

FICHAS TÉCNICAS



MECÂNICA DE FLUIDOS

CIRCULAÇÃO DE AR EM CONDUTAS I

1. Fluxo laminar e turbulento
2. Perda de carga em troços rectos
3. Condutas rectangulares
4. Acidentes nas condutas
5. Método do coeficiente «n»
6. Exemplo do coeficiente «n»
7. Características do sistema de condutas

Para ventilar um espaço, um recinto ou uma máquina, quer seja impulsionando ar ou extraíndo-o, é frequente que seja necessário ligar o ventilador ou extractor por meio de uma conduta, tubagem, de maior ou menor comprimento e de uma ou outra forma ou secção.

O fluxo desse ar na conduta absorve energia do ventilador que o impulsiona ou extrai devido ao contacto com as paredes, as mudanças de direcção ou os obstáculos que encontre no caminho. A rentabilidade de uma instalação exige que se minimize esta parte de energia consumida.

Na Fig. 1 está representada uma canalização com um ventilador V que trabalha fazendo circular um caudal de ar Q . Esta conduta tem a entrada cortada «rasa», as mudanças de secção são «quadradas», bruscas, e um obstáculo "O" atravessado com a sua forma natural. Por baixo apresenta-se um gráfico das pressões totais P_t que se vão produzindo ao longo da conduta como perdas de carga e que o ventilador precisa de vencer. As zonas sem sombreado indicam os espaços «vazios» de ar e o aparecimento de turbilhões no fluxo.

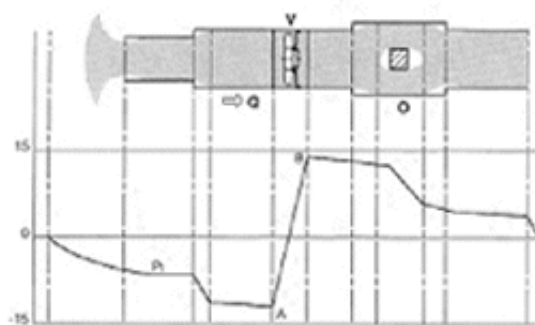


Fig. 1. Circulação de ar em condutas

A mesma canalização, Fig. 2, com uma embocadura de entrada em forma de campânula, as mudanças de secção cónicas e uma difusão do obstáculo atravessado, apresenta um gráfico de pressão muito mais baixa. Em ambos os casos calculou-se que a pressão P_t necessária, para o mesmo caudal Q , passa de 27 mm c.d.a. para 16 mm, ou seja, uma redução de 40%.

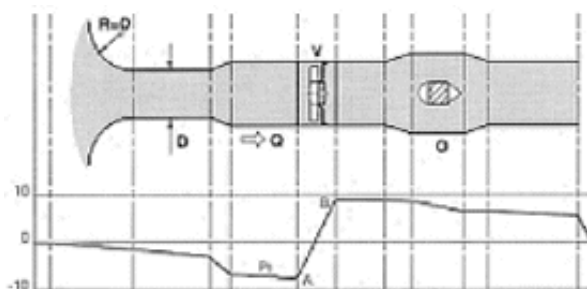


Fig. 2. Circulação de ar em condutas

Como o consumo de um ventilador é directamente proporcional à pressão total P_t a que trabalha, podemos

constatar que, se não se tiver em conta o desenho de uma canalização, pode acontecer, como se mostrou, que ocorra um dispêndio de 68% de energia acima do necessário.

1. Fluxo laminar e turbulento

Ao fluxo de ar dá-se o nome de laminar quando a sua trajectória é uniforme, os filetes são paralelos e bem definidos, como se ocorresse com marcadores sinópticos.

O fluxo é turbulento quando a trajectória das partículas do fluxo é irregular, mudando muitas vezes com o surgimento e desaparecimento de inúmeros remoinhos. Calculando um número, denominado de Reynolds, que compreende a densidade do fluxo, o diâmetro da conduta, a velocidade e a viscosidade, pode saber-se qual o tipo de regime existente no interior de uma conduta. Abaixo de 2.100 será laminar e, acima de 4.000, será manifestamente turbulento. Na engenharia de ventilação, por razões de economia da secção das instalações, os regimes dos fluxos de ar são sempre turbulentos.



2. Perda de carga em troços rectos

A pressão do ar necessária para vencer a fricção numa conduta, que é o que determina o consumo de energia do ventilador, chama-se perda de carga. Esta perda é calculada através da fórmula de Darcy que tem em conta o comprimento da conduta, o diâmetro hidráulico, a velocidade e densidade do ar e o coeficiente de fricção, o qual depende do número de Reynolds, da rugosidade das paredes, das dimensões e da disposição da referida conduta. Calcular a perda de carga com estas fórmulas é muito complicado e, mesmo assim, só se conseguem resultados aproximados, uma vez que tanto a viscosidade como a densidade e a rugosidade podem variar entre margens muito amplas. Por isso, a forma mais prática de fazer os cálculos é recorrendo a nomogramas, com base nos dados técnicos expostos e são válidos para condutas com a rugosidade corrente em materiais habitualmente usados.

O nomograma da Fig. 3 mostra um desses cálculos para secções circulares e um coeficiente de fricção $\lambda = 0,02$ (chapa de ferro galvanizado ou tubos de fibrocimento). Para outros coeficientes de fricção pode corrigir-se o resultado multiplicando-o pelos coeficientes da Fig. 4.

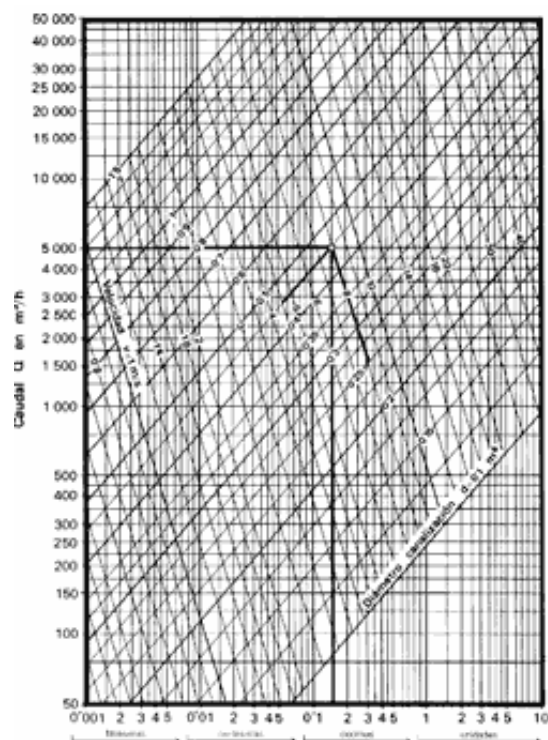


Fig. 3. Condutas circulares rectilíneas. Perda de carga por atrito de ar

Perda de carga, em mm c.d.a. de Pressão Total por metro de comprimento da conduta.

Exemplo de leitura:

Um caudal de 5.000 m³/h circula por uma conduta de 0,45 m de Ø a uma velocidade de 8 m/s com uma perda

de carga de 0,15 mm por metro.

3. Conduatas rectangulares

Se a secção da conduta não for circular, caso frequente em instalações de ventilação onde se utilizam formas rectangulares ou quadradas, é necessário determinar previamente a secção circular equivalente, ou seja, aquela que apresenta a mesma perda de carga que a rectangular considerada. Pode recorrer-se ao nomograma da Fig. 3. O diâmetro equivalente pode ser calculado com a fórmula de Huebscher:

$$d_e = 1,3 \frac{(ab)^{5/8}}{(a+b)^{1/4}}$$

Devido aos seus índices, é um cálculo muito trabalhoso mas na prática pode usar-se o gráfico da Fig. 5 baseado nesta fórmula

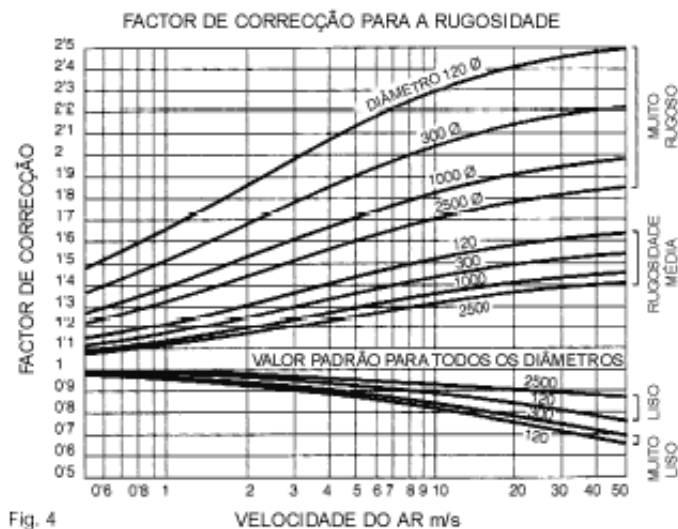


Fig. 4. Conduatas rectangulares

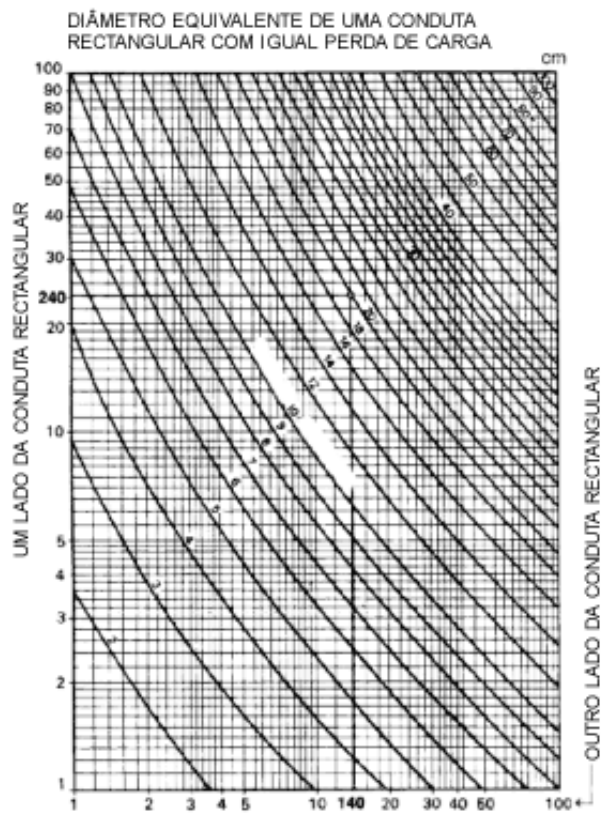


Fig. 5. Condutas rectangulares

Exemplo:

Uma conduta de 240x140 mm tem um diâmetro equivalente de 200 mm Ø.

