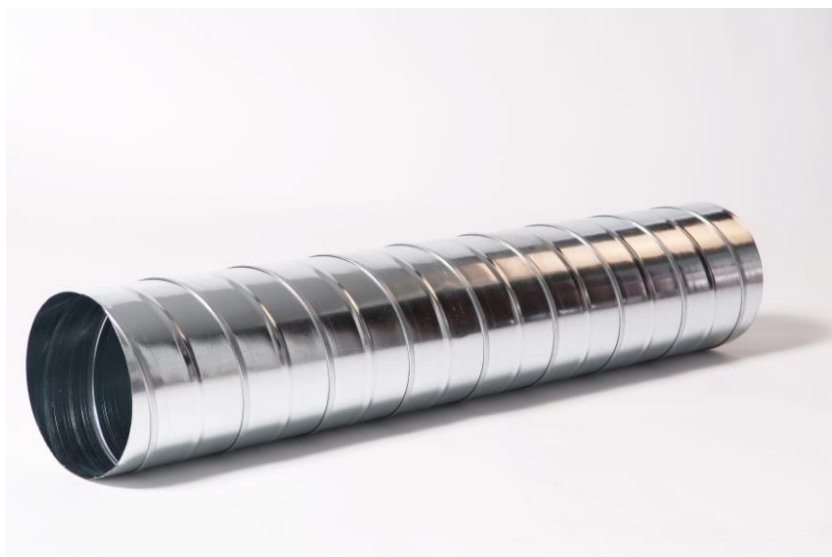


Figura 3-8: Tubo Spiro



Figura 3-9: Curva Spiro

Estas instalações foram construídas em tubo \varnothing 200 mm, sendo que o seu fabrico foi executado segundo as normas e tolerâncias acima descritas.

Posto isto, como o diâmetro de saída do ventilador era 180 mm, foi necessário aplicar uma ampliação \varnothing 180/200mm, com isto a velocidade do escoamento á entrada da Tubeira irá ser diferente da velocidade na instalação, para tal foi necessário recalcular a velocidade do escoamento do ar no interior da instalação.

3.4 Chapéu de Descarga Vertical

Este componente, tem como principal função permitir a descarga do ar através de um jato vertical e proteger os terminais de condutas circulares da chuva através de um cone invertido existente no seu interior, como ilustrado na Figura 3-10. Em relação ao seu processo de fabrico, ele é executado de acordo com as normas já anteriormente referenciadas.



Figura 3-10: Chapéu Descarga Vertical

3.5 Registo Regulador de Caudal

O componente, supramencionado, é fabricado de acordo com a norma EN1506 e tem como principal função regular e limitar a passagem de ar pela conduta onde este se encontra instalado. Para que isto seja possível no seu interior existe um disco circular que excuta a abertura ou fecho do mesmo. A sua regulação varia entre o 0° e os 90°, contudo o seu acabamento final pode ter duas configurações diferentes, o acabamento Spiro ou Spiro O 'ring como demonstra a Figura 3-11.

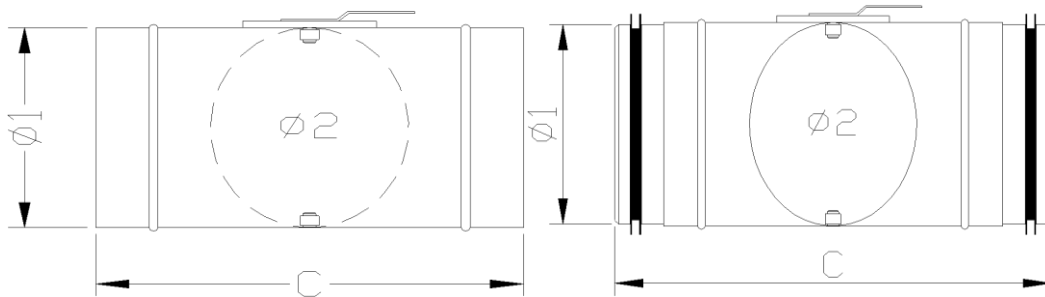


Figura 3-11: Registo Regulador de Caudal

De ressaltar que estes reguladores de caudal não são estanques, ou seja, quando totalmente fechados a 90° , eles não impedem totalmente a passagem do ar para a restante secção da instalação.

Para que tal seja possível existe um outro modelo em tudo semelhante a estes dois, mas com uma ligeira diferença na sua construção, nomeadamente, na aplicação de um vedante no disco interior como podemos ver na Figura 3-12, que vai permitir que quando este esteja totalmente fechado, seja estanque.



Figura 3-12: Registo Regulador de Caudal estanque

3.6 Medidor de caudal de gases

Para a medição do caudal de ar existente foram instaladas tomadas de pressão estática, desfasadas entre si, 120° , como demonstram as Figuras 3-13 e a Figura 3-14, com o objetivo de obter uma leitura o mais correta possível. Esta precisão é especialmente importante pois é através dela que iremos determinar o caudal e a velocidade ar movimentada em cada ensaio.

Para obtermos os dados necessários à determinação destes parâmetros foi necessário ligar as três tomadas de pressão, “anel piezométrico”, a um manómetro digital medidor de pressões, tendo este como finalidade a leitura da pressão estática.



Figura 3-13: Tomadas de Pressão na tubeira / instalação do Registo Regulador de Caudal



Figura 3-14: Tomadas de pressão na instalação do Chapéu Descarga Vertical

A título de confirmação de resultados foi utilizado um tubo de Pitot, Figura 3-15, sendo este também ligado a um manómetro digital medidor de pressões.

É importante referir que o tubo de Pitot estático tem a mesma função das tomadas de pressão anteriormente faladas, sendo que a sua configuração é diferente (Figura 3-15) e não tem uma precisão tão elevada.

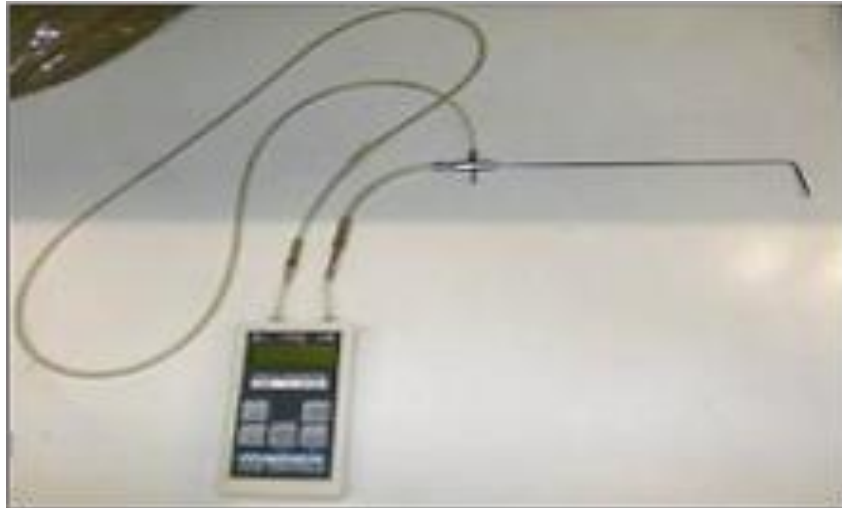


Figura 3-15: Tubo de Pitot

Em relação à sua utilização, o Tubo de Pitot deve ser instalado no sentido contrário ao do escoamento, sendo que o ponto frontal do tubo é denominado por ponto de estagnação, isto porque para além de medir a pressão estática mede a pressão dinâmica (secção 0). A pressão estática é então medida perpendicularmente ao escoamento (secção 1) como podemos observar na Figura 3-16.

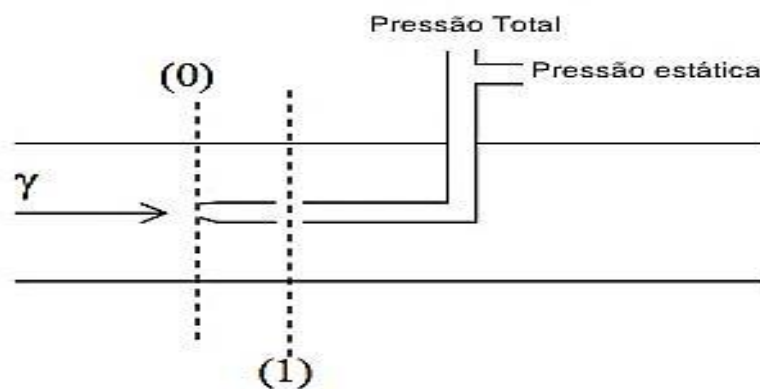


Figura 3-16: Tubo de Pitot: Ilustração de funcionamento

4 Resultados

Neste capítulo em primeiro lugar será feita uma breve descrição do processo de determinação de perdas de carga e da determinação do caudal presente na instalação. Posto isto, serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios.

Os resultados estão por sua vez subdivididos em três subcapítulos: resultados antes das otimizações, resultados depois das otimizações e por fim otimizações efetuadas de modo a obter uma melhoria no produto e resultado final.

De realçar que todos os ensaios experimentais foram levados a cabo na instalação experimental projetada e construída segundo as normas EN1751:2000 e NP 2167:1992 que foram devidamente detalhadas no capítulo 2.

4.1 Perdas Carga

O objetivo destes ensaios foi determinar as perdas de carga existentes nos componentes acima referenciados. Para melhor percebermos como funciona todo este processo, temos primeiramente de analisar para a equação de Bernoulli.

Sendo então a equação de Bernoulli um caso particular da equação da energia aplicada num escoamento, onde podemos ter um leque de hipóteses bastante largo:

- Escoamento em regime permanente
- Escoamento incompressível
- Escoamento de um fluido considerado ideal.
- Escoamento apresentando distribuição uniforme das propriedades nas secções.
- Escoamento sem presença de uma máquina hidráulica.
- Escoamento sem troca de calor.

Apesar de todas estas restrições que são impostas pela equação de Bernoulli, a mesma é fundamental para a compreensão da maioria dos estudos hidráulicos, bem como em aplicações reais como é o caso do Tubo de Pitot ou o estudo de escoamentos em geral.

Como tal, para a obtenção da equação de Bernoulli, vamos considerar as secções (1) e (2), da Figura 4-1:

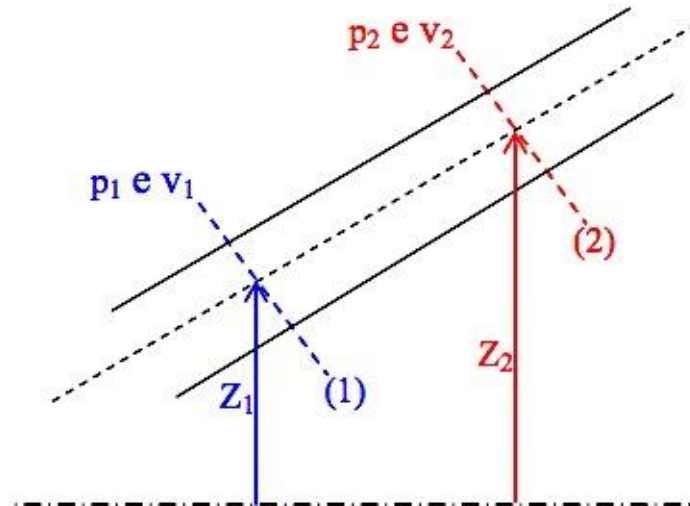


Figura 4-1: Exemplo de secção de conduta

A equação de Bernoulli é obtida através do balanço de cargas entre as secções (1) e (2). Como sabemos a energia total por unidade de peso ou carga total não varia, ou seja, é constante ao longo do tubo, então:

$$H_1 = H_2 \quad \text{Equação 1}$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{U_2^2}{2g} + z_2 \quad \text{Equação 2}$$

O que acontece na realidade é que em todos os tubos /condutas existem perdas de energia devido ao atrito, sendo que estas têm de ser tidas em conta, então:

$$\left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 \right) = \left(\frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{U_2^2}{2g} + z_2 \right) + h_t \quad \text{Equação 3}$$

$$\left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{U_2^2}{2g} + z_2 \right) = h_t \quad \text{Equação 4}$$

Como podemos observar na equação, os termos em parênteses representam a energia mecânica por unidade de peso em cada secção. O termo h_t , é igual à diferença da energia mecânica por unidade de peso entre as duas secções e representa então a conversão da energia mecânica em energia térmica indesejada e perda de energia através de transferência de calor, ou seja, é a perda de carga total.

Esta equação pode então ser usada para o cálculo das perdas de carga entre dois pontos de um tubo ou conduta.

Para o cálculo das perdas de carga totais num tubo ou conduta, é necessário englobar:

- A soma das perdas distribuídas, h_d , resultantes do efeito de atrito no escoamento completamente desenvolvido em tubos e condutas de secção constante.
- A soma das perdas localizadas, h_i , resultantes da entrada de acessórios, mudanças de áreas, entre outros.

