



VENTILAÇÃO

ENNIO CRUZ DA COSTA

Blucher

Ennio Cruz da Costa

VENTILAÇÃO

Ventilação

© 2005 Ennio Cruz da Costa

1ª edição – 2005

3ª reimpressão – 2016

Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard Blücher Ltda.

FICHA CATALOGRÁFICA

Costa, Ennio Cruz da,

Ventilação/ Ennio Cruz da Costa – São Paulo: Blucher, 2005.

Bibliografia.

ISBN 978-85-212-0353-7

1. Calor – Transmissão 2. Construção 3. Mecânica dos fluidos 4. Termodinâmica 5. Ventilação I. Título.

04-7835

CDD-697.92

Índices para catálogo sistemático:

1. Construções: Ventilação: Tecnologia 697.92

2. Ventilação: Construções: Tecnologia 697.92

CONTEÚDO

SISTEMA DE UNIDADES	XI
SÍMBOLOS ADOTADOS	XIII
1 GENERALIDADES	1
1.1 DEFINIÇÕES.....	1
1.2 MODIFICAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DO AR AMBIENTE	2
1.2.1 Pressão	2
1.2.2 Temperatura, umidade e deslocamento.....	6
Energia e vida	6
Metabolismo humano.....	6
Regulação térmica	8
Temperatura efetiva	11
1.2.3 Oxigênio	14
1.2.4 Contaminantes e suas fontes	14
Partículas sólidas.....	14
Partículas líquidas – <i>mist</i> e <i>fog</i>	14
Gases e vapores.....	14
Organismos vivos.....	15
Fontes de contaminação	15
1.3 QUANTIDADE DE AR NECESSÁRIA À VENTILAÇÃO.....	23
1.3.1 Índice de CO ₂	24
1.3.2 Conceito de razão de ar	31
1.3.3 Temperatura do ambiente.....	32
1.3.4 Índice de renovação do ar	33
1.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO.....	34
2 VENTILAÇÃO NATURAL	35
2.1 VENTILAÇÃO POR AÇÃO DOS VENTOS.....	35
2.2 VENTILAÇÃO POR DIFERENÇAS DE TEMPERATURA.....	38
2.2.1 Cálculo da ventilação por termossifão	43
2.2.2 Termossifão para diluição do calor ambiente.....	44
2.2.3 Termossifão para arrasto do calor das coberturas	49
Transmissão de calor.....	49
Insolação.....	54
Proteção contra insolação	57
Cálculo de aberturas para ventilação de forros.....	61
2.2.4 Termossifão para diluir o calor ambiente e arrastar o calor de insolação da cobertura	65

VIII

3	VENTILAÇÃO MECÂNICA DILUIDORA.....	75
3.1.	GENERALIDADES.....	75
3.1.1	Distribuição para baixo.....	77
3.1.2	Distribuição do ar para baixo e para cima.....	78
3.1.3	Distribuição para cima.....	79
3.1.4	Distribuição cruzada.....	79
3.1.5	Distribuição mista.....	80
3.1.6	Distribuição em minas.....	80
	Exaustão.....	80
	Insuflamento.....	80
	Modo misto.....	80
	Insuflamento pela entrada.....	80
3.2	CÁLCULO DE INSTALAÇÕES DE VENTILAÇÃO MECÂNICA.....	81
3.2.1	Bocas de insuflamento.....	83
3.2.2	Canalizações.....	90
3.2.3	Bocas de saída e tomadas de ar exterior.....	115
3.2.4	Filtros.....	116
3.2.5	Ventiladores.....	117
4	VENTILAÇÃO LOCAL EXAUSTORA.....	139
4.1	GENERALIDADES.....	139
4.2	CAPTORES.....	140
4.2.1	Generalidades.....	140
4.2.2	Tipos de captores.....	141
4.2.3	Velocidade de captura.....	145
4.2.4	Vazão de ar nos captores.....	148
4.2.5	Perda de carga nos captores.....	149
4.3	CANALIZAÇÕES.....	152
4.3.1	Generalidades.....	152
4.3.2	Velocidade do ar nas canalizações.....	153
4.3.3	Cálculo de canalizações de exaustão.....	154
4.4	COLETORES.....	158
4.4.1	Generalidades.....	158
4.4.2	Câmaras gravitacionais.....	159
4.4.3	Câmaras inerciais.....	165
4.4.4	Ciclones.....	167
4.4.5	Coletores úmidos.....	178
	Lavadores de ar.....	178
	Torres com enchimento.....	179
	Ciclones úmidos.....	179
	Rotoclones úmidos.....	180
	Tipo orifício.....	180
	Misturadores tipo ventúri.....	180
	Misturadores mecânicos.....	181
	Lavadores de espuma.....	181
4.4.6	Filtros de tecidos.....	182
4.4.7	Filtros eletrostáticos.....	183
4.4.8	Filtros de materiais absorventes.....	185