4. Acidentes nas condutas

As condutas de ar não são sempre formadas por troços rectilíneos, antes pelo contrário, muitas vezes há acidentes na sua trajectória que obrigam à utilização de curvas, desvios, entradas, saídas, obstáculos, etc. Todos eles oferecem resistência à passagem do ar provocando perdas de carga. Para se conhecer a resistência total de um sistema de condutas será necessário calcular as perdas de cada um desses acidentes e somá-las às dos troços rectilíneos.

Existem diversos métodos para se calcular a perda de carga devido aos acidentes de uma canalização, sendo que o mais usado nos manuais especializados, com muitos dados experimentais que permitem, com operações simples, determinar o seu valor, é o seguinte:

5. Método do coeficiente «n»

Este método baseia o cálculo da perda de carga, em unidades de pressão total P_t , de um elemento da conduta em função da pressão dinâmica P_d do ar que circula e dos coeficientes «n» de proporcionalidade, determinados experimentalmente para cada um em função da sua forma e dimensões. A fórmula usada é

$$\text{Perda de carga } P_t = n \times P_d \text{ [mm c.d.a.]}$$

Desta forma calcularemos um a um os acidentes da conduta e depois, quando somados à dos troços rectilíneos, teremos a perda de carga total do sistema de condutas.



6. Exemplo do coeficiente «n»

A título de exemplo reproduzimos as curvas gráficas correspondentes aos coeficientes «n» de curvas em ângulo recto de secção circular e rectangular, Figs. 6 e 7, com algumas variantes de construção dos primeiros.

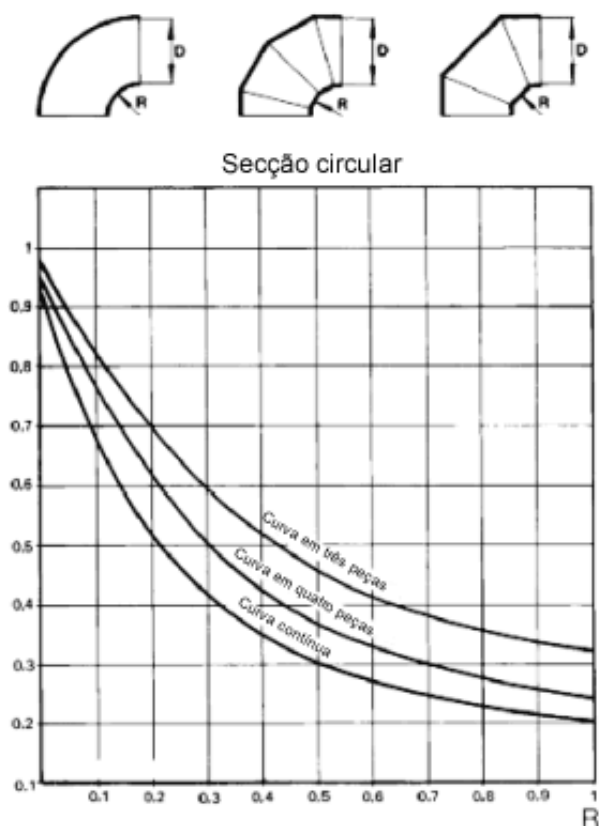


Fig. 6. Coeficientes «n» de perdas de carga em curvas

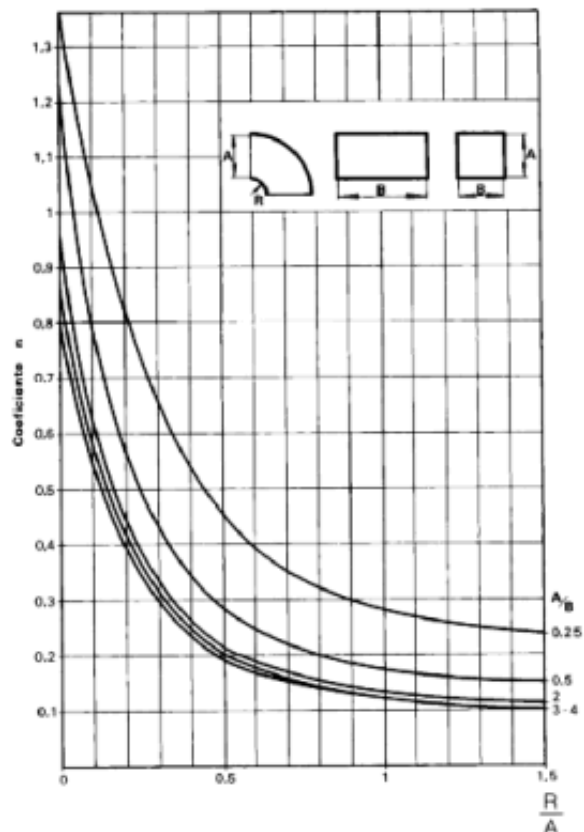


Fig. 7. Coeficientes «n» de perdas de carga em curvas

Sem pretender esgotar o tema, na próxima Ficha Técnica proporcionaremos muitos outros casos de acidentes com os dados sobre os coeficientes «n» correspondentes. Existem manuais especializados onde se poderão encontrar muitos outros casos.



7. Características do sistema de condutas

Depois de se terem calculado as perdas de carga totais de um sistema de condutas com todos os seus acidentes, $\Sigma Pt = P \text{ troços rectilíneos} + P \text{ curvas} + P \text{ derivações} + P \text{ descargas} + P \text{ etc.}$ para um determinado caudal Q_1 , podem calcular-se as perdas para um outro caudal Q_2 mediante a fórmula:

$$Pt_2 = Pt_1 \frac{Q_2^2}{Q_1^2}$$

Ou seja, as perdas são proporcionais ao quadrado dos caudais que circulam: $Pt = K Q^2$

Calculada K para um caudal concreto, podemos desenhar o gráfico da pressão (Perdas) - caudal para todos os valores do caudal. Este gráfico, Fig. 8, apresenta a forma de uma parábola e é chamada Curva Característica do Sistema.

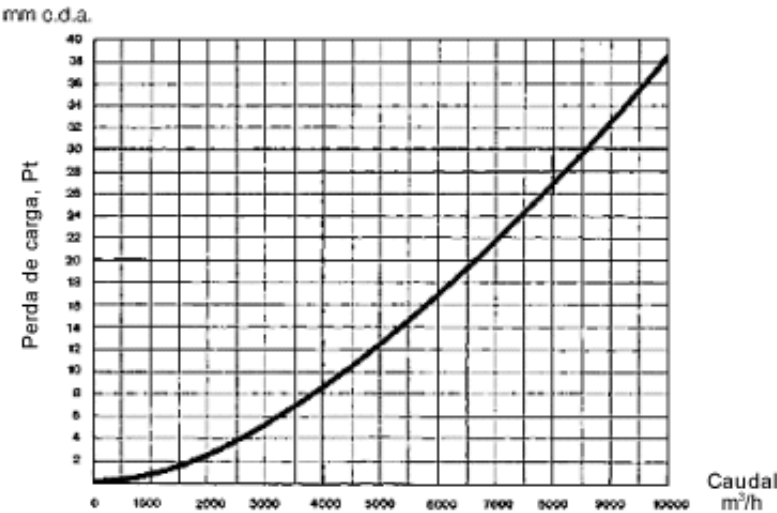


Fig. 8. Curva Característica do Sistema



FICHAS TÉCNICAS



MECÂNICA DE FLUIDOS

CIRCULAÇÃO DE AR EM CONDUTAS II

1. Coeficiente «n»
2. Velocidades do ar
3. Boca com grelha

1. Coeficiente «n»

Recordemos que a perda de carga, em termos de Pressão Total P_t , é calculada em função de um coeficiente «n», que se encontra em tabelas, conforme seja o acidente que o ar encontra no seu caminho ao percorrer uma conduta e a Pressão Dinâmica (ou pressão de velocidade) do mesmo. A fórmula é:

$$\text{Perda de carga } P_t = n \times P_d \text{ mm c.d.a.}$$

A Pressão Dinâmica está ligada à velocidade do ar pela fórmula:

$$P_d = \frac{v^2}{16,3}$$

ou seja, $v = 4,04$

Ambos os valores podem ser obtidos directamente a partir do gráfico Fig. 1.