No caso acima referenciado verifica-se que, como o escoamento é completamente desenvolvido e numa secção reta, as perdas de carga localizadas não existem, $h_i = 0$, há apenas perdas de carga distribuídas, ficando a equação do balanço energético reduzida a:

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = g \times [(z_2 - z_1) + h_d] \quad \text{Equação 5}$$

Caso o tubo ou conduta seja horizontal então $z_1 = z_2$ e;

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{\Delta P}{\rho} = h_d \times g \quad \text{Equação 6}$$

Assim, como a perda de carga representa a energia mecânica convertida em energia térmica, por efeitos de atrito, esta não depende da orientação do tubo ou conduta mas sim do tipo de escoamento que nele existe, logo a perda de carga pode então ser expressa como uma perda de pressão.

A perda de pressão, ΔP , devido ao atrito numa conduta horizontal de área constante, depende do seu diâmetro, D , do seu comprimento, L , da sua rugosidade, e , da velocidade média do escoamento, U , da massa específica, ρ e por fim da viscosidade do fluido, μ .

$$\Delta P = F(D, L, e, U, \rho, \mu) \quad \text{Equação 7}$$

De uma análise dimensional mais aprofundada, os resultados formam uma correlação da forma:

$$\frac{\Delta P}{\rho U^2} = f\left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{L}{D}, \frac{e}{D}\right) \quad \text{Equação 8}$$

$$\frac{\Delta P}{\rho U^2} = \phi\left(R_e, \frac{L}{D}, \frac{e}{D}\right) \quad \text{Equação 9}$$

Da equação acima referida, Equação 7, verifica-se que:

$$\frac{h_d}{U^2} \times g = \phi\left(R_e, \frac{L}{D}, \frac{e}{D}\right) \quad \text{Equação 10}$$

Esta é a relação funcional que conseguimos com a análise dimensional. Experiências anteriormente realizadas, mostram-nos que a perda de carga é diretamente proporcional à fração L/D , então:

$$h_d = \frac{L}{D} \times \phi_1\left(R_e, \frac{e}{D}\right) \times \frac{U^2}{2g} \quad \text{Equação 11}$$

Uma vez que a função é ainda indeterminada o segundo membro é dividido por 2, obtendo-se então uma nova função:

$$h_d = \frac{L}{D} \times \phi_2\left(R_e, \frac{e}{D}\right) \times \frac{U^2}{2g} \quad \text{Equação 12}$$

A função desconhecida, $\phi_2 \left(Re, \frac{e}{D} \right)$, é definida como o fator de atrito, f , dando origem:

$$h_d = f \times \frac{L}{D} \times \frac{U^2}{2g} \quad \text{Equação 13}$$

Por fim para determinar-mos o fator de atrito temos de recorrer ao diagrama de Moody :

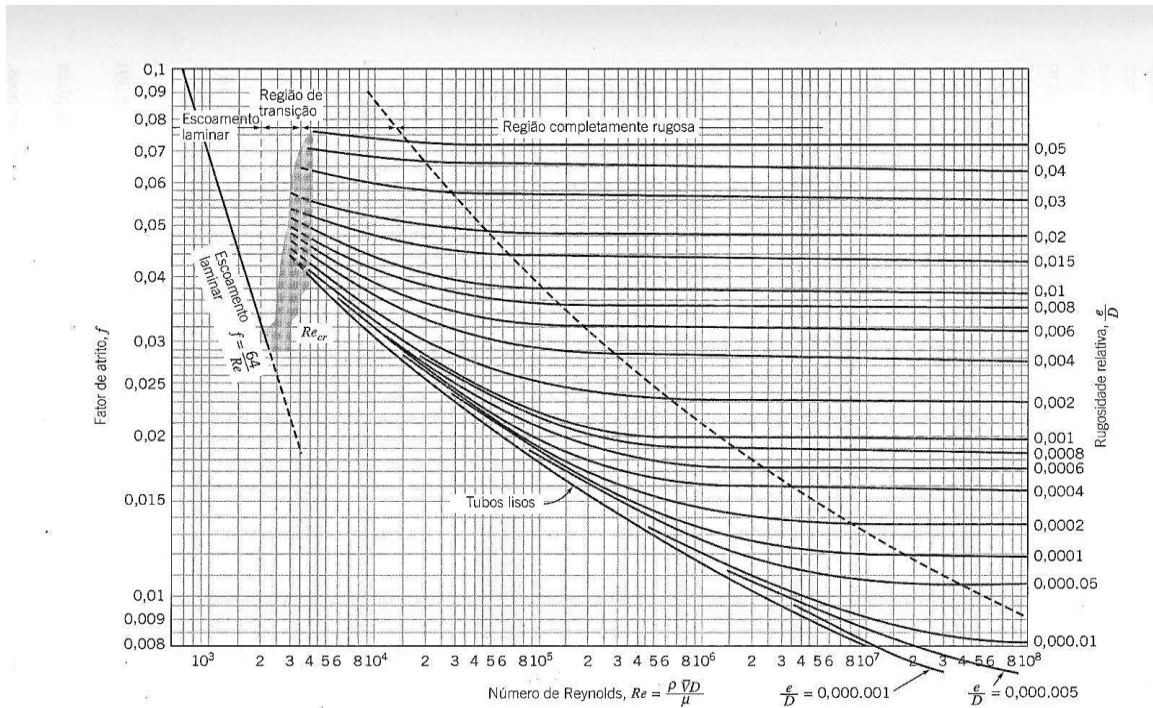


Gráfico 4-1: Fator de atrito para escoamento completamente desenvolvido em tubos circulares.

Determinamos o n° Reynolds através da seguinte equação:

$$Re = \frac{\rho \times U \times D}{\mu} \quad \text{Equação 14}$$

A rugosidade, e/D , pode ser obtida pelo Gráfico 4-2 ou através da Tabela 4-2:

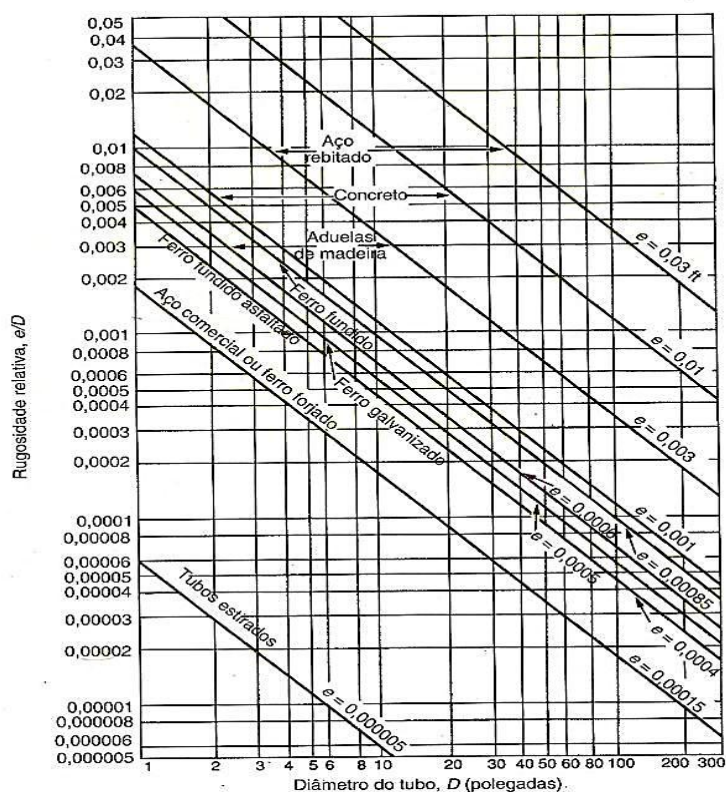


Gráfico 4-2: Rugosidade Relativa e/D

Tabela 4-1: Rugosidade dos materiais

Tubo	Rugosidade (mm)
Aço Rebitado	0,9-9
Aço Comercial	0,046
Ferro Fundido	0,26
Ferro Galvanizado	0,15
Tubo Trefilado	0,0015
Madeira	0,2-0,9
Betão	0,3-3

Após a determinação do n° Reynolds e da rugosidade relativa obtemos então o fator de atrito e por fim as perdas de carga existentes na tubagem ou conduta.

4.2 Método para a determinação do Caudal na Instalação

Concluído o cálculo das perdas de carga era necessário detalhar o método de determinação do caudal presente na instalação, pois sem conhecimento do mesmo era impossível calcular as perdas de carga da instalação.

Para a determinação do caudal de ar presente na instalação foi utilizada uma Tubeira, Figura 4-2, instalada à entrada do ventilador, conforme descrito no capítulo 3.

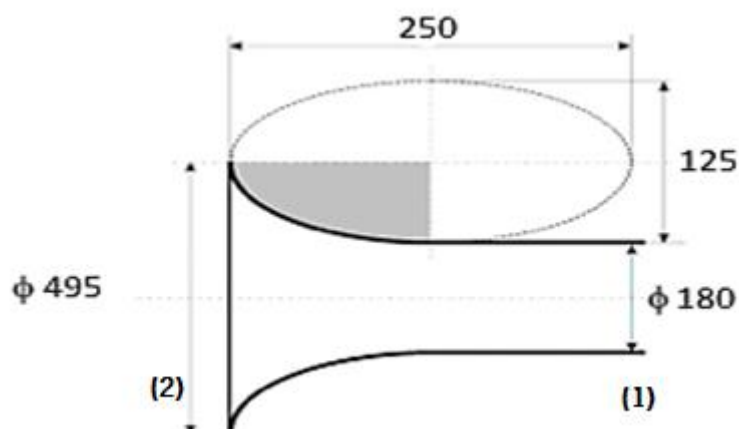


Figura 4-2: Cotagem Tubeira

Como já foi referido, o fluido quando entra na Tubeira é progressivamente acelerado, o que origina o desenvolvimento de uma camada limite fina junto à parede, sendo esta a razão principal pela qual as medidas de velocidade no seu eixo, correspondem, ao valor médio da velocidade do seu escoamento, $U_i = U_m$, como;

$$A_2 \gg A_1 \quad \text{Equação 15}$$

e,

$$U_2 \times A_2 = U_1 \times A_1 \quad \text{Equação 16}$$

então,

$$U_2 \ll U_1 \quad \text{Equação 17}$$

e,

$$U_2 \approx 0 \rightarrow P_2 = 0 \text{ (atmof.) e } z_1 = z_2 \quad \text{Equação 18}$$

Logo;

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{U_2^2}{2g} + z_2 \quad \text{Equação 19}$$

$$\frac{U_1^2}{2g} = \frac{-P_1}{\rho \cdot g} \quad \text{Equação 20}$$

$$U_1 = \sqrt{\frac{-2P_1}{\rho}} \quad \text{Onde } P_1 < 0 \quad \text{Equação 21}$$

Deste modo, é possível determinar aproximadamente o valor do caudal de fluido existente na instalação, através de uma única medição da pressão estática no eixo da Tubeira.

O caudal é obtido por:

$$Q_t = U_1 \times A_1 \quad \text{Equação 22}$$

Contudo, apesar da boa aerodinâmica dos bocais de entrada da Tubeira existe sempre uma queda de pressão sendo que, é necessário afetar o caudal obtido (teórico) pelo coeficiente de descarga, C_D .

Este coeficiente traduz a relação entre o caudal teórico Q_t , que entraria numa Tubeira ideal onde não existem perdas através do atrito das paredes, e o caudal real Q_r , que efetivamente entra nessa Tubeira, sendo este inferior ao primeiro.

$$Q_r = C_D \times Q_t \quad \text{Equação 23}$$

4.3 Resultados antes das otimizações

Os resultados serão subdivididos da seguinte forma:

- Análise experimental do Chapéu Descarga Vertical
- Análise experimental do Registo Regulador de Caudal

4.3.1 Análise experimental do Chapéu Descarga Vertical

Em primeiro lugar, para ser possível a execução destas análises experimentais foram fabricados, na empresa “*Os Netos do Simão S.A.*”, dois modelos, um com o diâmetro de 200mm e um outro com diâmetro de 300mm.