4.4.9	Filtros de materiais adsorventes	185
4.4.10	Eliminadores de combustão.....	186
4.4.11	Coletores de condensação	187
4.4.12	Seleção dos coletores.....	188
4.5	VENTILADORES E EJETORES.....	190
5	TRANSPORTE PNEUMÁTICO	213
5.1	GENERALIDADES	213
5.2	ELEMENTOS DE CÁLCULO	216
5.2.1	Relação em peso	216
5.2.2	Velocidades.....	217
5.2.3	Vazão de ar	219
5.2.4	Perdas de carga.....	219
	Entrada do ar no sistema	219
	Inércia do material.....	220
	Desnível	220
	Conduitos de transporte.....	220
	Canalizações de ar puro	221
	Separador	222
	Ventúri	223
5.2.5	Potência da instalação.....	223
5.3	VENTILADORES E COMPRESSORES	224
5.3.1	Ventiladores com pás voltadas para trás.....	224
5.3.2	Ventiladores com pás radiais	224
5.3.3	Compressor de engrenagens.....	225
5.4	VENTÚRI	226
5.5	PROJETO DE INSTALAÇÕES DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO	229
	ÍNDICE DOS EXEMPLOS	249
	ÍNDICE DAS TABELAS	251
	ÍNDICE REMISSIVO.....	253
	BIBLIOGRAFIA	256



GENERALIDADES

1.1 DEFINIÇÕES

Dá-se o nome de *ventilação* ao processo de renovação do ar de um recinto. O objetivo fundamental da ventilação é controlar a pureza e o deslocamento do ar em um ambiente fechado, embora, dentro de certos limites, a substituição do ar também possa controlar a temperatura e a umidade do ambiente.

O ar constitui a atmosfera, massa gasosa que envolve nosso planeta, que tem uma espessura superior a 500 km.

Recebe o nome de *ar respirável* aquele próximo ao nível do mar, numa camada correspondente a 1 ou 2% da espessura total da atmosfera.

A composição média aproximada do ar atmosférico respirável (ar puro), em condições normais, é, em volume (composição volumétrica), importante por caracterizar a proporção das pressões parciais dos diversos componentes da mistura:

- θ N₂, 78,03%;
- θ O₂, 20,99%;
- θ CO₂, 0,03%;
- θ H₂O, 0,47%;
- θ outros gases, 0,48%.

Ou, ainda, em peso (composição gravimétrica):

- g N₂, 76,45%;
- g O₂, 22,72%;
- g CO₂, 0,05%;
- g H₂O, 0,30%;
- g outros gases, 0,49%,

além dos inevitáveis odores, poeiras e bactérias.

O peso da camada de ar, que circunda o globo terrestre, exerce pressão sobre as camadas inferiores da atmosfera, e toma o nome de *pressão atmosférica*. Ao nível do mar, a pressão atmosférica em média normalmente vale 101.322 N/m² (10.332 kgf/m²).

É para a pressão atmosférica ao nível do mar que são definidas as características do ar atmosférico, ditas “normais”, as quais, para a temperatura de referência de 0°C, valem:

- constante, $R = 287,02 \text{ Nm/kg}\cdot\text{K}$ (29,27 m/K);
- massa molecular, $m = 28,96 \text{ kg/mol}$;
- massa específica, $\rho = 1,2928 \text{ kg/m}^3$ (0,1318 utm/m³);
- peso específico, $\gamma = 12,6780 \text{ N/m}^3$ (1,2928 kgf/m³);
- calor específico a pressão constante, $C_p = 1,00902 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ (0,241 kcal/kgf °C);
- calor específico a volume constante, $C_v = 0,72013 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ (0,172 kcal/kgf °C);
- coeficiente de Poisson, $k = C_p/C_v = 1,4$.

O ar contido em recintos fechados destinados à habitação toma o nome de *ar ambiente*. Este, naturalmente, não tem a mesma composição do ar puro, podendo em muitos casos apresentar alterações substanciais que o tornam inadequado para a respiração.

Diz-se que um ambiente é *salubre* quando o ar nele contido apresenta propriedades físicas (pressão, temperatura, umidade e movimentação) e químicas tais que possibilitam favoravelmente a vida em seu meio.