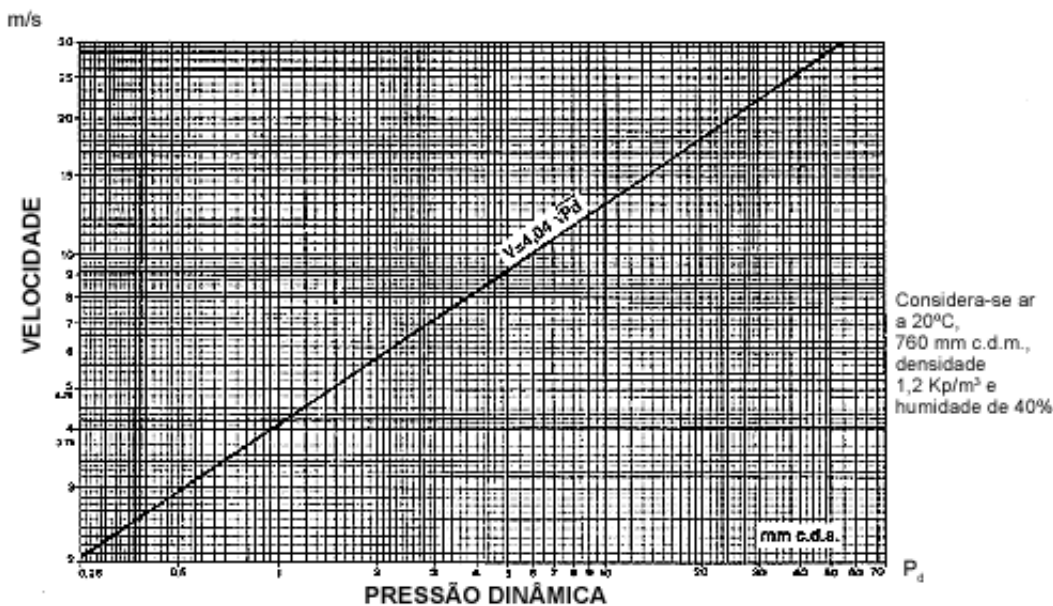


Fig. 1. Pressão dinâmica do ar em função da sua velocidade

Da mesma forma, se os dados disponíveis são o caudal de ar que circula e o diâmetro da conduta, pode obter-se a Pressão Dinâmica P_t através do gráfico da Fig. 2.

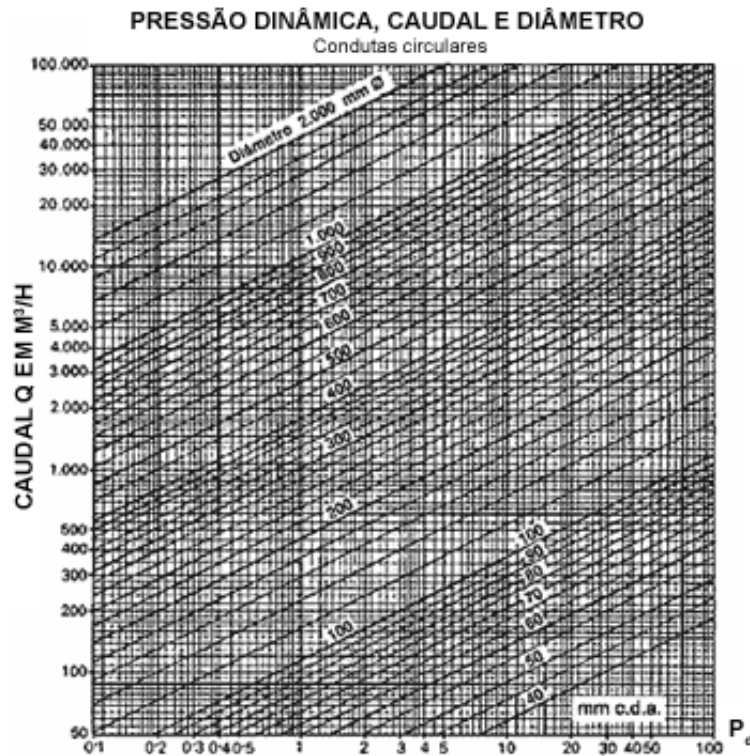


Fig. 2. Pressão dinâmica, caudal e diâmetro

Apenas para efeitos exemplificativos, apresenta-se na Fig. 3 uma montagem de climatização que reúne diversos acidentes que provocam perdas de carga e que é preciso ir calculando um a um para se conhecer o conjunto da perda de carga da instalação. O ar entra, atravessa uma grelha, expande-se, ventila uma bateria permutadora de calor, arrasta uma pulverização de água, é bifurcado, é reduzido, é regulado por uma comporta na entrada do ventilador, percorre um troço rectilíneo e, finalmente, é descarregado através de uma curva com uma persiana deflectora.

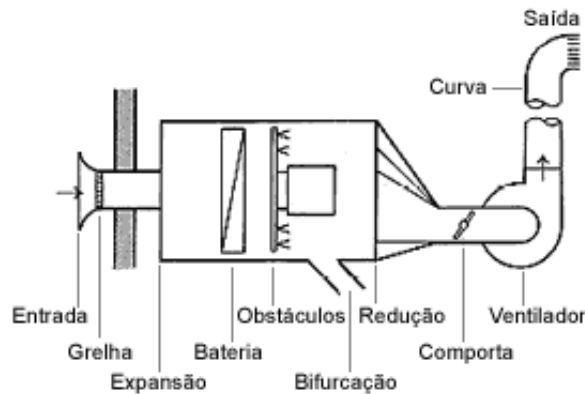


Fig. 3. Exemplo de instalação

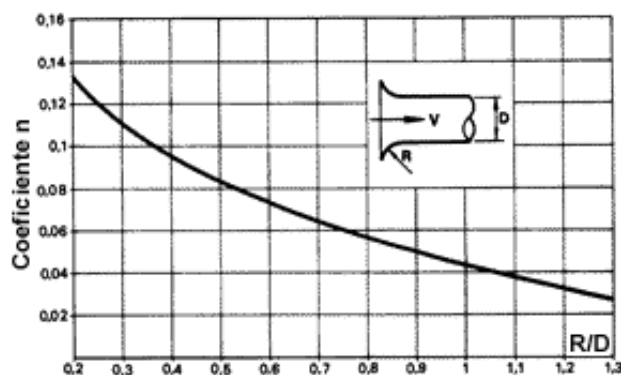


Fig. 4. Entradas em condutas

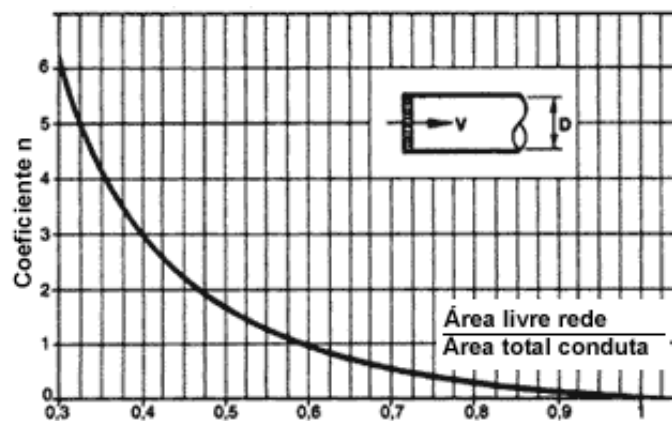


Fig. 5. Boca com grelha

Assim, e seguindo mais ou menos a ordem estabelecida nesta figura, são fornecidas tabelas para a determinação das perdas de carga de cada elemento intercalado na conduta. Devemos acrescentar que se procurou proporcionar mais uma visão geral da variedade de casos que é comum ocorrer em condutas e instalações reais, e não uma relação exaustiva de dados concretos que, se fosse o caso, resultaria numa listagem desmesurada mais adequada a publicações especializadas.

Em todos eles a velocidade do ar que deve ter-se como base para o cálculo da Pressão Dinâmica P_d , é a que existe na secção da conduta indicada como D.

Para valores inferiores R/D
são válidos os seguintes coef. n:

R/D	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1
N	0.87	0.84	0.51	0.32	0.2	0.15

Para grelhas maiores ou menores
que a conduta, os valores de n são:



Coef. n				
D_r/D	0.3	0.5	0.7	0.9
3	0.39	0.11	0.04	0.01
2	1.6	0.43	0.15	0.04
1	5.2	1.7	0.58	0.14
0.8	9.7	2.7	0	0.22
0.4	39	10	3.6	0.86
0.2	155	42	15	3.5

2. Velocidades do ar

- V_a = Velocidade de captação ou de arrasto, que é a que circunda a partícula que desejamos atrair ou a que ventila uma zona à distância.
- V_e = Velocidade de entrada na boca por onde se aspira o ar.
- V_p = Velocidade no plenum. Entende-se por plenum uma caixa, cabina ou grande secção de conduta onde a velocidade desce de forma considerável. É usado para uniformizar o fluxo.
- V_c = Velocidade na conduta, ou velocidade de transporte pneumático.

Todas as velocidades consideradas neste capítulo para o cálculo do coeficiente "n" estão referidas a velocidades na conduta V_c , do diâmetro D indicado, ainda que se trate de calcular perda de carga na entrada.

Nas campânulas de captação, sejam elas verticais ou horizontais, a secção da boca deve ser, no mínimo, o dobro da conduta.

Em campânulas rectangulares, a refere-se ao ângulo maior.