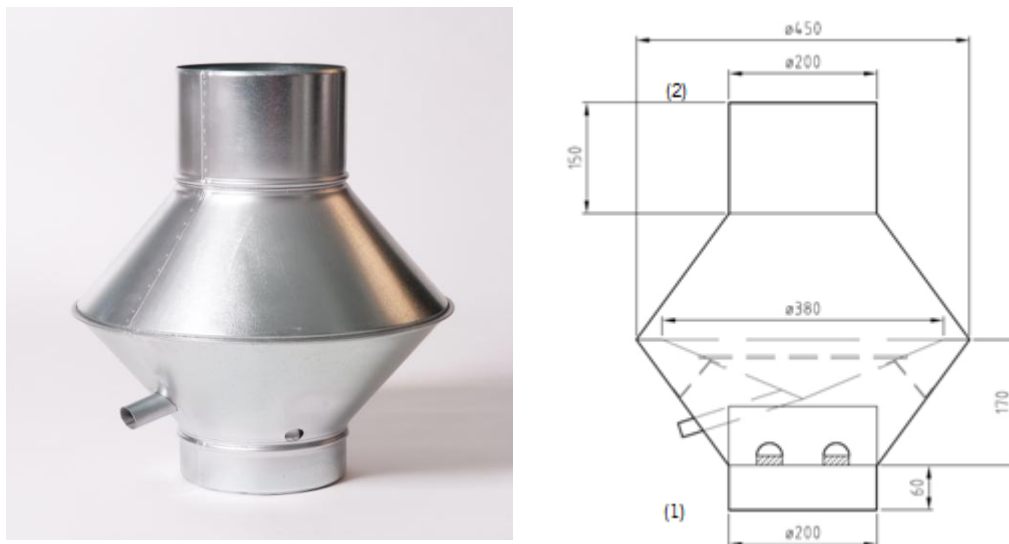


Figura 4-3: Chapéu Descarga Vertical fabricado na empresa “Os Netos do Simão”

Posto isto, para obtermos um teste equiparável, foi fixada a frequência a que o ventilador com a finalidade de a partir deste pressuposto conseguir através das tomadas de pressão existentes na tubeira, obter o caudal de ar presente na instalação pois só assim seria possível efetuar os testes pretendidos.

Tabela 4-2: Valor de Frequências a ensaiar

Freq. (Hz)	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	35

A partir deste momento, foi possível então a determinação da Pressão Estática na entrada da Tubeira e com isto a determinação do Caudal Teórico que afetado pelo coeficiente de descarga permitiu a obtenção do Caudal Real de ar à entrada do ventilador, Tabela 4-3;

Tabela 4-3: Determinação do Caudal Real á entrada do ventilador

Tubeira				
Freq. (Hz)	Pressão Estática (Pa)	U₁ (m/s)	Q_t (m³/s)	Q_r (m³/s)
15	-115	13,84	0,35	0,34
17,5	-140	15,28	0,39	0,37
20	-181	17,37	0,44	0,42
22,5	-215	18,93	0,48	0,46
25	-276	21,45	0,55	0,52
27,5	-326	23,31	0,59	0,57
30	-400	25,82	0,66	0,63
35	-526	29,61	0,75	0,72

Após a determinação do Caudal Real na entrada do ventilador foi necessário fazer uma correção do mesmo bem como da sua velocidade, dado que, tanto a entrada como a saída do ventilador tem um diâmetro de 180mm tendo sido aplicada uma redução 180/200mm e 180/300mm dado que as instalações de ensaio utilizadas eram de 200 e 300mm respetivamente.

Nas Tabelas 4-4 podemos então observar essa correção, bem como a determinação das perdas de carga existentes nos dois componentes ensaiados para diferentes caudais de ar presentes nas instalações;

Tabela 4-4: Determinação Perdas carga do Chapéu Descarga Vertical ar (Usual)

Pressão Estática (Pa)	Ø Entrada (mm)	Ø Saída (mm)	U₁ (m/s)	U₂ (m/s)	H₁	H₂	ΔH_t (Pa)
146	200	200	10,77	10,77	18,33	5,91	146
200	200	200	11,88	11,88	24,21	7,20	200
260	200	200	13,51	13,51	31,42	9,31	260
324	200	200	14,72	14,72	38,61	11,05	324
404	200	200	16,68	16,68	48,54	14,19	404
488	200	200	18,13	18,13	58,26	16,76	488
580	200	200	20,08	20,08	69,89	20,57	580
782	200	200	23,02	23,02	93,54	27,05	782

Pressão Estática (Pa)	Ø Entrada (mm)	Ø Saída (mm)	U ₁ (m/s)	U ₂ (m/s)	H ₁	H ₂	ΔH _t (Pa)
52	300	300	5,11	5,11	5,75	1,33	52
70	300	300	5,95	5,95	7,76	1,81	70
92	300	300	6,81	6,81	10,19	2,37	92
117	300	300	7,64	7,64	12,92	2,98	117
143	300	300	8,47	8,47	15,82	3,66	143
174	300	300	9,33	9,33	19,23	4,44	174
209	300	300	10,13	10,13	23,00	5,23	209
282	300	300	11,78	11,78	31,06	7,08	282

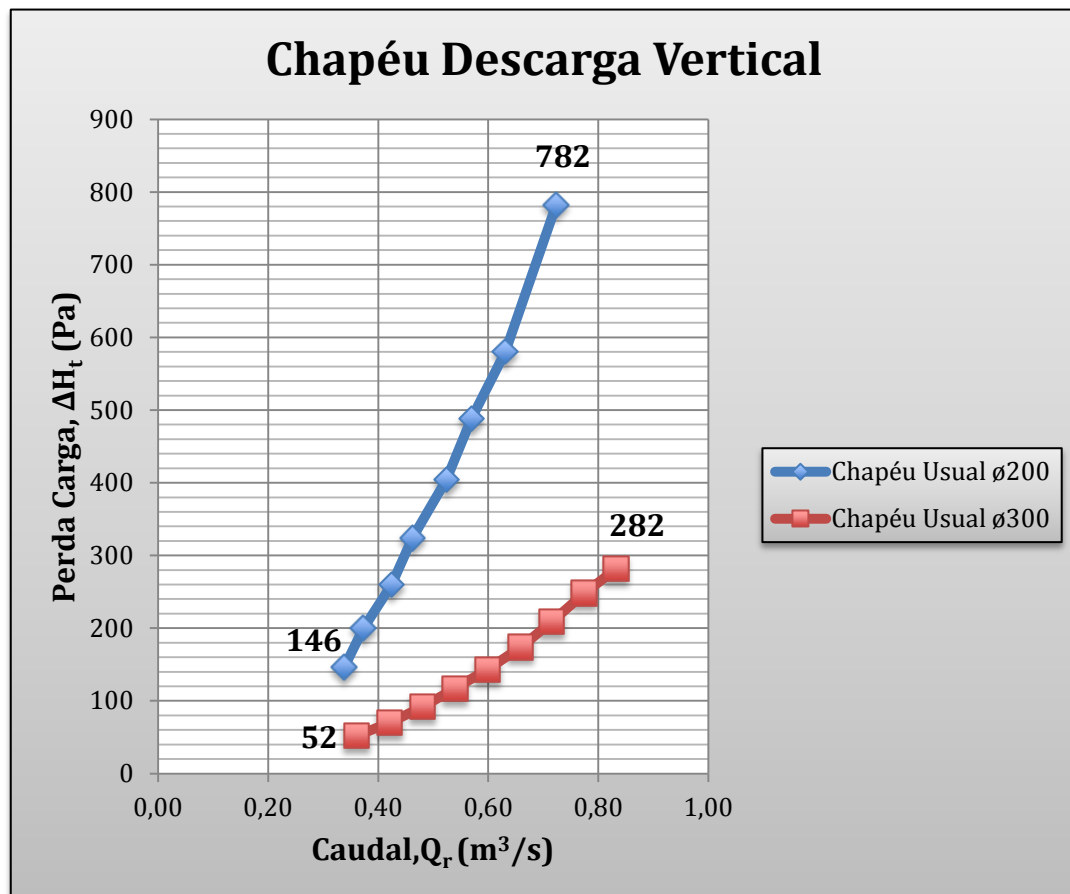


Gráfico 4-3: Perdas Carga Chapéu Descarga Vertical Ar (Usual)

4.3.2 Análise experimental do Registo Regulador de Caudal

Para a análise experimental do Registo Regulador de Caudal foi ensaiado um registo de diâmetro 200mm atuado nas suas várias posições, ou seja, desde totalmente aberto até ao seu fecho por completo, onde foram registados todos os seus resultados.

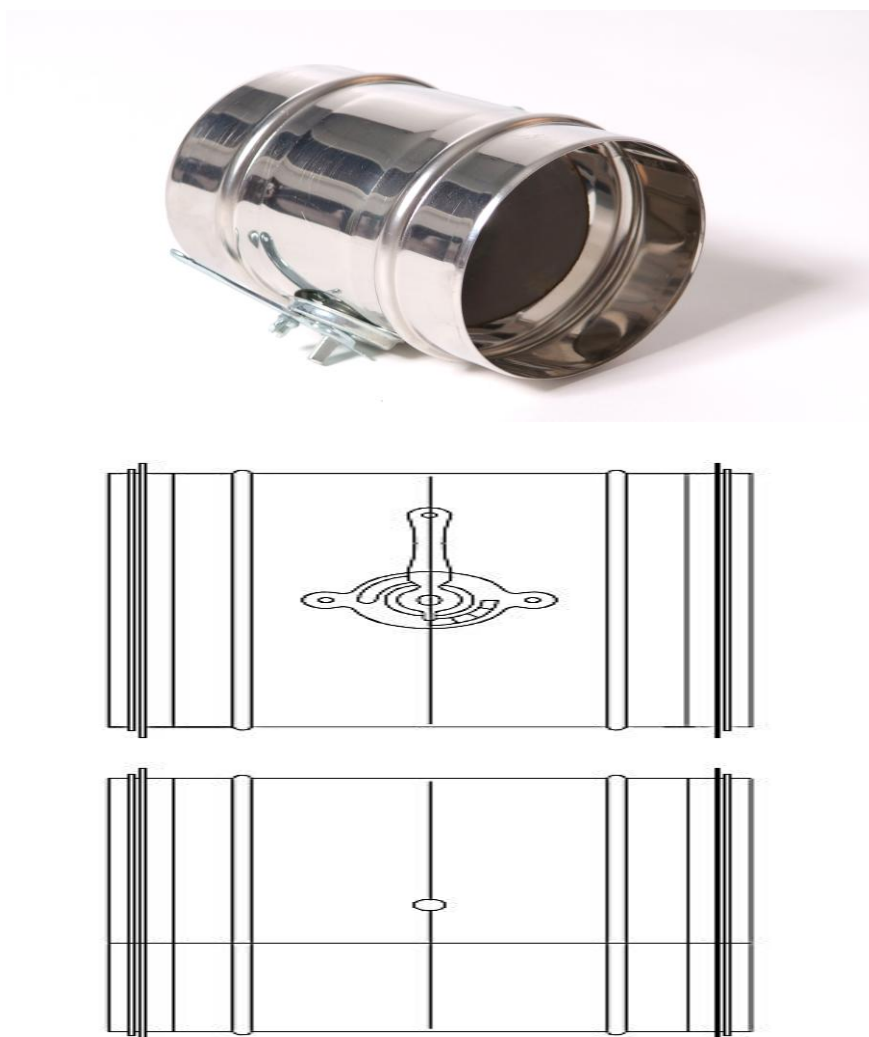


Figura 4-4: Registo Regulador Caudal fabricado na empresa “Os Netos Do Simão”

À semelhança do teste anterior, começou-se por fixar os valores da frequência a que o ventilador iria trabalhar. Optou-se então por escolher os valores da Tabela 4-5, sendo eles ligeiramente diferentes dos anteriores pelo simples facto de que os testes realizados a caudais baixos não eram elucidativos.

Tabela 4-5: Valor de Frequências a ensaiar

Freq. (Hz)	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35
-------------------	-----------	-------------	-----------	-------------	-----------	-------------	-----------

Posto isto, e á semelhança do teste anterior, determinou-se o Caudal real presente na instalação, Tabela 4-6;

Tabela 4-6: Determinação do Caudal Real á entrada do ventilador

Tubeira					
Freq.(Hz)	Pressão Estática (Pa)	Ø1(mm)	U1 (m/s)	Q_t (m³/s)	Q_r (m³/s)
20	-213	180	18,84	0,48	0,46
22,5	-269	180	21,17	0,54	0,52
25	-333	180	23,56	0,60	0,58
27,5	-398	180	25,76	0,66	0,63
30	-475	180	28,14	0,72	0,69
32,5	-555	180	30,41	0,77	0,74
35	-642	180	32,71	0,83	0,80

Após a sua determinação, passou-se para a determinação das perdas de carga presentes neste registo, Tabela 4-7;

Tabela 4-7: Determinação Perdas Carga Registo Regulador Caudal ar (Usual)

Ø Instalação (mm)	U1 (m/s)
200	14,65
200	16,46
200	18,32
200	20,03
200	21,88
200	23,65
200	25,44

Re	ε/D	f	ΔH₂₃ (Pa)	P₁ Estát. (Pa)	P₃ Estát. (Pa)	ΔH₁₂ (Pa)
2,02 × 10 ⁵	0,00075	0,02	16,74	60	7	36,26
2,27 × 10 ⁵	0,00075	0,0198	20,93	73	7	45,07
2,52 × 10 ⁵	0,00075	0,0197	25,78	92	9	57,22
2,76 × 10 ⁵	0,00075	0,0196	30,66	109	10	68,34
3,01 × 10 ⁵	0,00075	0,0195	36,40	128	10	81,60
3,26 × 10 ⁵	0,00075	0,0194	42,32	144	10	91,68
3.51 × 10 ⁵	0,00075	0,0193	48,70	168	10	109,30

Como podemos observar, o método de determinação das perdas de carga no Registo Regulador de Caudal foi, também ele, ligeiramente diferente.