1.2 MODIFICAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS DO AR AMBIENTE

1.2.1 Pressão

Modificações sensíveis da pressão atmosférica normal ocorrem quando nos afastamos verticalmente do nível tomado como referência, que é o nível do mar.

Como a pressão atmosférica é uma decorrência do peso da camada de ar que envolve nosso planeta, ela sofre uma redução ou um aumento quando nos elevamos ou baixamos em relação à superfície da Terra.

A pressão atmosférica em um ponto qualquer (p), com referência à pressão atmosférica normal ($p_0 = 10.332$ mm de coluna de água), pode ser calculada com boa aproximação por meio da antiga *fórmula de Laplace*:

$$\log p \text{ mm c.a.} = \log p_0 \frac{H \text{ km}}{18,4 + 0,067t_m}, \quad [1.1]$$

sendo:

t_m a temperatura média do ar na zona compreendida entre o nível do mar e o ponto considerado; e

H a altura, em quilômetros, do ponto considerado em relação ao nível do mar.

Por outro lado, com a variação da pressão atmosférica segundo a altitude, a temperatura do ar também sofre uma variação de mesmo sentido. Dá-se o nome de *grau aerotérmico* à variação de altitude, em metros, que ocasiona a variação de um grau centígrado (1°C) na temperatura do ar atmosférico ($dH/dT \text{ m}^\circ\text{C}$).

Lembremos que, na atmosfera, a energia envolvida na variação da pressão do ar em relação à altitude deve ser igual ao trabalho da gravidade. Isto é:

- no sistema MKfS, por quilograma-força de peso,

$$\frac{dp}{\gamma} = -dH, \quad [1.2]$$

sendo γ o peso específico;

- ou, no Sistema Internacional (SI), por quilograma de massa,

$$v dp = \frac{dp}{\rho} = -g dH, \quad [1.3]$$

sendo ρ a massa específica e $v (=1/\rho)$ o volume específico.

Assim, podemos calcular tanto a variação da pressão como da temperatura, conforme a altitude, considerando que essas variações se dêem de acordo com uma transformação politrópica de índice n , tal que [para maiores detalhes, ver COSTA (9), Termodinâmica I]:

$$pv^n = \frac{p}{\rho^n} = \text{constante}, \quad [1.4]$$

de modo que podemos escrever:

$$\frac{dp}{\rho} = -g dH = \frac{nR dT}{n-1};$$

(R é a constante dos gases) ou, ainda:

$$\frac{dH}{dT} = -\frac{nR}{g(n-1)}. \quad [1.5]$$

O grau aerotérmico, determinado experimentalmente, vale, com boa aproximação:

$$\frac{dH}{dT} = -154 \text{ m/}^\circ\text{C} (6,5^\circ\text{C/km}),$$

de modo que podemos calcular o expoente politrópico n , que caracteriza a compressão das camadas de ar que constituem a atmosfera. Isto é, segundo a equação anterior:

$$n = 1,236.$$

Fazendo $n=1,236$ na Eq. [1.4],

$$\frac{p}{\rho^n} = \frac{p}{\rho^{1,236}} = \frac{p_0}{\rho_0^{1,236}} = \text{constante},$$

podemos calcular:

$$\rho = \left(\frac{\rho_0^{1,236}}{p_0} p \right)^{\frac{1}{1,236}}.$$

Esse valor, substituído na Eq. [1.3], nos fornece:

$$\left(\frac{p_0}{\rho_0^{1,236} p} \right)^{\frac{1}{1,236}} dp = -g dH,$$

equação cuja integral, entre os limites p_0, H_0 (correspondentes ao nível do mar) e p, H (correspondentes a uma altitude qualquer), fornece a expressão:

$$p = p_0 \left[1 - 0,191g \frac{\rho_0}{p_0} (H - H_0) \right]^{5,2356}, \quad [1.6]$$

que, para as condições $t = 15^\circ\text{C}$, $p_0 = 101.322 \text{ N/m}^2$, $\rho_0 = 1,226 \text{ kg/m}^3$ e nível do mar ($H_0 = 0 \text{ m}$), reproduz com boa aproximação os valores que constam da atmosfera padrão da Agência Espacial Norte-Americana, Nasa (Tab. 1.1).

Quando a pressão atmosférica atinge valores muito inferiores à normal ($101.322 \text{ N/m}^2 = 10.332 \text{ kgf/m}^2$), a pressão parcial do oxigênio do ar (que é diretamente proporcional à pressão total da mistura e à componente volumétrica do oxigênio, isto é, $p_{O_2} = \theta_{O_2} p$) torna-se insuficiente para oxigenar a hemoglobina sanguínea nos pulmões. A respiração torna-se difícil e começam a se manifestar os transtornos conhecidos como “mal-das-montanhas”.