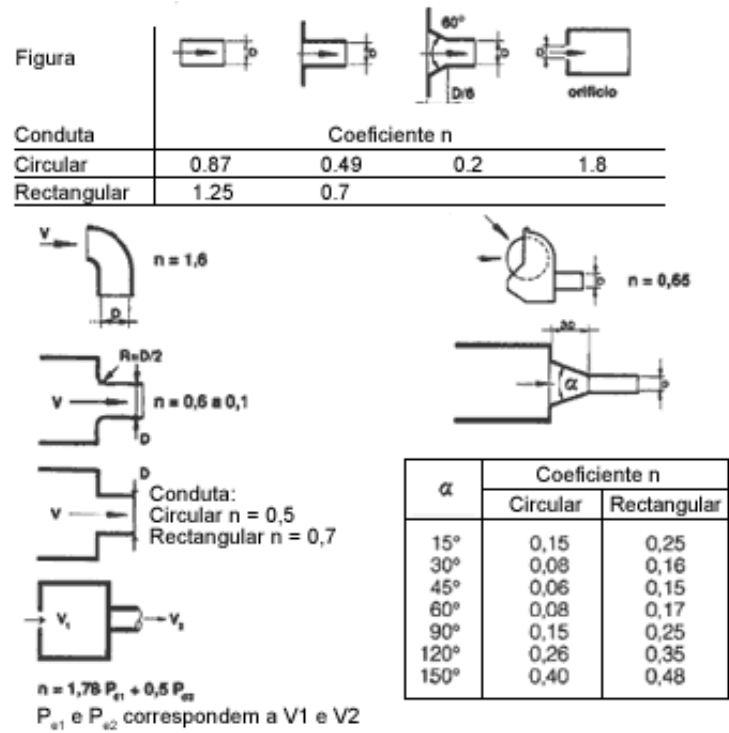


Fig. 6. Entradas várias

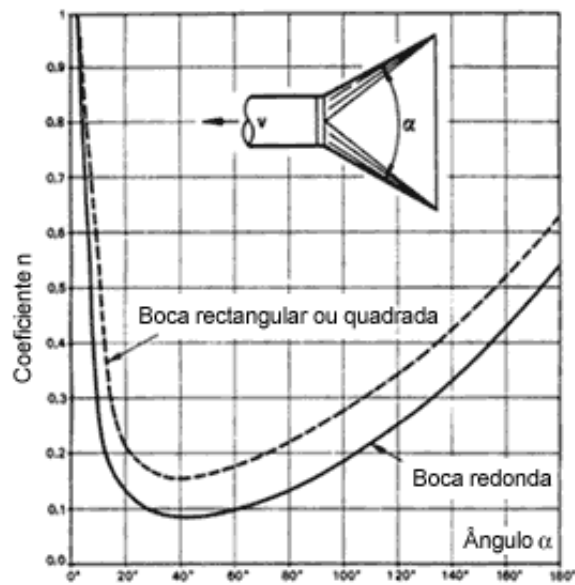
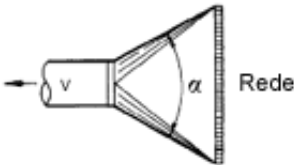


Fig. 7. Campânulas de captação

3. Boca com grelha

Para grelhas com dimensões ≥ 50 mm de secção quadrada deve tomar-se o coeficiente "n" da seguinte tabela.



α°	Coeficiente n	
	Circular	Rectangular
20	0,42	0,53
40	0,3	0,38
60	0,24	0,31
90	0,2	0,29
120	0,29	0,39

Devem evitar-se os obstáculos que atravessem uma conduta de ar e, em especial, nas curvas e bifurcações do fluxo. Referimo-nos a corpos estranhos na canalização e não quando se trate de ventilar os mesmos, como é o caso de baterias permutadoras de calor nas quais, por outro lado, se projectam já com alhetas orientadas de modo a que obstruam o mínimo possível.

Se não houver forma de evitá-los, devem ser cobertos com coberturas de silhueta aerodinâmica para não provocar perdas de carga elevadas. Os obstáculos com frentes superiores a cinco centímetros devem cobrir-se com perfis arredondados, ou melhor, com silhuetas de asa de avião, procurando que os suportes ou apoios sejam paralelos à direcção do ar. Se a obstrução for superior a 20% da secção deve bifurcar-se a canalização e fazê-la confluir de novo depois de superado o obstáculo. A Fig. 10 mostra quão importante é o coeficiente «n» para corpos rígidos opostos ao ar.

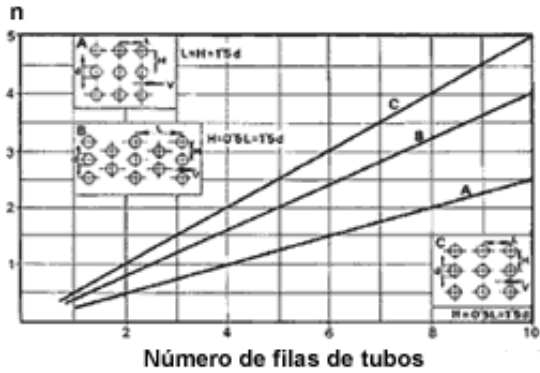


Fig. 8. Obstáculos na conduta. Baterias de tubos sem alhetas

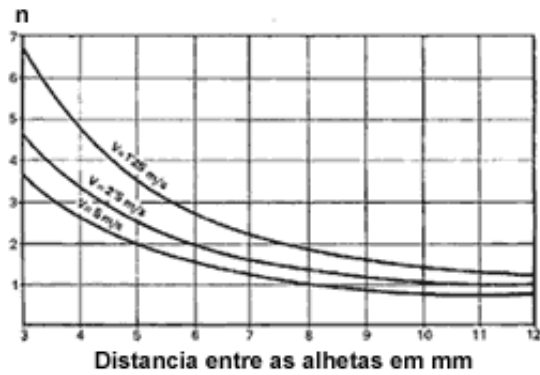


Fig. 9. Obstáculos na conduta. Baterias de tubos com alhetas

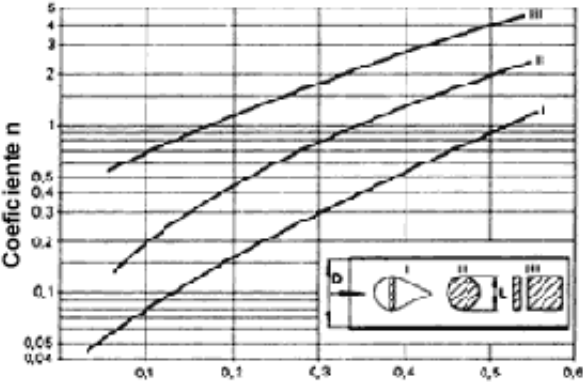
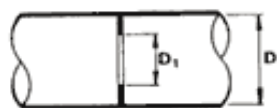
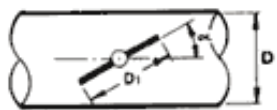


Fig. 10. Corpos atravessados na conduta



DIAGRAMAS

D1/D	0,2	0,4	0,6	0,8
n	2,5	2,2	1,5	0,5



REGISTROS

D1/D	0°	20°	40°	60°
0,5	0,2	0,37	0,61	0,86
0,6	0,2	0,48	0,94	1,5
0,8	0,2	0,87	2,6	6,1
1	0,2	1,8	11	115

Valores n

FICHAS TÉCNICAS



MECÂNICA DE FLUIDOS

CIRCULAÇÃO DE AR EM CONDUTAS III

1. Curvas
2. Mudança de secção

1. Curvas

Na **Ficha Técnica Mecânica de Fluidos 1, Circulação de ar em condutas I**, ao abordar os "Acidentes nas condutas" e o método do coeficiente " n ", para o cálculo da perda de carga, mostrava-se o caso das curvas numa canalização, curvas simples de secção rectangular e curvas circulares de uma, duas e três peças.

Agora veremos as curvas em que, por limitação do espaço disponível ou por questões orçamentais, não se podem utilizar curvas arredondadas. Para diminuir a perda de carga das curvas com arestas recorre-se a dotá-las de alhetas direccionais, duas, três ou mais, uniformemente distribuídas ao longo de toda a curva. Estas alhetas podem ser de espessura uniforme, de chapa, ou então adoptar perfis aerodinâmicos. A Fig. 1 apresenta graficamente as perdas dos diversos casos ilustrados e as proporções que as alhetas podem adoptar em termos de espessura aerodinâmica.