Isto deveu-se ao facto, das tomadas de pressão à saída do Registo Regulador Caudal terem de ser alteradas, porque o escoamento à saída do registo não era totalmente desenvolvido, fenómeno que originava bastante turbulência e impossibilitava a medição da pressão nesses pontos com o devido rigor.

Assim, foi necessário permitir que o escoamento se tornasse estável para posteriormente fazer as medições. Após a estabilização do escoamento, foram medidas as pressões estáticas e calculadas as perdas de carga distribuídas presentes nesse troço da instalação, sendo estas incorporadas no cálculo final das perdas de carga, como é demonstrado na tabela anterior.

Após este primeiro teste, para o Registo Regulador de Caudal, foram executados os restantes testes para os diferentes ângulos de abertura/fecho da pá reguladora de caudal existente no interior do mesmo, tendo-se obtido os resultados ilustrados no gráfico abaixo;

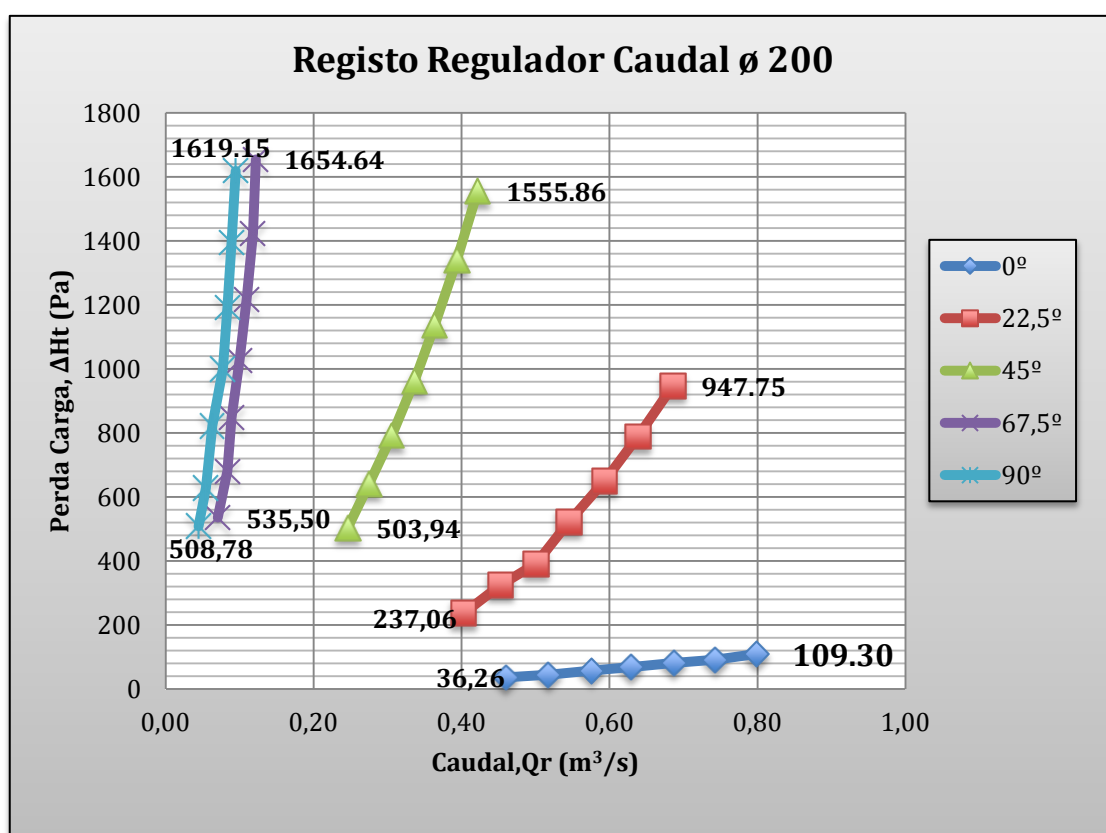


Gráfico 4-4: Perdas Carga Registo Regulador Caudal (Usual)

4.4 Resultados depois das otimizações

Após uma primeira análise dos resultados obtidos anteriormente, foram feitas algumas alterações aos componentes acima estudados, com o intuito de obtermos uma melhoria no seu desempenho global, tendo em especial atenção ao facto de termos assim um melhor produto mas sem influenciar o seu preço final.

Com isto, e como já foi descrito nos capítulos anteriores, foi feita uma pesquisa e um estudo das normas aplicadas à construção destes mesmos produtos.

Após esse estudo realizamos algumas alterações com vista à melhoria do produto final.

Este subcapítulo vai ser subdividido em:

- Análise experimental do Chapéu Descarga Vertical
- Análise experimental do Registo Regulador de Caudal

4.4.1 Análise experimental do Chapéu Descarga Vertical

Na seguinte figura podemos observar o aspeto final do Chapéu Descarga Vertical depois de efetuadas as respetivas alterações.

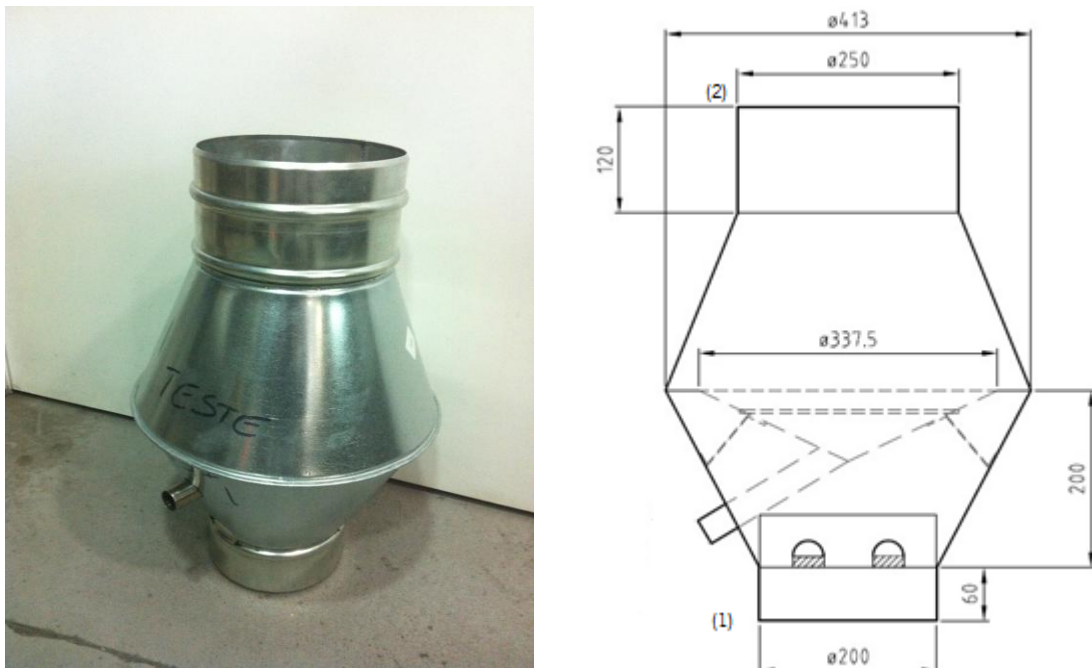


Figura 4-5: Chapéu Descarga Vertical proposto

Para podermos estabelecer uma comparação entre ambos os produtos, as suas condições de teste iniciais tem de ser as mesmas, como tal, o valor da frequência do ventilador mantém-se igual ao usado nos testes anteriores, Tabela 4-8;

Tabela 4-8: Determinação do Caudal Real á entrada do ventilador

Tubeira				
Freq. (Hz)	Pressão Estática (Pa)	U₁ (m/s)	Q_t (m³/s)	Q_r (m³/s)
15	-115	13,84	0,35	0,34
17,5	-140	15,28	0,39	0,37
20	-181	17,37	0,44	0,42
22,5	-215	18,93	0,48	0,46
25	-276	21,45	0,55	0,52
27,5	-326	23,31	0,59	0,57
30	-400	25,82	0,66	0,63
35	-526	29,61	0,75	0,72

As perdas de carga, após as alterações feitas ao produto, estão ilustradas nas seguintes tabelas, sendo a primeira relativa ao Chapéu de diâmetro 200mm e a segunda ao de 300mm;

Tabela 4-9: Determinação Perdas carga do Chapéu Descarga Vertical (proposto)

Pressão Estática (Pa)	Ø Entrada (mm)	Ø Saída (mm)	U₁ (m/s)	U₂ (m/s)	H₁	H₂	ΔH_t (Pa)
64	200	250	10,77	6,89	11,36	2,42	105
86	200	250	11,88	7,60	14,51	2,95	136
112	200	250	13,51	8,64	18,83	3,81	177
138	200	250	14,72	9,42	22,79	4,53	215
167	200	250	16,68	10,67	28,39	5,81	266
208	200	250	18,13	11,60	34,45	6,87	324
244	200	250	20,08	12,85	41,32	8,42	387
330	200	250	23,02	14,74	55,11	11,08	518

Pressão Estática (Pa)	Ø Entrada (mm)	Ø Saída (mm)	U ₁ (m/s)	U ₂ (m/s)	H ₁	H ₂	ΔH _t (Pa)
23	300	350	5,11	3,75	3,29	0,72	30
34	300	350	5,95	4,37	4,70	0,98	44
45	300	350	6,81	5,00	6,19	1,28	58
58	300	350	7,64	5,61	7,91	1,61	74
71	300	350	8,47	6,22	9,69	1,97	91
86	300	350	9,33	6,85	11,75	2,40	110
102	300	350	10,13	7,44	13,90	2,82	130
141	300	350	11,78	8,65	19,07	3,82	179

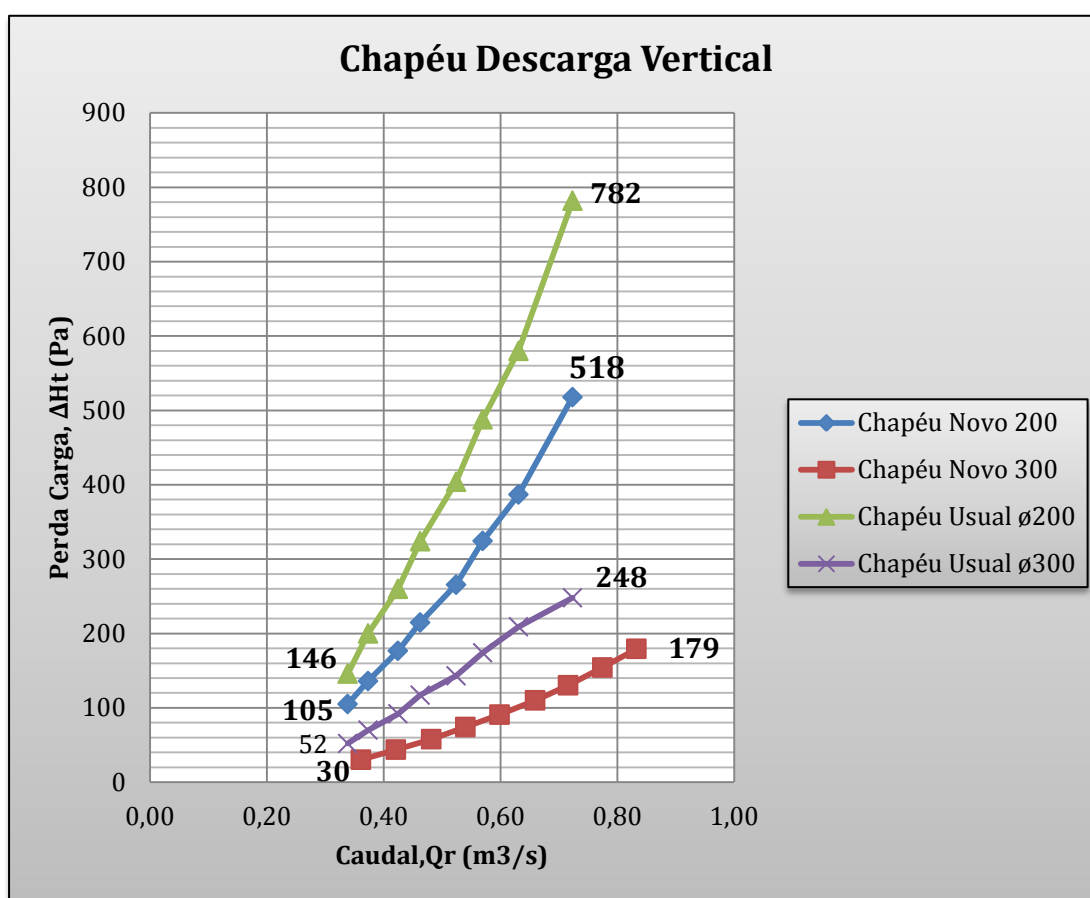


Gráfico 4-5: Perdas Carga Chapéu Descarga Vertical (Novo)

Após a determinação das perdas de carga no Chapéu de Descarga Vertical proposto, elaborou-se o Gráfico 4-5 para podermos constatar se os resultados obtidos eram satisfatórios mediante as alterações feitas.