Assim, a cerca de 3.300 m de altitude, a pressão atmosférica cai para dois terços de seu valor ao nível do mar, e pessoas não-habitadas a essas alturas podem se sentir mal.

TABELA 1.1
Atmosfera padrão segundo a Nasa

H (m)	T (°C)	P (N/m ²)	P (kgf/m ²)	P (mm Hg)	ρ (kg/m ³)	C_{som} (m/s)
-1.000	21,5	113.934	11.618	854,5	1,3474	344,2
0	15,0	101.322	10.332	760,0	1,2249	340,4
1.000	8,5	89.878	9.165	674,1	1,1121	336,6
2.000	2,0	79.493	8.106	596,3	1,0062	332,7
3.000	-4,5	70.108	7.149	525,9	0,9091	328,7
4.000	-11,0	61.645	6.286	462,3	0,8189	324,7
5.000	-17,5	54.015	5.508	405,2	0,7365	320,7
6.000	-24,0	47.180	4.811	353,9	0,6600	316,6
7.000	-30,5	41.060	4.187	308,0	0,5894	312,4
8.000	-37,0	35.598	3.630	267,0	0,5256	308,2
9.000	-43,5	30.744	3.135	230,6	0,4668	303,9
10.000	-50,0	26.439	2.696	198,3	0,4129	299,6
11.000	-56,5	22.634	2.308	169,7	0,3638	295,2

Acima de 11.000 m, a temperatura da atmosfera se mantém praticamente constante, até altitudes superiores a 20 km.

Casos especiais de variação da pressão do ar que respiramos são aqueles em que a atividade humana transcorre com auxílio de ar comprimido (atividades hiperbáricas), como as realizadas em câmaras pressurizadas ou com equipamentos de mergulho. Em tais situações, embora cuidados especiais devam ser tomados com relação à qualidade do ar, que deve ser puro e conter um mínimo de 20% de oxigênio em volume, o aspecto mais importante diz respeito à variação da pressão.

Desse modo, o limite máximo de 333.426 N/m² (3,4 kgf/cm², ou seja, 34 m de coluna de água) para a pressão deve ser respeitado. A compressão deve ser progressiva e não exceder 68.647 N/m² (0,7 kgf/cm², ou seja, 7 m de coluna de água) por minuto, e não se realizará mais do que uma compressão a cada 24 horas. Maiores cuidados são exigidos pela decompressão, que deve ser lenta, sem jamais exceder 39.227 N/m² (0,4 kgf/cm², ou seja, 4 m de coluna de água) por minuto.

1.2.2 Temperatura, umidade e deslocamento

Esses três fatores do meio externo são os responsáveis pelas trocas de calor efetuadas pelo corpo humano com o ambiente, e somente em conjunto podem caracterizar a verdadeira receptividade térmica deste, conforme analisaremos a seguir.

Energia e vida

Os vegetais transformam a energia solar em energia química latente (fotossíntese), a qual é facilmente assimilada pelos organismos animais. A matéria viva (protoplasma) é, portanto, um reservatório de energia química latente que, sob certos efeitos excitantes, é libertada sob a forma de energia cinética (mecânica, calorífica ou mesmo elétrica ou luminosa), verificando-se nesse processo a perfeita equivalência entre a energia química consumida e a soma das energias liberadas.

Dessa forma, a vida vegetal e a vida animal se completam, estabelecendo-se entre a matéria viva e o meio externo uma verdadeira circulação da energia solar, a qual é, assim, a responsável por toda a dinâmica da vida terrestre

Seja qual for o modo pelo qual os organismos animais transformam a energia química dos alimentos, o que sabemos ao certo é que tudo se passa como se houvesse a combustão das substâncias ingeridas, e que o resultado final é a excreção dos produtos da oxidação e, no domínio energético, uma produção de trabalho e de calor. Resulta daí que os organismos animais são verdadeiras fontes de calor, necessitando, para desenvolver sua atividade vital, um desnível térmico em relação ao meio externo, como qualquer máquina térmica.

Metabolismo humano

Ao conjunto de transformações de matéria e energia que se relacionam com os processos vitais, dá-se a designação geral de *metabolismo*.