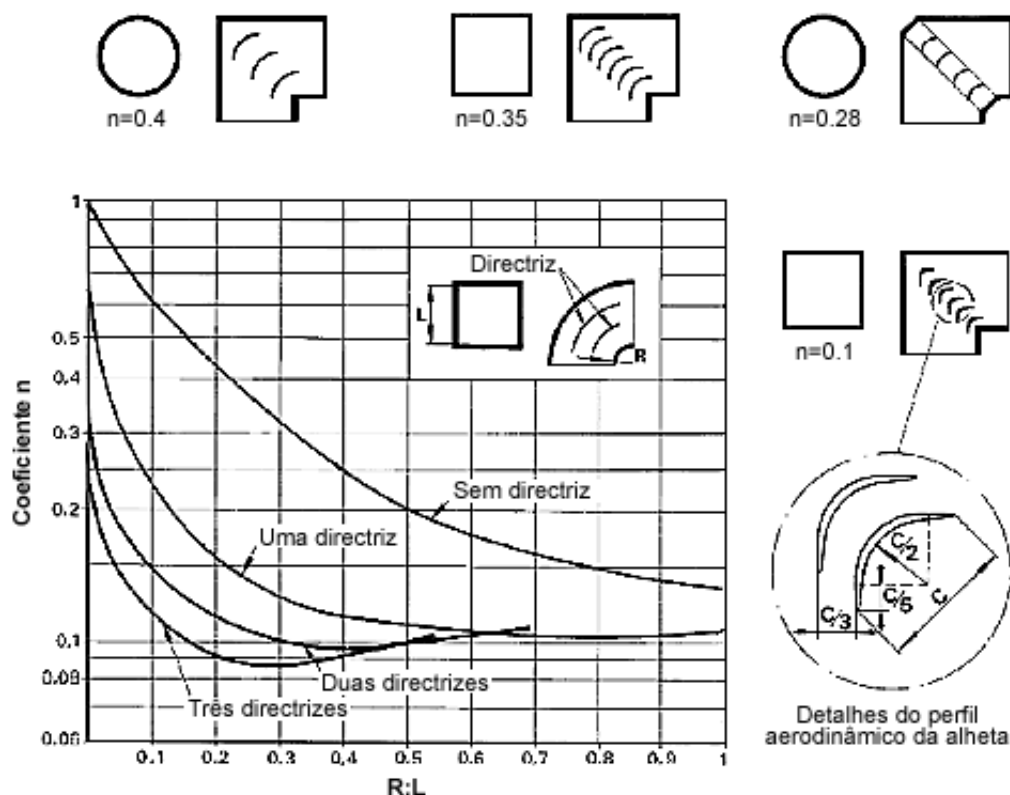


Fig. 1. Curvas em ângulo recto com alhetas

A colocação de alhetas com separação progressiva entre elas relativamente à curvatura, prática que distribui de forma ideal o fluxo ao mudar de direcção na curva, pode decidir-se através da análise do gráfico da Fig. 2 onde, em função do raio interior e exterior da curva, se pode escolher o número de alhetas a colocar, de uma a três, determinando-se o raio e com ele a colocação de cada uma das alhetas. Um exemplo sobre a mesma figura ilustra este procedimento.

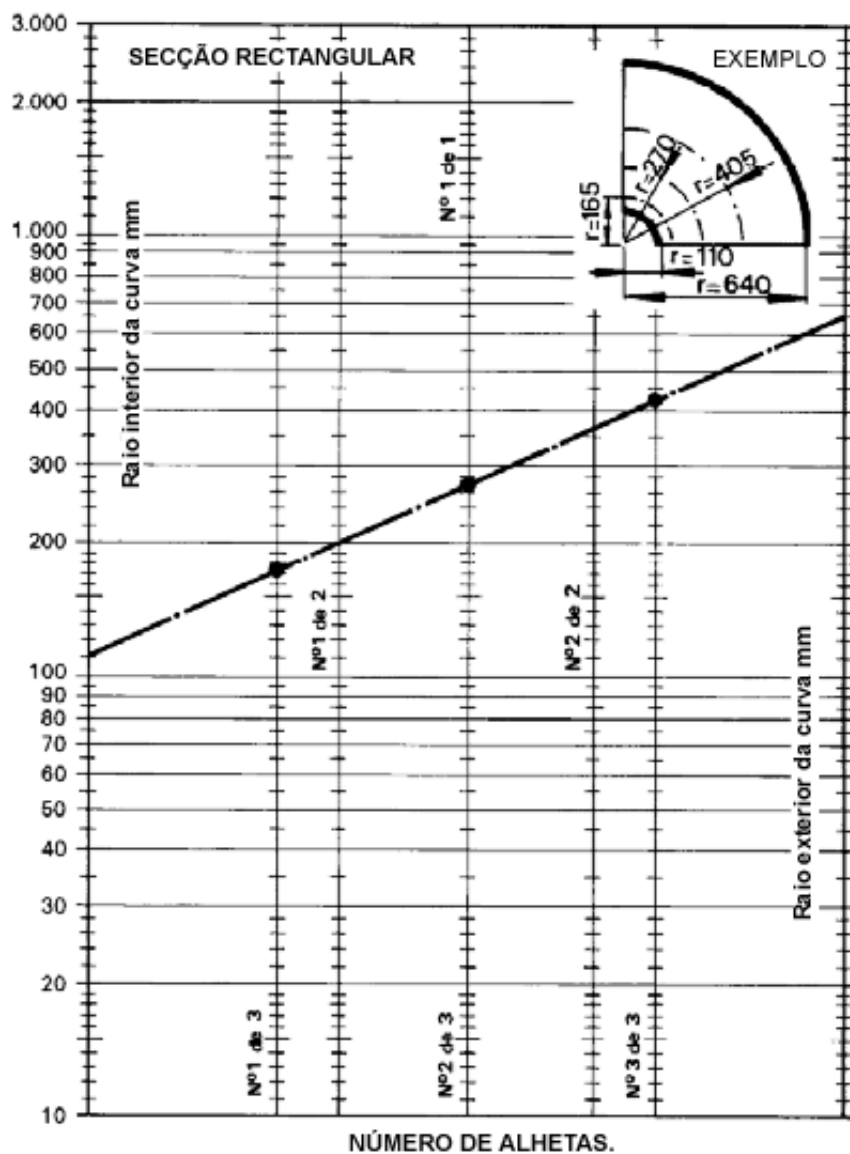


Fig. 2. Localização ideal das alhetas nas curvas

No caso de um ângulo obtuso, superior a 90° , como se apresenta no gráfico da Fig. 3, obtendo-se o coeficiente "n" de perda de carga para curvas de secção rectangular ou redonda e para ângulos até 170° .

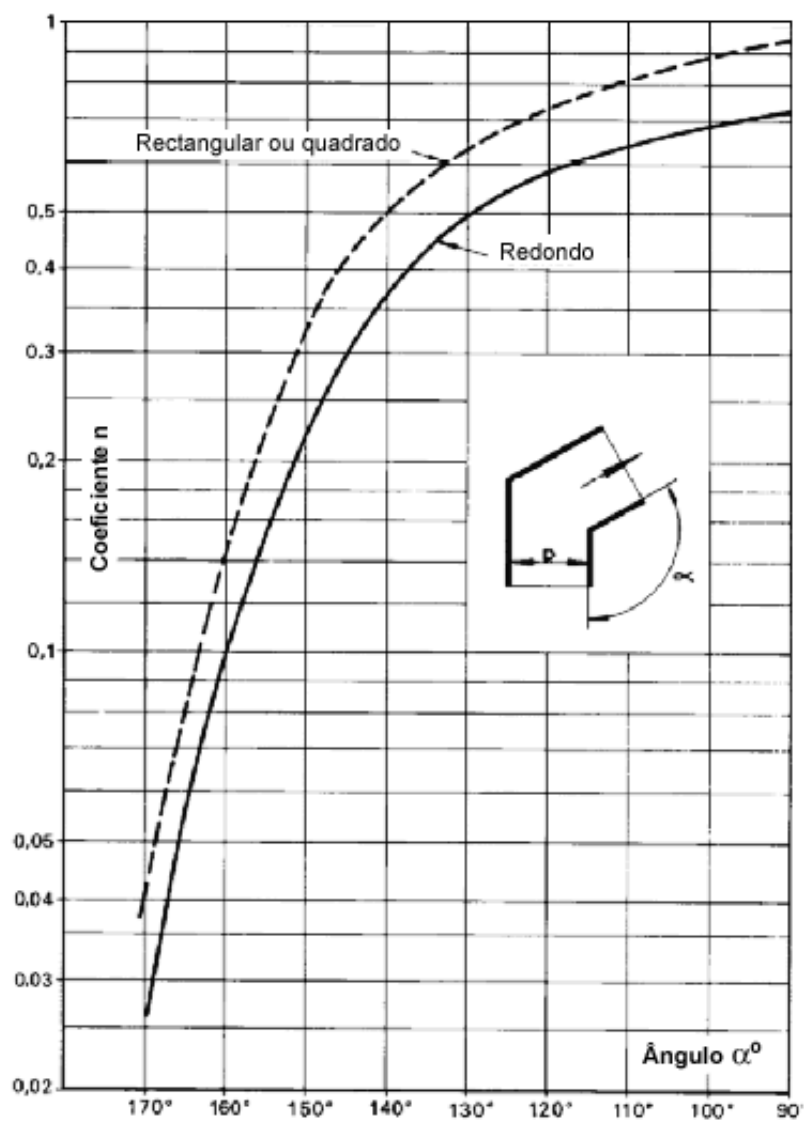


Fig. 3. Curvas em ângulo obtuso

2. Mudança de secção

É muito frequente que, por imperativos da construção dos edifícios, se tenha que recorrer a mudanças de secção, reduções ou aumentos da passagem das condutas, o que se procurará fazer sempre de forma progressiva para assim se minimizarem as perdas. No entanto, por vezes, isso não é possível e torna-se necessário efectuar mudanças de secção de forma brusca, pelo que é necessário calcular essas perdas.

O gráfico da Fig. 4 trata de mudanças suaves e progressivas, em função do baixo ângulo em que se produz a transição entre secções.

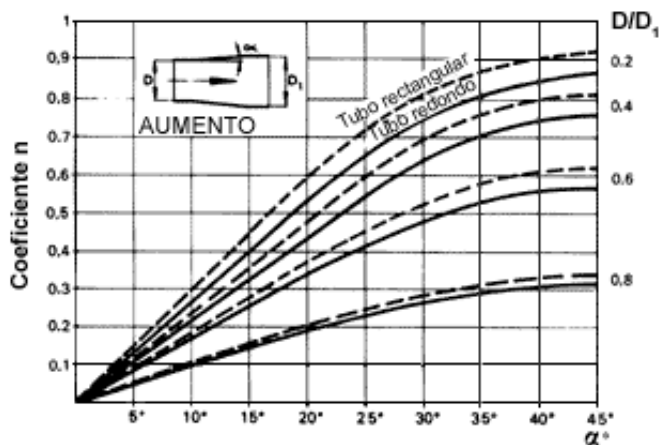


Fig. 4. Mudanças suaves e progressivas

Nas diminuições não são significativas as distinções relativamente às perdas entre condutas circulares ou rectangulares. Pelo contrário, nos aumentos de secção existem ligeiras diferenças que são visíveis no gráfico.