4.4.2 Análise experimental do Registo Regulador de Caudal

Na figura abaixo temos então o protótipo final do Registo Regulador de Caudal, sendo ele aparentemente parecido com o anterior, mas com pequenas diferenças tanto exterior como interiormente que podem fazer a diferença no seu desempenho final.

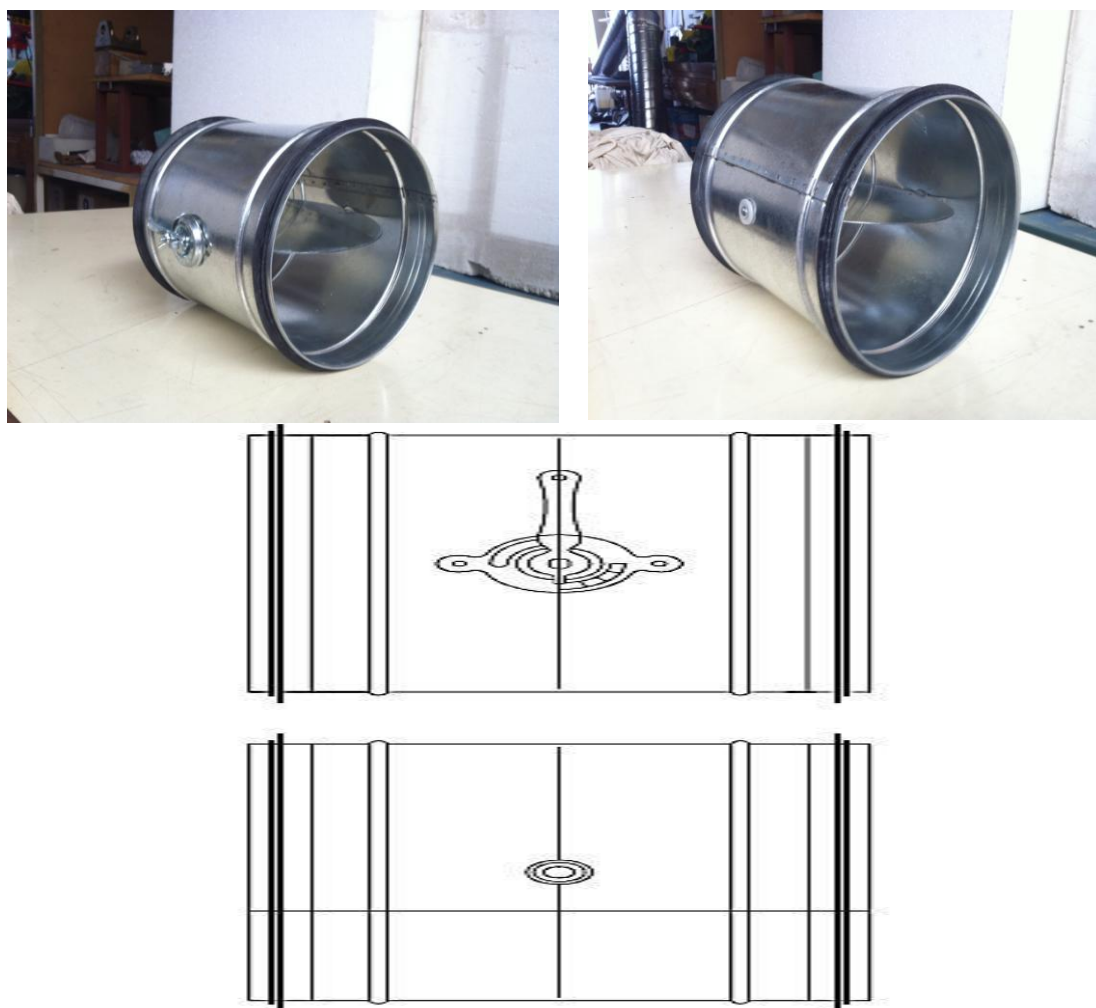


Figura 4-6: Registo Regulador de Caudal proposto

Como nos testes que têm vindo a ser enunciados mantiveram-se os mesmos valores de frequência do ventilador alterando apenas a posição da lâmina interior do registo regulador de caudal, desde a sua posição inicial (0°) até á sua posição final (90°) registando todos os seus resultados.

Nas seguintes tabelas estão demonstrados os resultados relativos ao Regulador de Caudal, com um ângulo de abertura da pá a 45°;

Tabela 4-10: Determinação do Caudal Real á entrada do ventilador

$\alpha:45^\circ$		Tubeira				
Freq.(Hz)	Pressão Estática (Pa)	$\phi 1$ (mm)	$\phi 1$ (m)	U1 (m/s)	Q _t (m ³ /s)	Q _r (m ³ /s)
20	-46	180	0,18	8,76	0,22	0,21
22,5	-55	180	0,18	9,57	0,24	0,23
25	-66	180	0,18	10,49	0,27	0,26
27,5	-75	180	0,18	11,18	0,28	0,27
30	-89	180	0,18	12,18	0,31	0,30
32,5	-106	180	0,18	13,29	0,34	0,32
35	-125	180	0,18	14,43	0,37	0,35

Tabela 4-11: Determinação Perdas carga do Registro Regulador Caudal (proposto)

Re	ϵ/D	f	ΔH_{23} (Pa)	P ₁ Estát. (Pa)	P ₃ Estát. (Pa)	ΔH_{12} (Pa)
$9,39 \times 10^4$	0,00075	0,0214	3,87	532	2	526,13
$1,02 \times 10^5$	0,00075	0,0212	4,58	678	2	671,42
$1,12 \times 10^5$	0,00075	0,021	5,45	835	4	825,55
$1,19 \times 10^5$	0,00075	0,0209	6,16	1018	4	1007,84
$1,31 \times 10^5$	0,00075	0,0207	7,24	1205	6	1191,76
$1,42 \times 10^5$	0,00075	0,0206	8,58	1413	6	1398,42
$1,54 \times 10^5$	0,00075	0,0204	10,02	1637	6	1620,98

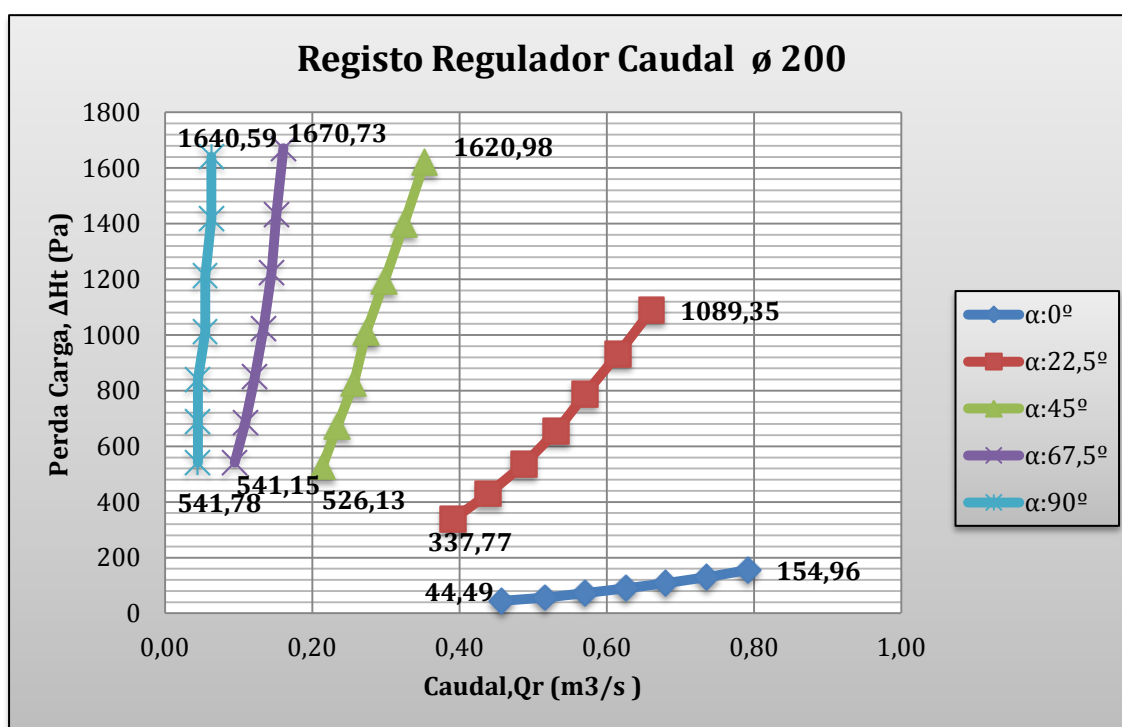


Gráfico 4-6: Perdas Carga Registro Regulador Caudal (Novo)

4.5 Otimizações Efetuadas

4.5.1 Chapéu Descarga Vertical

Este componente, como já referido anteriormente, tem como função permitir a descarga do ar através de um jato vertical com a finalidade de proteger os terminais de condutas circulares da chuva, dos detritos do meio ambiente e até mesmo impedir que aves entrem nas instalações.

O seu aspeto final, Figura 4-7, resulta então, da atenção dada a todos estes problemas, mas apesar disso temos de ter especial atenção ao seu desempenho, seguindo sempre as normas e legislação aplicadas.



Figura 4-7: Chapéu Descarga Vertical Ar Proposto

Como tal foi necessário efetuar algumas mudanças neste produto, de modo a diminuir as perdas de carga, facilitar a diluição dos gases para a atmosfera, mas sem nunca comprometer a instalação de extração de ar e máquinas adjacentes.

A primeira, e talvez a mais significativa, alteração executada foi a altura dos seus cones, Figura 4-8.

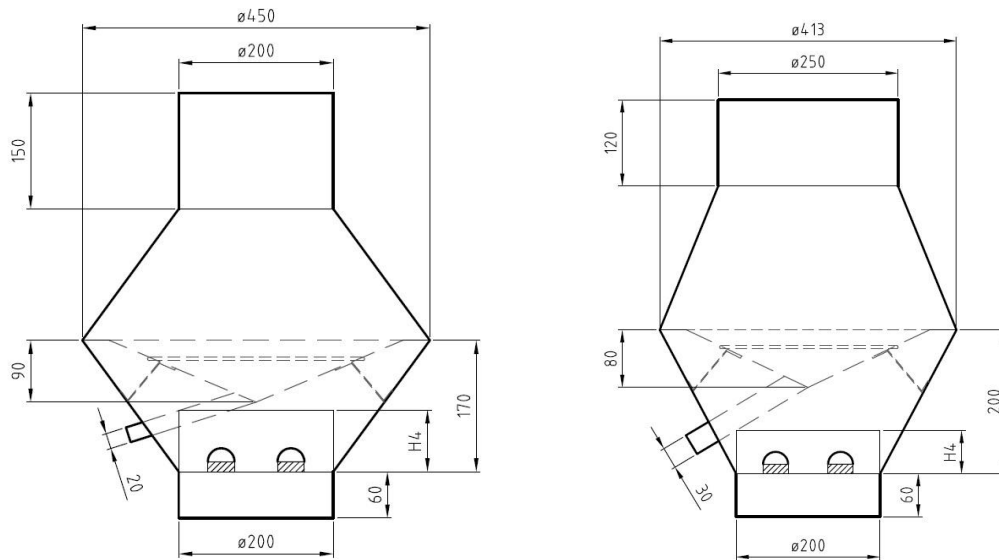


Figura 4-8: Primeira Otimização efetuada no Chapéu Descarga Vertical.

Como podemos observar, ouve um aumento da altura dos cones do Chapéu de Descarga Vertical novo para o que usualmente se fabrica. Para além deste aumento, houve uma diminuição da gola interior, H4, sem contudo comprometer o seu funcionamento.

Esta decisão foi tomada pois a área de extração obtida pelo limite superior do cone interior invertido e pela gola interior, H4, era insuficiente para a extração do ar da instalação, como é ilustrado na Figura 4-9.

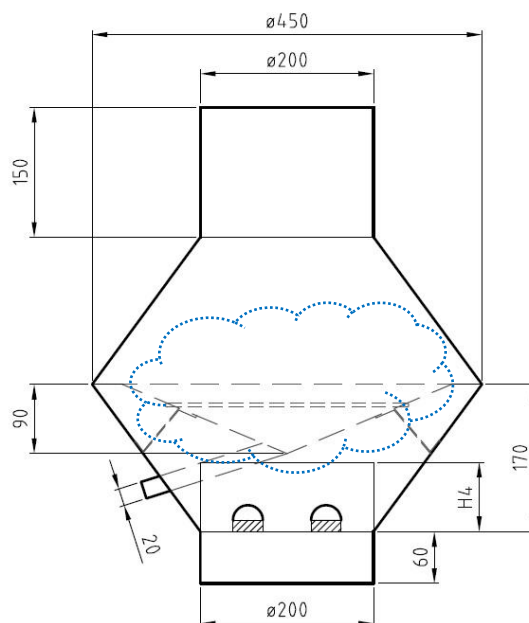


Figura 4-9: Área de extração Chapéu Descarga Vertical fabricado “ Os Netos do Simão”

Uma consequência resultante deste problema, prendia-se com o facto de a área de passagem/extração do ar ser pequena, ou seja, a área de extração delimitada pelo fim do cone interior e pela gola interior, H4, era muito reduzida, originando uma quebra bastante acentuada do fluxo de ar a extrair, provocando vórtices e retorno de parte do caudal de ar, o que originava um aumento das perdas de carga.