A energia produzida pelo organismo humano na unidade de tempo, a qual pode ser avaliada facilmente em função do oxigênio consumido na respiração ($1 \text{ kg O}_2 \rightarrow 13.649 \text{ kJ} = 3.260 \text{ kcal}$), depende de vários fatores:

- natureza, constituição, raça, sexo, idade, massa, altura;
- clima, habitação, vestuário;
- saúde, nutrição, atividade.

A energia mínima consumida pelo organismo humano por metro quadrado de superfície do corpo - obtida com o indivíduo em jejum a 12 h, deitado, em repouso absoluto, normalmente vestido, sem agasalhos, num ambiente a uma temperatura tal que não sinta frio nem calor - recebe o nome de *metabolismo básico*.

O metabolismo básico corresponde às despesas do serviço fisiológico puro ou despesas de fundo, e vale em média, para um indivíduo adulto, de 150 a 167,5 $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h}$ (36 a 40 $\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h}$). Nessas condições, calculando a superfície do corpo humano por meio da fórmula prática de DUBOIS:

$$S_{\text{m}^2} = 0,203 G_{\text{kg}}^{0,4255} \cdot H_{\text{m}}^{0,7246}, \quad [1.7]$$

Modificações físicas e químicas do ar ambiente

podemos considerar, para um indivíduo normal, de 1,80 m de altura e 75 kg de massa, com uma superfície corporal de 1,98 m², um consumo de energia mínimo entre 300 e 330 kJ/h (de 70 a 80 kcal/h), ou seja, cerca de 4,2 kJ/h (1 kcal/h) para cada quilograma de massa.

Além disso, o metabolismo humano, em kcal/h•kg, varia:

- Com a idade: é o dobro para uma criança de 5 anos, mantendo-se praticamente constante dos 20 aos 40 anos.
- Durante a digestão: sofre um acréscimo apreciável, dependendo da substância ingerida (é pequeno para os açúcares e gorduras, e elevado para as proteínas).
- Nos estados de desnutrição: diminui.
- Nos estados patológicos: de uma maneira geral aumenta, o que constitui indicação clínica valiosa para a medicina.
- Em condições ambientes adversas, tanto de frio como de calor: aumenta em virtude da entrada em operação do mecanismo de regulação térmica do organismo.
- Com a atividade: aumenta com qualquer esforço físico (trabalho mecânico), já que os fisiologistas são acordes em que o trabalho intelectual não influi praticamente sobre o consumo da energia.

Assim, no Brasil, a *Consolidação das leis do trabalho* (Título II, Capítulo V, Normas Regulamentadoras NR-15, aprovadas em 08/06/78) estabelece (Anexo 3, Quadro 3) as taxas de metabolismo a serem consideradas por tipo de atividade e por pessoa, que são as reproduzidas na Tab. 1.2.

TABELA 1.2 Taxas de metabolismo humano, segundo a ABNT	
Tipo de atividade	kcal/h
• Em repouso Sentado	100
• Trabalho leve Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (datilografia) Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (dirigir) De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com os braços	125 150 150
• Trabalho moderado Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com movimentação De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com movimentação Em movimento, trabalho moderado de empurrar ou levantar	180 175 220 300
• Trabalho pesado Trabalho intermitente de levantar; ou arrastar pesos (remoção com pá) Trabalho fatigante	440 550

Regulação térmica

Uma vez que não só a atividade dos organismos animais (e, portanto, suas trocas de calor), mas também as condições climáticas do meio externo são altamente variáveis, é interessante analisar o mecanismo pelo qual eles conseguem manter o equilíbrio energético de seus metabolismos praticamente independente tanto de sua própria atividade como da temperatura externa.

Atendendo à adaptabilidade dos animais às condições do meio em que vivem, eles podem ser classificados quanto à temperatura corporal em:

- animais de temperatura variável (*poikilotermos*), impropriamente chamados de “animais de sangue frio” (peixes, répteis, etc.), nos quais a temperatura do corpo é sempre levemente superior à do meio ambiente, cujas alterações eles acompanham integralmente;
- animais de temperatura constante (*homeotermos*), impropriamente chamados de “animais de sangue quente” (mamíferos, aves, etc.), nos quais a temperatura do corpo é bem mais elevada do que a do meio ambiente e independe das variações deste.

O organismo humano pertence à segunda categoria, visto que sua temperatura corpórea — praticamente independente de raça, idade, clima e da própria atividade — é da ordem de 37°C.

Nessas condições, as trocas de calor efetuadas pelo corpo humano com o exterior não podem ser feitas exclusivamente na forma de calor sensível; transferido ao meio por condutividade externa (condutividade, convecção e radiação) e pelo aquecimento dos alimentos, bebidas e ar inspirado, o que depende unicamente da diferença de temperatura entre o corpo e o exterior:

$$Q_s = AS(t_c - t_e), \quad [1.8]$$

em que A é um coeficiente que depende da temperatura e da velocidade do ar, da natureza, da cor da pele e do vestuário.