Ainda que as mudanças bruscas de secção não correspondam a um bom desenho, elas acabam por ser habituais em casos de uma campânula, uma cabina ou um plenum que ligam a uma conduta de secção muito menor.

Quando as mudanças têm que ser bruscas, de menor a maior ou vice-versa, pode calcular-se o coeficiente de perda de carga em função da relação de diâmetros e por meio dos gráficos da Fig. 5.

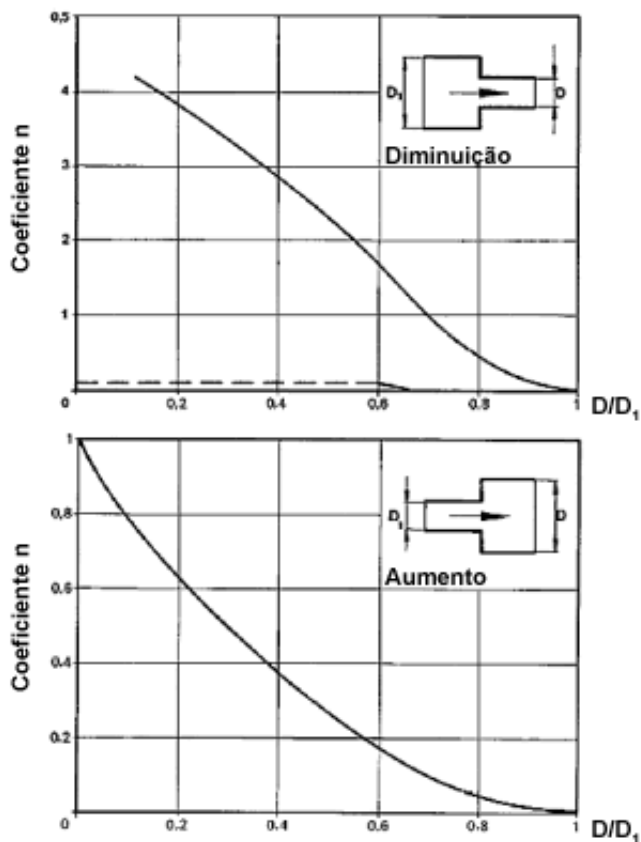


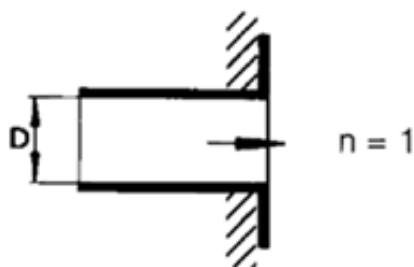
Fig. 5. Mudanças bruscas de secção. Coeficientes "n" de perda de carga relativos à velocidade do ar em D

No caso de uma diminuição brusca dos rebordos isso tem uma influência decisiva no coeficiente de perdas.

No gráfico podem ver-se os valores que correspondem a rebordos com arestas vivas. Arredondando-os um pouco, o coeficiente desce para valores ínfimos, tal como se vê na linha de traços descontínuos.

Um caso especial é a entrada de um local numa conduta, $D_1 = \infty$, que pode tomar-se para o valor $D/D_1 = 0$, um coeficiente "n" = 0,5 aprox.

Para aumentos bruscos pode considerar-se por exemplo o caso especial de descarga de uma conduta num local, $D_1 = \infty$, em que $D/D_1 = 0$, e um coeficiente "n" = 1.



A convergência e bifurcação de caudais, ou seja, a união e separação dos mesmos, dão lugar a uma grande variedade de soluções.

Condutas circulares e rectangulares, uniões em forma de "T" ou de "Y", e estas últimas com inclinações de 20°, 30° ou 45° ou ainda peças intermédias cónicas para acoplar secções de medidas diferentes. Tudo isto faz com que haja muitas tabelas com dados relativos aos coeficientes «n» de perda de carga para o ramal principal e auxiliares.

Todos estes dados são fornecidos em função da relação de caudais, que por seu lado são iguais à relação das secções das condutas multiplicadas pelas velocidades de ar que circulam por elas, ou seja: $Q / Q = S V / S V$; $Q / Q = S V / S V$ pelo que as tabelas têm variadíssimas entradas.

Apenas a título de exemplo, apresenta-se a Fig. 6 com tabelas simplificadas de variantes. Os valores negativos de «n» representam "facilidade" de carga, em vez de "perda", provocada por uma relação de caudais através de secções e velocidades de ar concretas.

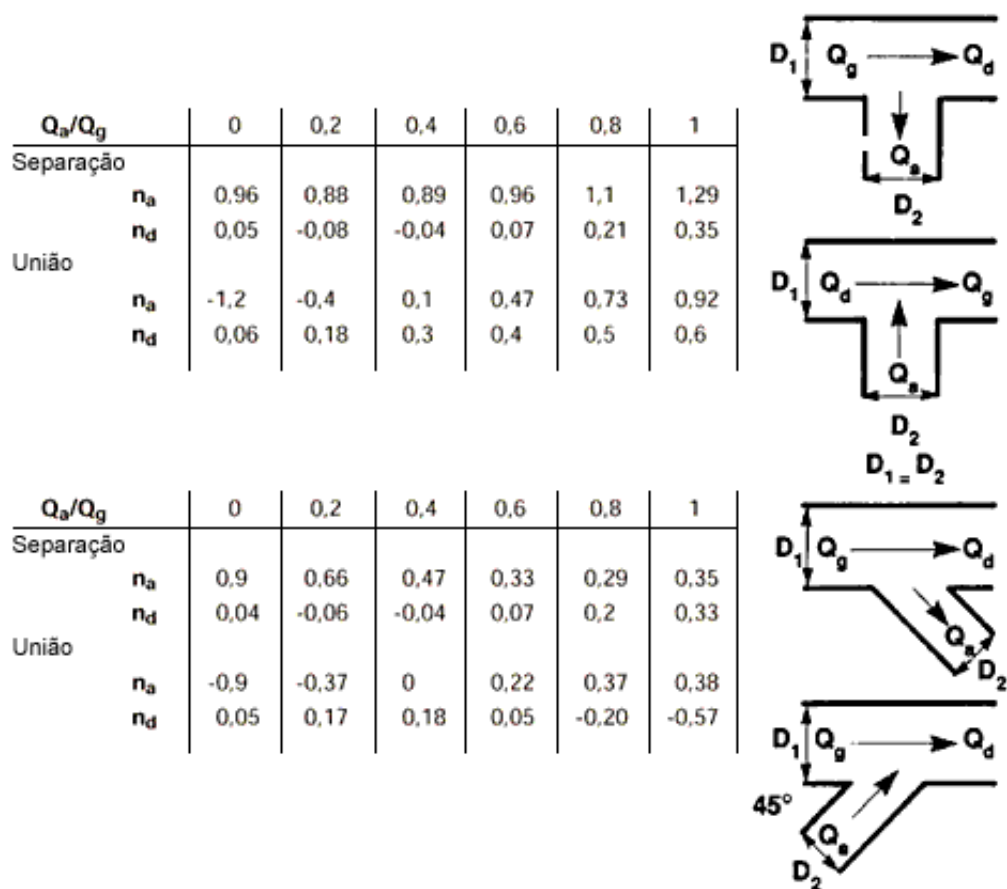


Fig. 6. Separação e união de caudais

Nas Figs. 7 e 8 apresentam-se os coeficientes "n" de perda de carga de diversas saídas de condutas.

SAÍDAS DAS CONDUTAS

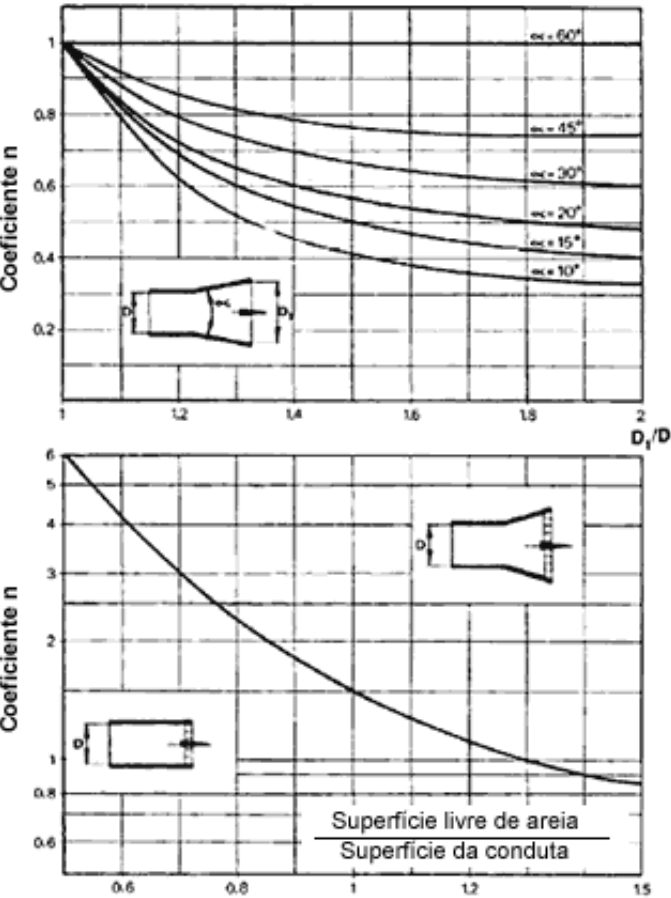
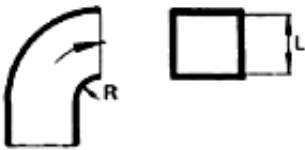


Fig. 7. Saídas de condutas



D/D_1	0,25	0,5	0,75	1
n	2,5	1,9	1,5	1



R/L	0	0,25	0,5	0,75	1
n	3	1,9	1,6	1,5	1,4

Fig. 7. Saídas de condutas

As saídas verticais das condutas de ventilação através do telhado, protegidas da chuva por uma cobertura, como indica a Fig. 9, não são aconselhadas uma vez que empurram para baixo os gases extraídos o que, com a velocidade conferida pela saída, podem espalhar-se pelo telhado e pelas paredes altas do edifício, por vezes com janelas, voltando a introduzir-se de novo no edifício. A perda de carga é, neste caso, muito importante.