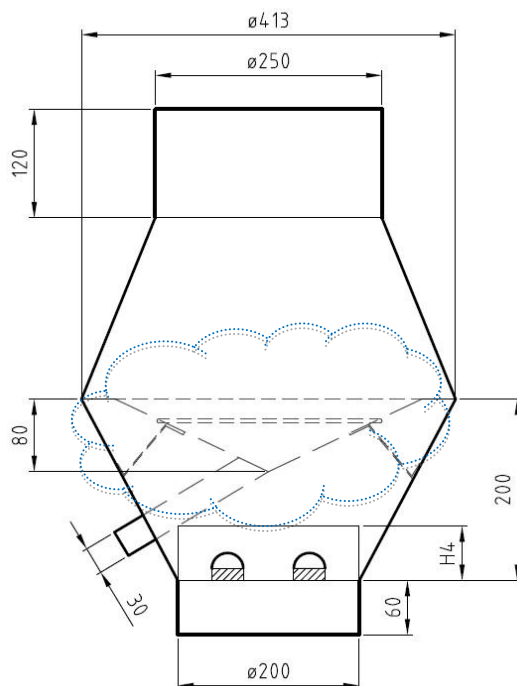


Figura 4-10: Área de extração do Chapéu Descarga Vertical proposto

Optou-se então pelo aumento da distância entre o cone invertido e a gola interior, H4, como ilustra a Figura 4-10.

Após o aumento da área de extração, diminuiu-se a ocorrência de vórtices e as perdas de carga automaticamente diminuíram.

Apoiado pelos ensaios acima descritos e pela inclusão de fumo na instalação, verificou-se a inexistência de vestígios deste pela zona de descarga de água, H6, e pelos drenos existentes na parte inferior do Chapéu, H7.

Quando submetido aos mesmos testes, o Chapéu Descarga Vertical usual, não obteve os mesmos resultados, observando-se vestígios de fumo nos drenos e na zona de descarga de água, H6.

Após esta primeira alteração, foi efetuada uma segunda com a finalidade de aumentar o diâmetro da gola de saída (superior), como podemos observar na Figura 4-11, sendo que a diferença entre a gola superior e a gola inferior é de 50mm.

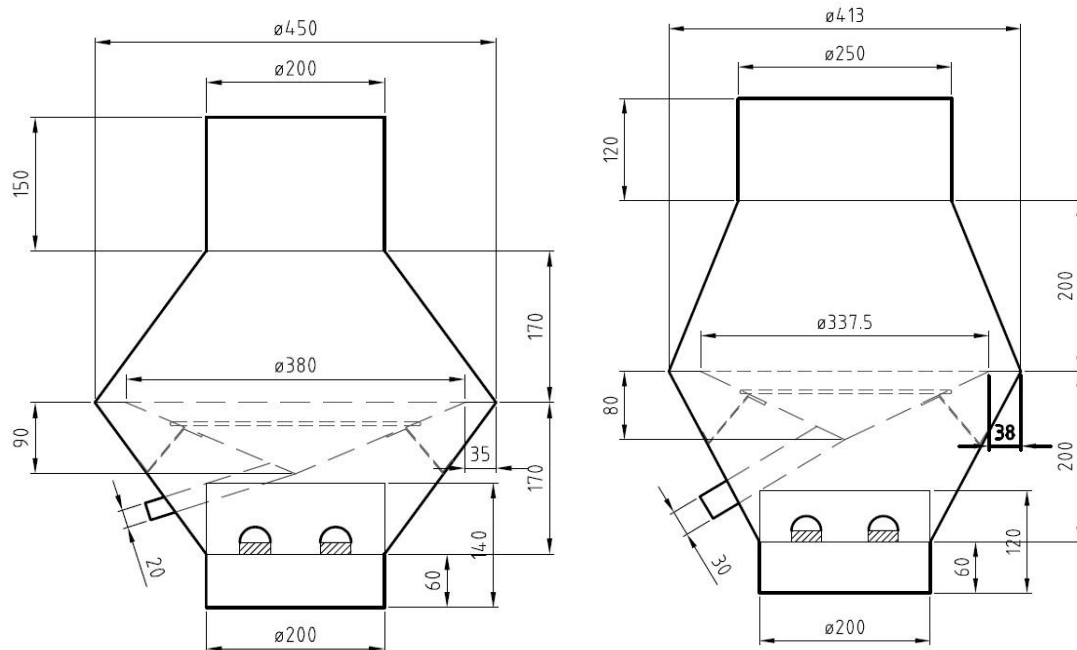


Figura 4-11: Alteração da gola superior do Chapéu Descarga Vertical

Esta alteração deveu-se ao facto de que não seria coerente aumentar a área de extração se depois voltássemos a estrangular o caudal de ar à sua saída o que provocaria novamente perdas de carga elevadas.

A explicação deste facto, é que, estaríamos inicialmente a libertar uma grande quantidade de ar, devido ao aumento da altura, para depois fecharmos de tal maneira a sua saída na segunda parte do “troço” do Chapéu.

Ou seja, no Chapéu usual, para além de uma área interior de extração pequena quando o ar passa pelo cone invertido, temos também um estrangulamento demasiado grande na segunda parte do Chapéu, Figura 4-11 (Esquerda), e na gola superior o que provoca um aumento bastante elevado das perdas de carga.

No Chapéu em estudo, Figura 4-11 (Direita), o diâmetro da gola superior aumentou cerca de 25%, que aliado a um aumento da sua altura, origina um aumento da área de extração, o que faz com que as perdas de carga diminuam significativamente, sendo este o principal objetivo proposto para o componente em estudo.

Estas foram as principais alterações efetuadas neste componente, que obrigaram a toda uma alteração de dimensões construtivas, como é demonstrado na Tabela 4-12 e Tabela 4-13, para que este funcionasse com parâmetros para o qual foi concebido.

Após todas estas alterações utilizou-se o software Lantek para podermos observar o aspeto final do Chapéu inicial com o novo Chapéu com as devidas alterações.

Após a inserção de todos os dados necessários obteve-se o modelo tridimensional dos componentes como é mostrado na Figura 4-12 e Figura 4-13;

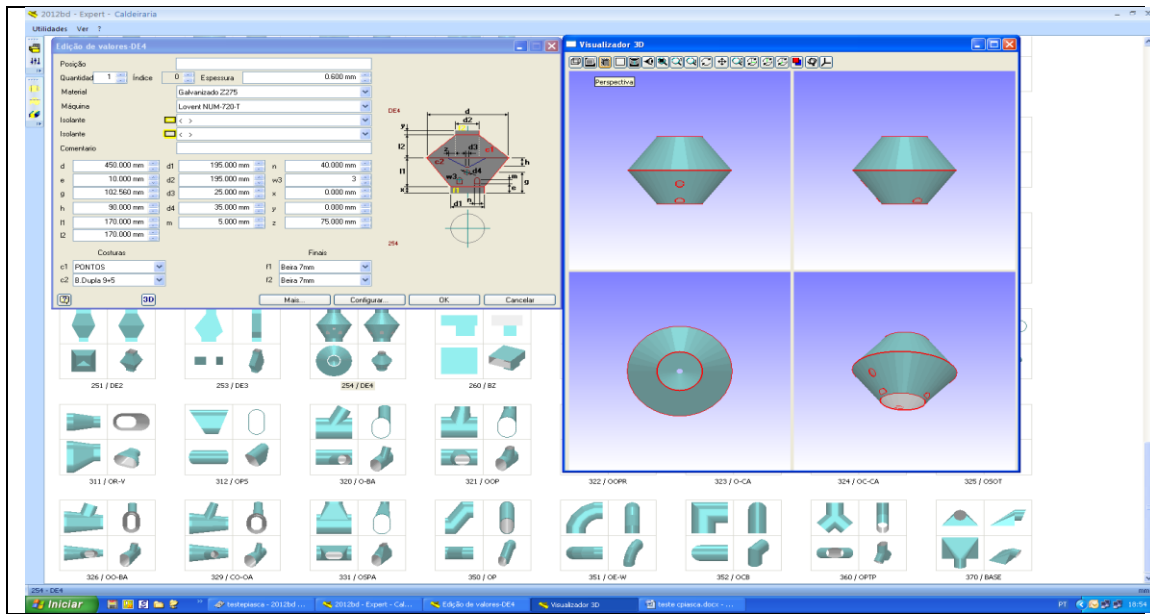


Figura 4-12: Chapéu Descarga Vertical no Lantek (Usual)

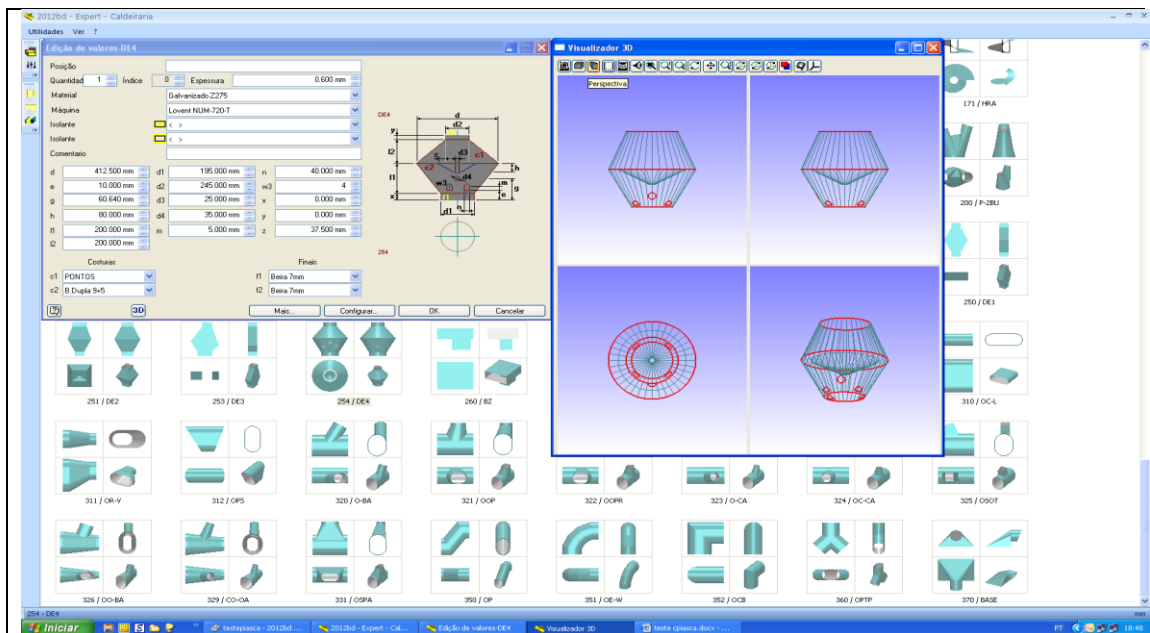


Figura 4-13: Chapéu Descarga Vertical no Lantek (Novo)

A utilização destes software deveu-se principalmente ao facto de comprovar que estas alterações não iriam afetar significativamente o custo final de produção deste componente.

Com a inserção de todos estes dados, verificou-se que em termos monetários as alterações eram pouco significativas o que não alteraria então o preço final do mesmo.

4.5.2 Registo Regulador de Caudal

O registo regulador de caudal, como já mencionado anteriormente, tem como principal função regular e limitar a passagem do ar pela conduta.

Para que esta função seja executada com o máximo de rigor possível, foram efetuadas algumas alterações no seu aspeto construtivo que permitiram não só termos um componente com uma regulação mais estável, mas também mais estanque, ou seja, termos um produto que tenha o mínimo de fugas possíveis para o exterior.

O objetivo deste componente quando acionado é então induzir uma perda de carga na instalação através da redução de caudal de uma secção para outra.

Para que estas “ metas” fossem cumpridas foi necessário aplicar na zona do manípulo uns casquilhos, como mostra a Figura 4.14, para que as fugas com o exterior fossem minimizadas.



Figura 4-14: Alteração da colocação dos acessórios do manípulo regulador

Esta aplicação obrigou a que o disco interior de regulação, fosse ligeiramente alterado, obtendo a forma como demonstra a Figura 4-15, pois caso não se efetuasse essa alteração, este iria criar atrito ao bater no casquilho e não iria funcionar corretamente.