Para temperaturas entre 18 e 30°C, podemos tomar, com boa aproximação:

$$A = k(1 + 0,13 \text{ cm/s}) \quad [1.9]$$

onde k , para pessoas de pele branca, vestidas normalmente, vale de 8,4 a 12,6 kJ/h•m²•°C (de 2 a 3 kcal/h•m²•°C). Para pessoas agasalhadas, o coeficiente A independe praticamente da velocidade do ar, podendo seu valor ser inferior a 4,2 kJ/h•m²•°C (1 kcal/h•m²•°C).

Afortunadamente, além do calor sensível equacionado em [1.8], o organismo humano é capaz de liberar quantidades apreciáveis de calor na forma latente, pelas funções de exalação (vapor de água expirado pelos pulmões) e exsudação (evaporação do suor na superfície do corpo).

Essa parcela de calor, entretanto, depende essencialmente da disponibilidade de água a evaporar (que é controlada pelo mecanismo de regulação térmica do organismo) e da possibilidade de evaporação, a qual depende da diferença entre as pressões de saturação

Modificações físicas e químicas do ar ambiente

da água que está à temperatura do corpo e a pressão parcial do vapor de água contido no ar [para maiores detalhes sobre o ar úmido, ver COSTA (4)]:

$$Q_L = Br\xi S(p_s - p_v) \text{ kcal/h}, \quad [1.10]$$

sendo:

- B um coeficiente de limitação da possibilidade de evaporação que varia, teoricamente, de 0 a 1, definido pelo vestuário e pelo mecanismo de regulação térmica do organismo;
- r o calor latente de vaporização da água (cerca de 600 kcal/kg);
- ξ o coeficiente de evaporação, que depende da velocidade do ar;
- S a superfície do corpo humano (em m^2);
- p_s a pressão de saturação da água (suor) à temperatura do corpo dada pela carta psicrométrica (para a temperatura de 37°C , ela vale 47 mm Hg); e
- p_v a pressão parcial do vapor de água no ar, dada também pela carta psicrométrica, em mmHg, em função da temperatura e da umidade relativa do ar.

Adotando a medida da pressão em milímetros de mercúrio (mm Hg), como é usual na técnica do ar úmido, ξ nos será dado por:

$$\xi = 0,0229 + 0,0174 \text{ cm/s}. \quad [1.11]$$

Dispondo assim de dois meios para transmitir seu calor para o exterior, o organismo humano pode conseguir seu equilíbrio homeotérmico, mesmo sob condições excepcionais tanto de seu metabolismo como do meio ambiente, como está esclarecido nos exemplos a seguir, onde foram usadas as unidades usuais, na técnica, quilocaloria (kcal) e mm Hg.

EXEMPLO 1.1

Calcular a quantidade de calor máxima que um indivíduo normalmente vestido, de $1,8 \text{ m}^2$ de superfície corporal, pode trocar com o ar ambiente em repouso, nas condições:

$$t = 26,5^\circ\text{C} \quad \text{e} \quad \varphi = 52\%.$$

Solução

A quantidade de calor sensível trocado será dada pela Eq. [1.9]:

$$Q_s = AS(t_c - t_e) = 3 \cdot 1,8(37 - 26,5) = 56,5 \text{ kcal/h}.$$

E o calor latente máximo compatível com as condições do meio será dado pela Eq. [1.10]:

$$Q_L = B\xi r S(p_s - p_v) = 1 \times 600 \times 0,0229 \times 1,8(47 - 14) = 816 \text{ kcal/h}.$$

Podemos concluir que, no caso, um indivíduo em atividade leve ($Q = 150 \text{ kcal/h}$, de acordo com a Tab. 1.2) aproveitaria para o metabolismo apenas 11,5% de sua possibilidade de evaporação ($B = 0,115$), o que resulta numa situação bastante confortável.

EXEMPLO 1.2

Que quantidades de calor um indivíduo, normalmente vestido, com $1,80 \text{ m}^2$ de superfície corporal, pode trocar com o ar ambiente, em repouso, a 37°C ou a 70°C ?