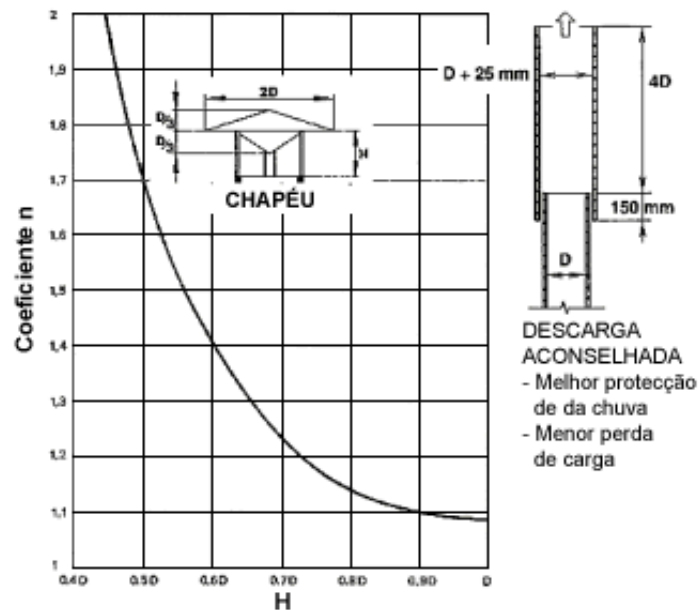


Fig. 9. Saídas pelo telhado

Uma boa forma de resolver esta situação é dotar a saída com uma envolvente tubular com a disposição e dimensões que se indicam na mesma figura, a qual funciona como tubo de difusão vertical e, simultaneamente, drena a possível água da chuva que possa introduzir-se pela abertura, uma vez que escorre pelas paredes internas. A perda de carga é, assim, muito menor.



FICHAS TÉCNICAS



MECÂNICA DE FLUIDOS

VELOCIDADE DO AR

1. Escala de Beaufort
2. Efeito sobre o corpo humano
3. Velocidade do ar

O ar, invólucro gasoso da Terra, não é uma massa de gases em repouso, é antes uma delgada capa fluida e turbulenta a mover-se com intensidade variável em função dos grandes contrastes térmicos. A deslocação massiva de grandes massas de ar com uma certa velocidade e direcção comuns é aquilo a que chamamos **Vento**.

Às desordenadas e contínuas mudanças da posição relativa e da velocidade de massas parciais de ar que se desloca dá-se o nome de **Turbulência**.

À ausência de vento perto do solo ou da superfície do mar chamamos **Calma**. É pouco frequente que esta quietude se verifique a todas as altitudes sobre um mesmo lugar, e podemos mesmo considerá-la inexistente se alcançarmos vários milhares de metros.

1. Escala de Beaufort

A força do vento é determinada pela velocidade do mesmo. A Escala de Beaufort ordena os ventos segundo a sua força o que, traduzido em velocidades, aparecem com os valores da Tabela 1, medidos a 10 m de altura e em campo aberto.

Escala de Beaufort	Nome de Vento	Velocidade	
		m/s	Km/h
0	Calma	0,5	2
0	Calma	0,5	2
1	Ar ligeiro	1,5	5
2	Brisa ligera	3	11
3	Brisa suave	6	22
4	Brisa moderada	8	30
5	Brisa fresca	11	40
6	Brisa forte	14	50
7	Vento moderado	17	60
8	Vento fresco	21	75
9	Vento forte	24	87
10	Grande vento	28	100
11	Tempestade	32	115
12	Furacão	36 o más	130 o más

Tabela 1. Escala de Beaufort



2. Efeito sobre o corpo humano

Apesar de a escala de Beaufort não considerar como movimento do ar até que este alcance a velocidade de 1,5 m/s, a verdade é que a deslocação do ar a velocidades inferiores, como por exemplo 0,5 m/s, são já perceptíveis, ainda que levemente. A expressão "ar em calma", implica um movimento de até 0,08 m/s. Daí para cima o movimento do ar é perfeitamente perceptível.

Se ao fazer-se a renovação de ar de um local se utilizar ar com características térmicas e de humidade parecidas com as existentes dentro desse local, então o movimento do ar raramente será perceptível uma vez que uma renovação, por activa que seja, costuma provocar velocidades de ar abaixo do que qualificamos como ar em calma.

No entanto, é perfeitamente conhecido o fenómeno de que um movimento de ar sobre a pele despida das pessoas provoca uma sensação de frescura, apesar de o ar ter a mesma temperatura de quando estava em calma. Dificilmente a velocidade do ar de renovação de um local pode produzir essa sensação de frescura e é por isso que se justifica a existência dos ventiladores que são aparelhos destinados a provocar movimentos de ar utilizando o ar existente dentro dos espaços, independentemente do ar que se introduza para uma renovação do ambiente.

Num local com pessoas normalmente vestidas, em repouso ou ocupadas com uma actividade ligeira e com uma temperatura entre 20 e 24 °C, um movimento de ar a uma velocidade compreendida entre 0,5 e 1 m/s proporciona-lhes uma sensação de frescura confortável, mas caso se trate de pessoas dedicadas a uma actividade dura, com grande esforço muscular, esta sensação de alívio não se produzirá até que se alcance uma velocidade de ar sobre as pessoas de 1,3 a 2,5 m/s. Ultrapassar esta velocidade provoca uma sensação desagradável e não de alívio, pelo que deve ser evitada.

Entre estes extremos indicados pode existir uma escala de sensações diversas. Também devemos ter sempre em conta a influência decisiva da temperatura do ar, que deve ser inferior à do corpo, assim como o grau de humidade ser suficientemente baixo para permitir a evaporação do suor humano. Depois de numerosos ensaios com um grande número de pessoas que se disponibilizaram para isso, foi possível estabelecer-se uma escala, como a da Tabela 2, devendo ter-se em conta que, para as velocidades de ar baixas foram consideradas pessoas normalmente vestidas e temperaturas próximas dos 20º, e para velocidades de ar elevadas foram utilizados homens em tronco nu e dedicados a um trabalho intenso e temperaturas elevadas.

Velocidade do ar sobre pessoas	Sensação de que a temperatura ambiente baixou em
0,1 m/s	0º C
0,3 m/s	1º C
0,7 m/s	2º C
1 m/s	3º C
1,6 m/s	4º C
2,2 m/s	5º C
3 m/s	6º C
4,5 m/s	7º C
6,5 m/s	8º C

Tabela 2. Efeito sobre o corpo humano



3. Velocidade do ar

Recordemos aqui (Ficha Técnica, VENTILAÇÃO 4) que o ar ao circular por uma conduta à velocidade **v** (m/s) de Secção **S** (m²), determina uma pressão de velocidade, Pressão Dinâmica **Pd** (mm c.d.a.), e se liga com o caudal **Q** (m³/h), de acordo com as fórmulas:

$$Q = 3\,600 \, v \, S$$

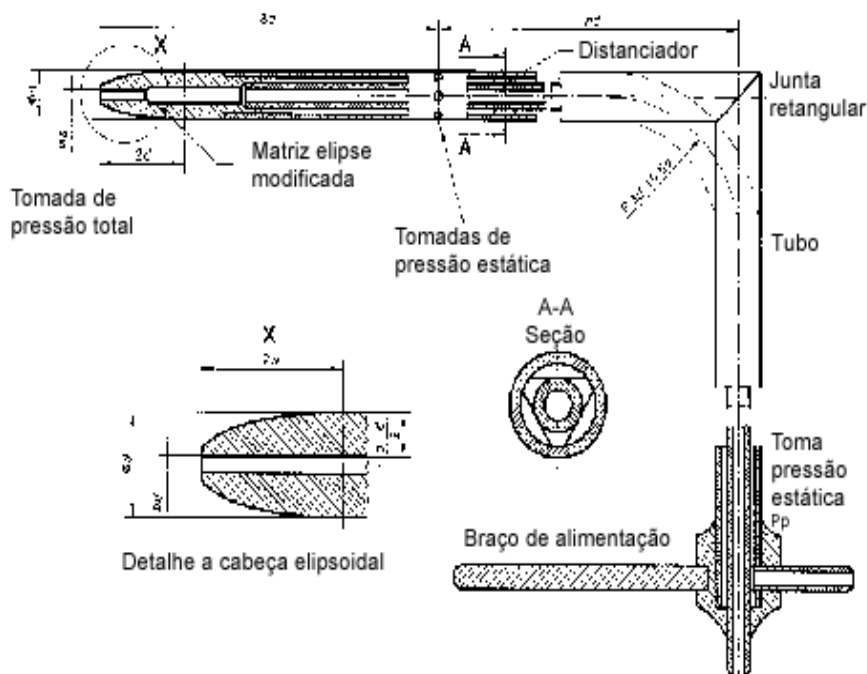
$$P_d = \frac{v^2}{16} \text{ mm c.d.a.}$$

3.1 Como se mede a velocidade?

É preciso distinguir dois campos bem diferenciados em que se fazem as medições: no laboratório ou no local de aplicação do equipamento ou instalação de ventilação.