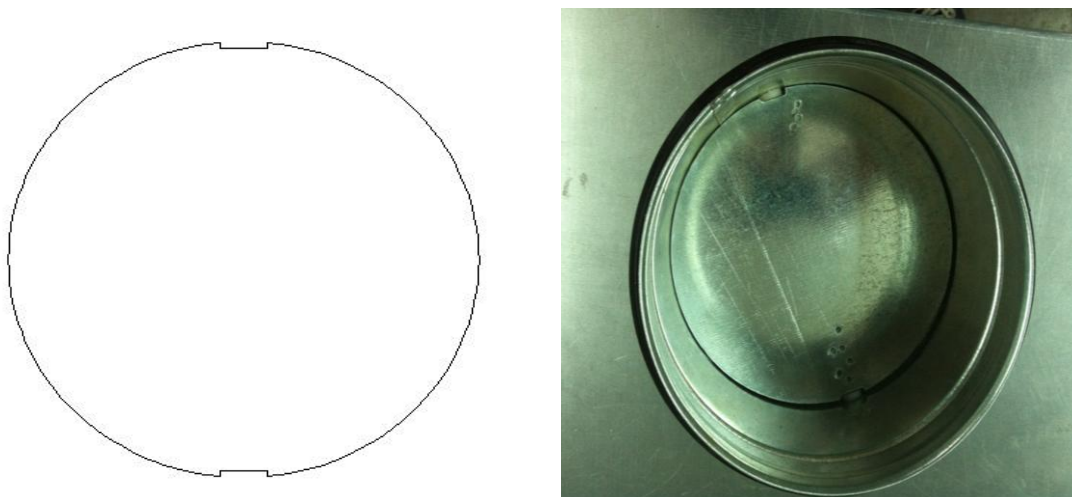


Figura 4-15: Autocad disco/registo com disco

Para a aplicação deste casquilho será necessário efetuar um punção com a configuração/matriz do casquilho para que fosse possível uma produção em serie.

A título experimental, a execução destes furos foi feita na máquina de corte plasma, Figura 4-16, sendo que a mesma não tem capacidade para executar trabalhos de precisão elevada o que levaria a termos uma série de registos com uma furação errada e que não estaria de acordo com os padrões de qualidade internos da empresa.



Figura 4-16: Máquina Corte Plasma

Após esta alteração foram efetuadas pequenas alterações relacionadas com aspetos construtivos, pois existiam algumas medidas e tolerâncias que não estavam de acordo com as normas e legislações aplicadas.

Posto isto, e a título experimental optou-se por conceber também um registo regulador de caudal estanque, ou seja, com as mesmas características do anterior mas com a função de quando totalmente fechado, este não permita a passagem de ar para a secção a jusante onde o registo regulador se encontra instalado.

Para que tal fosse possível utilizou-se os mesmos princípios de construção de um regulador de caudal normal, mas com a diferença de aplicação de um vedante no seu interior, mais concretamente no disco de regulação de caudal, como podemos ver na Figura 4-17;



Figura 4-17: Registo Regulador Caudal Estanque

Para que esta aplicação surtisse efeito, foi necessário fabricar uns acessórios de fixação no manípulo, Figura 4-18, permitindo com isto afastar o disco ligeiramente para a frente, obtendo então a total estanquidade do componente quando este está totalmente fechado.

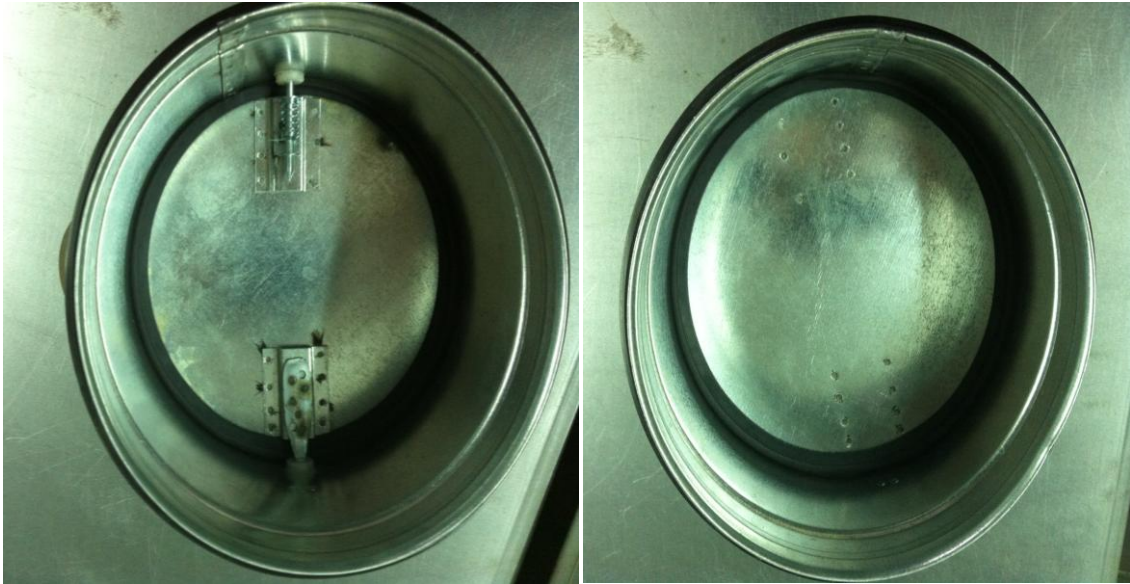


Figura 4-18: Registo com respetivos acessórios no manípulo

Este facto foi comprovado com a execução de alguns testes, onde o registo foi submetido a diferentes caudais. Verificou-se que a pressão estática na saída era igual à medida antes de o registo ter sido submetido ao ensaio, o que comprova que à sua saída não existe qualquer oscilação de valores e que este é estanque.

5 Apontamentos Finais

Neste capítulo serão enunciados de uma forma sucinta os objetivos da dissertação e todo o trabalho desenvolvido para o cumprimento destes mesmos objetivos. Por fim serão enunciadas todas as conclusões que se podem retirar dos testes efetuados e por último apresentar propostas de trabalho futuro a desenvolver.

5.1 Conclusões

Esta dissertação teve como principais objetivos o estudo de normas aplicáveis ao fabrico de condutas e acessórios para transporte de ar e realização de ensaios, alteração de produtos e/ou processos de fabrico tendo em vista a certificação. De um modo geral, estes foram concluídos com sucesso.

Para a realização destes ensaios foram montadas duas instalações experimentais, que apesar de todas as restrições existentes no âmbito da sua montagem, permitiram obter-se todas as conclusões necessárias à realização desta dissertação.

O trabalho realizado permitiu tirar as seguintes conclusões:

- Inicialmente, após a colocação do registo regulador de caudal na instalação, foi verificado que havia algumas fugas pela zona dos casquilhos, facto este ocorrido devido a execução dos furos ter sido feita na máquina corte plasma que não é a mais indicada para trabalhos tão minuciosos. Este problema foi resolvido efetuando furos com diâmetros mais pequenos sendo estes retificados com uma lima ate obtermos o diâmetro desejado.
- A norma EN 1751:2000 especifica que a medição de pressões estáticas a montante deve estar situada a $1,5D_1$ do registo regulador de caudal, e a jusante a uma distância de $8D_1$ devido à existência de vórtices no escoamento. De ressaltar que distância compreendida entre o registo regulador de caudal e as tomas de medição foi contabilizada nos cálculos efetuados para a determinação das perdas de carga.
- No Chapéu Descarga Vertical poder-se-ia efetuar a medição do caudal à saída do mesmo, colocando um troço de tubo reto com pontos de medição de pressão

estática, onde obteríamos pequenas diferenças nos resultados finais. Contudo, estaríamos a adulterar a função deste componente que é libertar o ar /gases diretamente para a atmosfera. Como tal para efeitos de cálculo admitiu-se a pressão atmosférica à sua saída, sendo esta a aproximação mais correta com a realidade.

- Após o estudo realizado, o Chapéu Descarga Vertical proposto teve uma diminuição das perdas de carga na ordem dos 35%. Esta diminuição é mais notória a caudais mais elevados onde esse valor foi obtido, já quando submetido a caudais mais baixos a diminuição das perdas de carga ronda os 26%.
- No caso do Registo Regulador de Caudal, quando comparado com o que é fabricado na empresa, obteve-se um componente mais estável, com melhor desempenho, e com um controlo mais preciso do disco regulador de caudal, o que nos permite manusear com mais facilidade e mais precisão o componente.
- Com as melhorias efetuadas obtivemos um Registo Regulador de Caudal mais estanque permitindo um aumento das perdas de carga. Este aumento varia consoante o caudal de introduzido na instalação, ou seja, para valores de caudal baixos o aumento das perdas de carga não é tão notório ficando-se pelos 10%, já para valores de caudal mais elevado o aumento é mais significativo chegando aos 30% em relação ao componente fabricado atualmente.

5.2 Trabalho Futuro

A realização deste trabalho permitiu conhecer todas as normas/legislações aplicadas aos componentes deste estudo. A empresa “Os Netos Do Simão” permitiu que conhecêssemos todo o seu processo de fabrico.

Este trabalho permitiu identificar e melhorar alguns problemas técnicos e construtivos existentes nos produtos ensaiados, que possivelmente seriam maiores e mais furtivos com instrumentos de trabalho mais atualizados.

Com a melhoria destes componentes seria necessário aplicar e implementar o mesmo estudo aos restantes produtos, executando primeiramente uma verificação técnica de todos os componentes alterando os seus aspetos construtivos caso seja necessário e realizar os

ensaios que permitissem a sua validação, assim a empresa alcançaria com maior exatidão os parâmetros estabelecidos pelas normas e legislação em vigor.

Após este estudo verifica-se, ainda a necessidade de retificação das folhas de cálculo com as respetivas alterações de medidas e configurações efetuadas, para que os componentes correspondessem aos valores supramencionados.

Com as conclusões retiradas no estudo percebemos ser necessário a elaboração de fichas técnicas para todos os produtos que se encontram construídos de acordo com as normas e legislações aplicadas, bem como incluir toda a informação relevante dos mesmos.

A dissertação apresentada permite perceber que as necessidades de adaptação dos componentes existentes são emergentes e que a população anseia por otimizações que não prejudiquem o meio ambiente e sejam benéficas para o conforto e bem-estar de cada um.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Nunes, A. "Ventilação Industrial", Universidade do Minho.
- [2] White, F. M. "Fluid Mechanics", McGraw-Hill, 1998.
- [3] Çengel Y.A., Cimbala, J.M. "Mecânica dos Fluidos - Fundamentos e Aplicações", McGraw Hill, 2007.
- [4] SMACNA. "HVAC Systems Duct Design", SMACNA, 2006.
- [5] EN 1506:2007, "Ventilação de edifícios: Condutas metálicas e acessórios com secção circular - Dimensões".
- [6] EN 1751:2000, "Ventilação de edifícios: Dispositivos terminais – Ensaio aerodinâmico de registos e válvulas".
- [7] NP 2167:1992, "Qualidade do ar: Secção amostragem e plataforma para chaminés ou condutas circulares de eixo vertical".
- [8] Freitas, M. "Desenvolvimento de Ferramenta de Cálculo para Dimensionamento de Redes Aeráulicas", Universidade do Minho, 2011.
- [9] Ferreira, M. "Atomização Efervescente na Combustão de Óleos Usados", Universidade do Minho, 2008.
- [10] Oliveira L., Lopes A. "Mecânica dos Fluidos" D.L. 2006
- [11] Unit Heating and Ventilation Contractors Association "DW144 - Specification for sheet metal ductwork: low, medium and high pressure/velocity air systems", 1998
- [12] <http://dc253.4shared.com/doc/NJMbjAJA/preview.html>
- [13] <http://pt.scribd.com/doc/87473800/Relatorio-Perda-de-Carga-Localizada>
- [14] <http://pt.wikipedia.org/wiki/AVAC>.
- [15] <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAUwcAK/perda-carga>
- [16] <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/1009962/1/Aula10-teor.pdf>
- [17] <http://pt.scribd.com/doc/54521793/Manual-de-Ventilacao>

ANEXOS

ANEXO A – Ficha Técnica Chapéu Descarga Vertical

1. Identificação do produto e do fabricante:

Nome: Chapéu Piasca

Material: Chapa aço carbono Galvanizada; Chapa aço Inoxidável;

Espessura de material: 0.6, 0.8, 1.0, 1.25 mm;

Fabricante: *Os Netos do Simão, S.A.*

2. Descrição:

- Executados em chapa Aço carbono galvanizada e/ou Aço inoxidável, sendo os mesmos constituídos por duas golas onde uma delas esta ligada ao respetivo terminal da conduta e por dois cones interligados na zona de maior diâmetro.
- Contém um cone invertido situado no seu interior, auxiliado pela gola superior deste acessório, impedindo que a chuva entre diretamente na conduta. A água é drenada para o exterior através de um tubo de descarga.