Solução

1. As trocas de calor que o organismo humano pode efetuar com o ambiente a 37°C e $\varphi = 100\%$ são nulas, o que nos permite afirmar que tais condições são impróprias para a vida humana.
2. Já as trocas máximas de calor que o organismo humano poderia efetuar com o ar em repouso, a 70°C e $\varphi = 10\%$, seriam:

$$Q_s = 3 \times 1,8 \times (37 - 70) = -149 \text{ kcal/h;}$$

$$Q_L = 1 \times 0,0229 \times 600 \times 1,8 \times (47 - 30) = 422 \text{ kcal/h;}$$

$$Q_{\text{total}} = 422 - 149 = 273 \text{ kcal/h.}$$

Podemos concluir que o ambiente em consideração possibilitaria a vida humana mesmo sob atividade apreciável (classificação conforme a Tab. 1.2, de trabalho em movimento moderado), embora com um grande desconforto, pois aproveitaria toda sua possibilidade de evaporação ($B = 1$).

Com base nas considerações e nos exemplos anteriores, podemos facilmente compreender o mecanismo pelo qual, com as modificações naturais das condições ambientes e do metabolismo que influem sobre as suas trocas de calor, consegue o organismo humano automaticamente por meio do sistema nervoso muito sensível às influências do meio ambiente, efetuar sua regulação térmica. Na luta contra o frio, essa auto-regulação é obtida por dois processos, a regulação termoquímica e a regulação termofísica.

A *regulação termoquímica* comanda a produção interna de calor, fenômeno no qual provavelmente o fígado desempenhe um papel importante. Assim, o organismo humano é capaz de acomodar automaticamente a produção interna de calor, mantendo sua temperatura constante, independentemente da temperatura do ambiente, entre os limites correspondentes a um metabolismo básico e um metabolismo máximo, dito de *ápice*, e que é cerca de cinco vezes superior ao básico.

Essa regulação, que naturalmente exige grande consumo de alimentos, por si só, já daria ao organismo uma extraordinária capacidade de luta contra o frio, a qual com treinamento adequado, permite sua adaptação a ambientes com temperaturas inferiores a -40°C .

A *regulação termofísica* consiste na redução das perdas de calor, a qual é conseguida por constrição vascular cutânea. Esta reduz a umidade do tecido epitelial, diminuindo sua condutibilidade, que cai para metade quando a temperatura exterior desce de 30 para 5°C .

Na luta contra o calor, a regulação térmica é apenas de natureza física, já que, ao elevar-se a temperatura, a produção interna de calor, em vez de diminuir, aumenta, o que se explica pela entrada em ação do sistema de regulação térmica, que também consome energia.

Assim, para temperaturas ambientes elevadas, a transmissão de calor, que tende a diminuir, é compensada, em pequena parte pela redução da resistência térmica da pele, cuja circulação sanguínea se ativa; e em grande parte pelo aparecimento do suor, que ao evaporar arrasta grandes quantidades de calor.

Temperatura efetiva

Embora o equilíbrio homeotérmico possa ser obtido para várias condições de receptividade térmica do ambiente, nem sempre estas oferecem a mesma sensação de bem-estar ao organismo humano. Para caracterizar a sensação de maior ou menor bem-estar ocasionada por um ambiente, em função de sua temperatura, umidade e deslocamento do ar, adota-se o conceito de temperatura efetiva.

A *temperatura efetiva* de um ambiente qualquer pode ser definida como aquela que, em um recinto contendo ar praticamente em repouso (velocidades entre 0,1 e 0,15 m/s) e completamente saturado de umidade, proporciona a mesma sensação de frio ou calor que o ambiente em consideração.

O gráfico da Fig. 1.1, determinado experimentalmente com o auxílio de um grande número de pessoas, fornece as temperaturas efetivas correspondentes a diversas condições ambientais, caracterizadas pelas temperaturas t_s e t_u e o deslocamento do ar, para pessoas normalmente vestidas e em repouso (ASHRAE).

Experiências mais recentes sobre conforto térmico [GAGGE (6) e FANGER (5)] permitiram incluir na avaliação da temperatura efetiva a influência das trocas de calor por radiação, das vestimentas e também da atividade.