No primeiro caso, a medição é efectuada através de um Tubo de Prandtl, introduzido na conduta por onde circula o ar, ao qual se liga um micro manómetro de tubo inclinado ou do tipo Betz.

Deve fazer-se um número considerável de leituras, em locais bem definidos da conduta. Segundo a norma ISO 5801:1996 (E) uma das várias sondas descritas é a que se apresenta na Fig. 1 com as correspondentes indicações. A mesma norma fixa os pontos exactos onde deve fazer-se a leitura de pressões. O centro do nariz da sonda deve ser colocado sucessivamente em, pelo menos, 24 posições espaçadas simetricamente e dispostas como se indica na Fig. 2.



do nível que um líquido, água, álcool, etc. alcança num tubo geralmente inclinado para aumentar a precisão da leitura, ou pelo nível indicado por um sistema de cubas com leitores ópticos de precisão, como nos aparelhos padrão ou ainda através de métodos eléctricos.

Exemplos deste tipo de aparelhos de medida em laboratórios são os das Figs. 3, 4 e 8. No que se refere a medidas "in situ" da velocidade do ar, os aparelhos costumam ser de tipo mecânico, com uma roda que gira por efeito do ar e o seu eixo determina as leituras da velocidade. Fig. 5.



Fig. 3. Manómetros de tubo inclinado



Fig. 4. Manómetro tipo Betz



Fig. 5. Anemómetro mecânico com cronómetro

Os aparelhos portáteis, ligeiros e manuais para medir a velocidade do ar de aspiração ou descarga dos sistemas de ventilação são muito frequentes no mercado, mas não podem ser utilizados de forma universal caso se pretendam resultados muito fiáveis. Há aparelhos especializados precisamente para as funções de medição, mas há sempre alguns factores a ter em conta aquando da sua escolha.

São eles:

1. Conhecer o campo de medida
2. Destino da medição
3. Natureza do fluxo de ar
4. Espaço disponível
5. Exigências técnicas
6. Precisão necessária
7. Preço

Estes aparelhos baseiam-se numa roda de palhetas que giram dentro de um invólucro tubular de acordo com a velocidade do ar. O aparelho traduz a velocidade de rotação das palhetas em velocidade do ar que cruza axialmente a sua carcaça, dando uma leitura da velocidade.

São aparelhos mecano-eléctricos, que geram uma tensão medida por um galvanómetro e traduzido em unidades de velocidade do ar. Também há aparelhos destes de funcionamento electro-térmico nos quais as variações de temperatura de uma resistência eléctrica pela acção refrigeradora do ar que circula se traduzem em indicações da velocidade do ar.

Os desenhos das Figs. 6 e 7 representam alguns destes aparelhos.



Fig. 6. Anemómetro de leitura analógica



Fig. 7. Termo-anemómetro de leitura digital

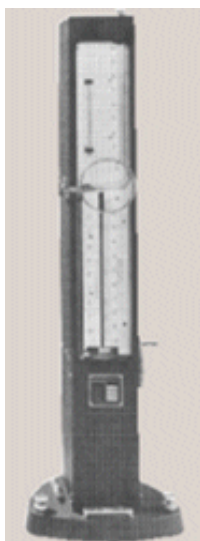


Fig. 8. Micro manómetro padrão

Não são de grande precisão e devem ser tidas em conta as indicações dos fabricantes relativamente ao posicionamento, pontos de medida e número de leituras a fazer, de modo a que se atinjam resultados aceitáveis.

3.2 A velocidade do ar e o conforto

A velocidade do ar influencia o conforto das pessoas principalmente por dois motivos: a incidência do sopro sobre as mesmas e o ruído que produz.

No primeiro caso, verifica-se o maior arrefecimento que a corrente de ar produz nas pessoas pelo que se sente uma temperatura inferior.

O gráfico da Fig. 9 mostra a zona de sensação agradável tendo em conta o par de valores de temperatura do local e velocidade do ar. A humidade também tem uma influência importante. Este gráfico é válido para valores entre os 30 e os 70%.

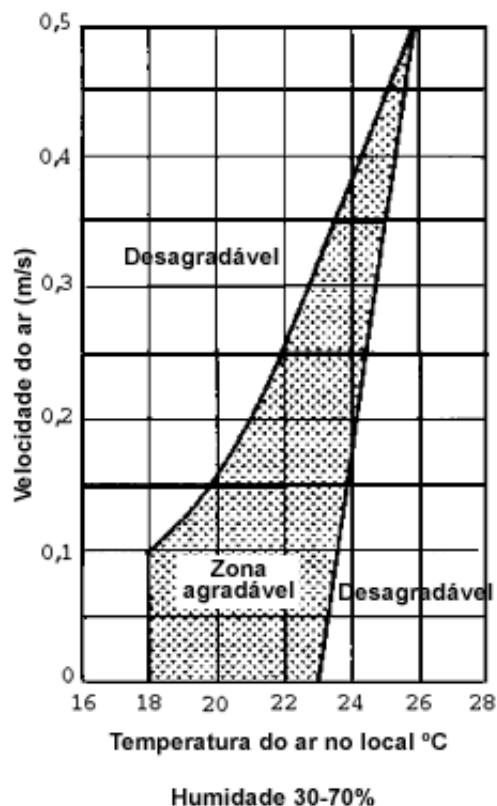


Fig. 9. Zona de Conforto Ambiental

Na verdade, a forma mais exacta de delimitar a zona de bem-estar é baseá-la na chamada temperatura efectiva que compreende a temperatura, a humidade e a velocidade do ar, fixadas sobre um diagrama psicrométrico.

Na Tabela 3 apresentam-se as velocidades do ar recomendadas e os lugares onde devem ser aplicadas.

Velocidade ar	Reacção das pessoas	Aplicação recomendada
0 a 0,08	Queixas por ar estancado	Nenhuma
0,12	Ideal. Favorável	Todas as aplicações
0,12 a 0,25	Favorável com reservas	
0,35	Os papéis esvoaçam	Não aplicar em escritórios
0,40	Máximo para pessoas que se deslocam devagar	Armazéns e estabelecimentos
0,40 a 1,5	Instalações de acondicionamento grandes espaços	Refrigeração localizada

Tabela 3. Efeitos da velocidade do ar

A direcção em que se recebe o ar também influencia a satisfação ou desconforto que produz e considera-se **Boa** se vem de frente para a cara de uma pessoa sentada; **Aceitável** se for recebido por cima da cabeça; e **Não Aceitável** se vier por trás da nuca ou ao nível dos pés.

No que se refere ao ruído, na Tabela 4 apresentam-se valores de velocidades de ar recomendáveis para captar o ar de um espaço, deslocá-lo ou transportá-lo por condutas que o atravessam.

Bocas de captação

m/s

Quartos de residências e hotéis	1,2 a 2
Zonas públicas comerciais:	
A níveis de ocupantes em movimento	3 a 4
Perto de pessoas sentadas	2 a 3
Bocas nas partes de baixo de portas	2 a 3,5
Persianas nas paredes	2,5 a 5
Captações ao nível do tecto	4 y más
Naves industriais	5 a 10
Sistemas de alta velocidade	2 a 4
Bocas de impulsão	m/s
Estúdios de radiodifusão, cabinas de gravação	1,5 a 2,5
Quartos de hotel	2,5 a 3
Residências, salões, restaurantes de luxo	2,5 a 3,5
Igrejas, antecâmaras importantes	2,5 a 3,5
Apartamentos, vivendas	2,5 a 4
Escritórios privados tratados acusticamente	2,5 a 4
Teatros	4
Escritórios privados não tratados	3,5 a 5
Salas de cinema	5
Repartições públicas, restaurantes	5 a 7
Armazéns comerciais, plantas altas	7,5
Sistemas de alta velocidade	3 a 8
Fábricas	5 a 10
Armazéns comerciais, plantas baixas	10

Tabela 4. Velocidade do ar relativamente ao ruído

Conduatas	m/s		
	Caudal máximo	Conduta principal	Ramal secundário
Instalações individualizadas	500 a 1000	1 a 3	1
	1000 a 5000	3 a 5	1 a 3
	5000 a 10000	5 a 7	2 a 4
Instalações centralizadas:			
- Residências, salões, hotéis		3 a 5	1 a 3
- Locais públicos, escritórios		5 a 7	1 a 3
- Espaços industriais		5 a 10	2 a 5
Instalações semi-centralizadas:			
- Locais residenciais:			
Conduatas baixa velocidade (perto das pessoas)		2 a 7	3 a 4
Conduatas velocidade média		5 a 10	3 a 5

Condutas alta velocidade (distantes)	10 a 20	5 a 10
- Locais públicos:		
Condutas velocidade média	5 a 10	3 a 5
Condutas alta velocidade (distantes)	12 a 25	5 a 10

Para se escolher a velocidade mais conveniente nas condutas devem ter-se em conta dois aspectos que são o custo da condução, dimensionada em função do caudal a transportar e por isso com a velocidade mais alta possível, e o ruído permitido que marca um limite nessa velocidade.

3.3 Aplicações industriais

Uma das aplicações da velocidade do ar é no transporte pneumático de poeiras e gorduras assim como na captação dos mesmos. O tipo de campânula, cabina ou boca de captação recomendada foi tratado na **Ficha Técnica "Ventilação 4"**. Campânulas de extracção. As velocidades de ar necessárias para captar o contaminante, gasoso ou sólido, e a corrente para o arrastar pela conduta até à descarga, para além dos valores que surgem na Ficha Técnica mencionada, serão um tema a abordar de forma específica noutra ocasião.