3. Aplicação:

- Permite a descarga de ar através de um jacto vertical.
- Proteção anti chuva dos terminais de conduta circular.

4. Acabamentos:

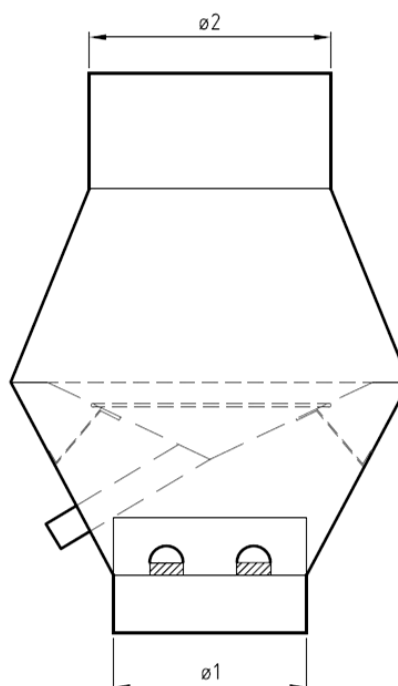
- União dos dois cones exteriores feita através de uma costura, eliminado assim qualquer tipo de penetração de água.
- Gola de ligação ao terminal da conduta pode conter varias ligações tais como: Spiro; Beira simples; Aro em Barra e Recartilhado.
- Tamponamento

5. Normas:

- O Chapéu Descarga Vertical é fabricado em concordância com a norma EN 1506; SMACNA e Eurovent.
- O Chapéu Descarga Vertical em chapa de aço carbono galvanizada é fabricado de acordo com a norma EN 10327.
- O Chapéu Descarga Vertical de aço inoxidável é fabricado de acordo com a norma EN 10088-2.

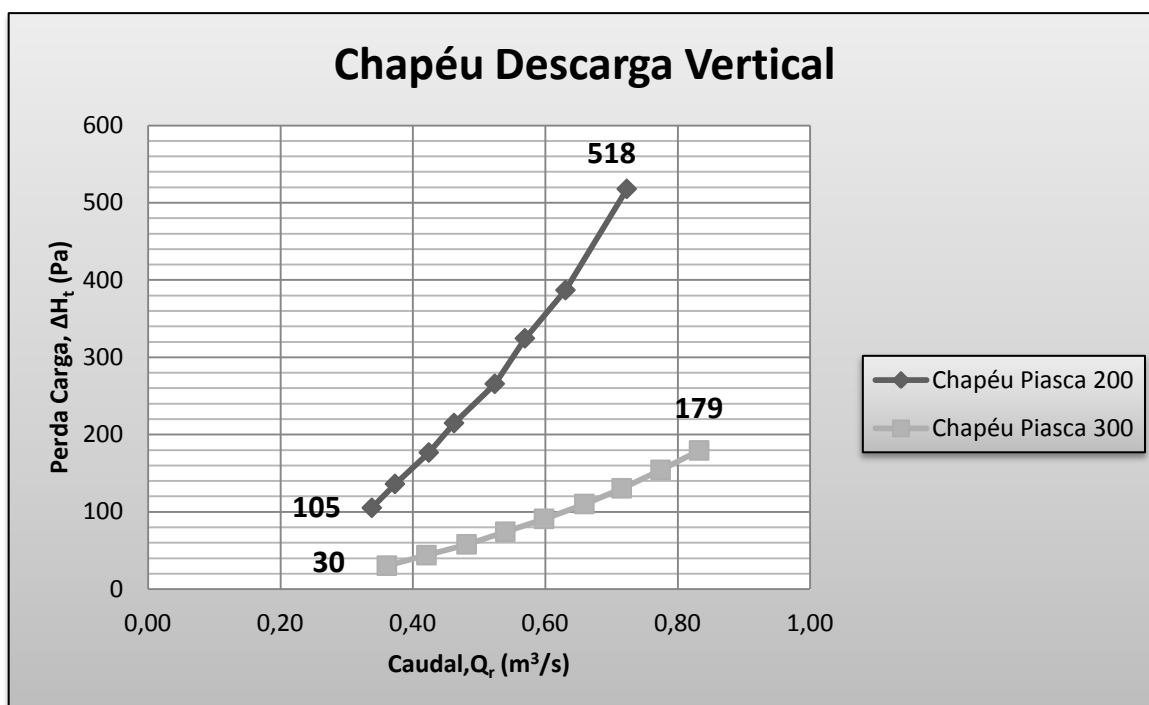
6. Dimensões:

Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Peso (Kg)	Ø1 (mm)	Ø2 (mm)	Peso (Kg)
100	125	0,8	630	700	34,1
125	150	0,9	650	750	35,0
150	180	1,5	700	800	43,1
160	200	1,5	710	800	44,2
180	225	2,1	750	850	46,7
200	250	2,4	800	950	51,2
225	250	3,1	850	1000	56,2
250	300	3,8	900	1120	68,3
300	350	5,1	950	1120	74,7
315	350	5,6	1000	1120	82,1
350	400	7,4	1100	1250	89,4
400	500	13,3	1200	1350	93,2
450	550	16,5	1250	1350	102,5
500	600	19,1	1300	1400	103,8
550	650	22,8	1400	1500	110,3
560	650	23,1	1500	1600	123,0
600	700	31,0	1600	1700	137,2



7. Informação Técnica:

- Gráfico: Perda pressão/ caudal:



8. Advertências:

- a. Deve ser utilizada para os fins a que se destina;
- b. O seu transporte deve ser realizado em veículos totalmente cobertos e a sua carga e descarga deve ser efetuada de forma a manter as propriedades físicas da mesma. O seu armazenamento deverá também respeitar o mesmo princípio.
- c. O manuseamento deve ser realizado com o equipamento necessário para garantir a proteção do funcionário.

ANEXO B – Ficha Técnica Registo Regulador de Caudal

1. Identificação do produto e do fabricante:

Nome: Registo Regulador Caudal

Material: Chapa aço carbono Galvanizada; Chapa aço Inoxidável;

Espessura de material: 0.6, 0.8, 1.0, 1.25 mm;

Fabricante: *Os Netos do Simão, S.A.*

2. Descrição:

- Executados em chapa Aço carbono galvanizada e/ou Aço inoxidável, sendo os mesmos constituídos por um tubo e por um disco situado a meio do seu comprimento, fixado por um acessório nas suas extremidades e sendo posteriormente acionado por um manípulo que permite regular o registo em qualquer posição entre 0 e 90º.
- Para diâmetros superiores a 500mm o disco situado a meio do tubo é ligeiramente vincado sendo que ainda em alguns casos é colocada uma calha, tendo estas opções como finalidade obtermos uma maior resistência dos mesmos.

3. Aplicação:

- Regular e limitar a passagem de ar pela conduta onde se encontra instalado.

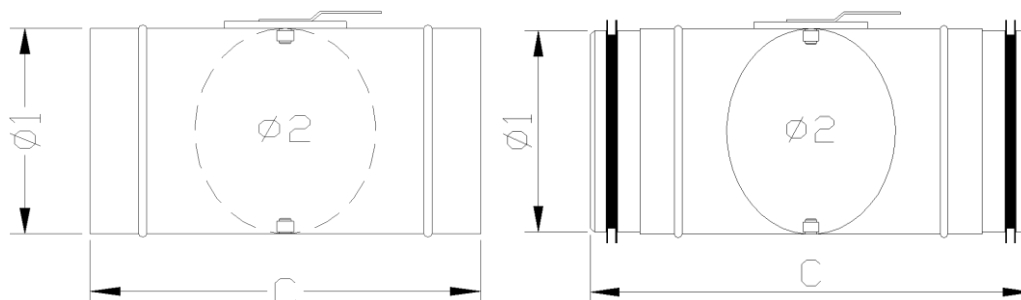
4. Acabamentos:

- Registos Regulador de Caudal com acabamento final tipo spiro ou spiro o´ring.
- Aplicação de vedantes junto ao manípulo de abertura/fecho para um melhor acabamento final.
- Tamponamento

5. Normas:

- Os Registos Reguladores de Caudal são fabricados em concordância com a norma EN 1506; SMACNA e Eurovent.
- O Registo Regulador de Caudal em chapa de aço carbono galvanizada é fabricado de acordo com as normas EN 10327.
- O Registo Regulador de Caudal em chapa de aço inoxidável é fabricado de acordo com a norma EN 10088-2.

6. Dimensões:

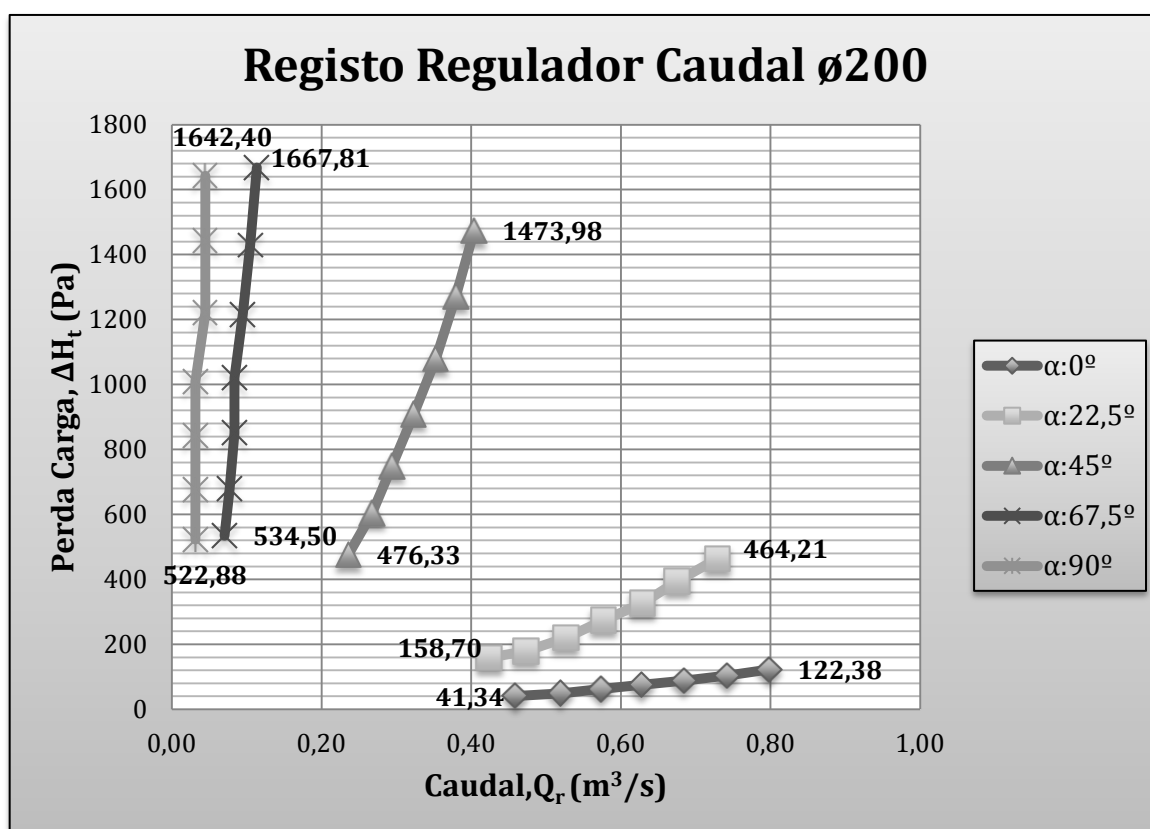


Dimensões							
Diâmetro nominal(Ø1) mm	Comprimento (C) mm	Espessura Registro	Diâmetro nominal(Ø2) mm	Espessura Disco	Peso		
100	180	0,6	96,5	0,6	0,6		
125	180		121,5		0,7		
150	180		146,5	0,8	0,8		
160	180		156,5		0,9		
180	180		176,5		1,1		
200	180		196,5		1,2		
225	240		221,5		1,3		
250	240		246,5		1,6		
300	240		296,5		,8		
315	240		311,5		2,1		
350	300	346,5	2,3				
400	300	0,8	396,5	1,0	2,8		
450	320		446,5		3,4		
500	350		496,5		3,9		
550	350		546,5		4,4		
600	400		596,5		5,2		
650	400		646,5		5,9		
700	400		696,5		6,5		
750	400		746,5		7,1		
800	400	1,0	796,5	1,2	7,7		
850	400		846,5		8,3		
900	400		896,5		8,9		
950	400		946,5				

- Possível construção de acordo com as condições e local de montagem.

7. Informação Técnica:

- Gráfico: Perda pressão/ caudal:



8. Advertências:

- d. Deve ser utilizada para os fins a que se destina;
- e. O seu transporte deve ser realizado em veículos totalmente cobertos e a sua carga e descarga deve ser efetuada de forma a manter as propriedades físicas da mesma. O seu armazenamento deverá também respeitar o mesmo princípio.
- f. O manuseamento deve ser realizado com o equipamento necessário para garantir a proteção do funcionário.