- Trocas de calor por radiação

Da influência das trocas de calor por radiação com as paredes que envolvem o ambiente decorre a definição de uma temperatura mais significativa, caracterizando a noção de conforto do ambiente, que é a *temperatura equivalente em meio seco* (TEMS):

$$\text{TEMS} = \frac{\alpha_i t_g + \alpha_c t_s}{\alpha_i + \alpha_c}, \quad [1.12]$$

onde:

t_g é a temperatura radiante média medida por um termômetro de globo (termômetro seco, no interior de uma esfera oca com diâmetro de ~10 cm, pintada de preto);

t_s a temperatura de bulbo seco do ambiente;

α_i o coeficiente de transmissão de calor por radiação;

α_c o coeficiente de transmissão de calor por convecção;

- Influência da vestimenta

Definida por sua resistência térmica, cuja unidade é o CLO:

$$1 \text{ CLO} = 0,18 \text{ m}^2\text{h}\cdot^\circ\text{C}/\text{kcal} = 0,043 \text{ m}^2\text{h}\cdot^\circ\text{C}/\text{kJ} = 0,1548 \text{ m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}.$$

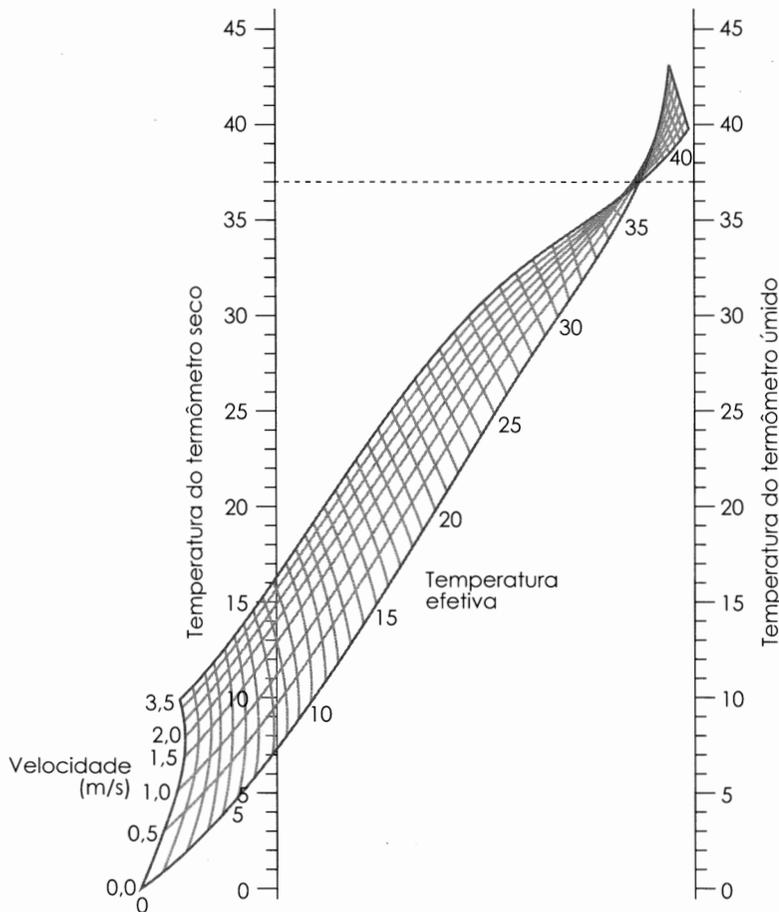


FIGURA 1.1 Temperaturas efetivas correspondentes a diversas condições ambientais.

- Influência da atividade

Definida em função do metabolismo, cuja unidade é fixada no MET:

$$1 \text{ MET} = 50 \text{ kcal/m}^2\text{h} = 58,2 \text{ W/m}^2.$$

Nessas condições, foi possível definir uma nova temperatura efetiva, que por comodidade foi vinculada à umidade relativa de 50% (próxima à de conforto): a *temperatura efetiva de um ambiente qualquer*, onde são definidas a temperatura equivalente em meio seco TEMS, a umidade, a velocidade de deslocamento do ar, o tipo de atividade e a vestimenta das pessoas. Trata-se da temperatura uniforme de um ambiente (umidade relativa de 50% e ar em repouso), em que uma pessoa, nas mesmas condições de vestiário e atividade, teria a mesma sensação de conforto térmico que o ambiente em consideração.

Tal conceituação possibilitou a publicação, em 1981, pela ASHRAE (normas 55-74), de cartas de conforto para as mais diversas condições de vestuário e de atividade, importantes para o projeto de instalações de ar condicionado, onde as condições de conforto são primordiais.

Modificações físicas e químicas do ar ambiente

Por outro lado a legislação brasileira sobre segurança e medicina do trabalho, nas suas normas regulamentadoras NR-15, Anexo-3, estabelece os limites de tolerância para exposição ao calor, através do *índice de bulbo úmido, termômetro de globo*, IBUTG, definido pelas equações que seguem:

- Ambientes internos ou externos sem carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7t_{\text{un}} + 0,3t_g.$$

- Ambientes externos com carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7t_{\text{un}} + 0,1t_s + 0,2t_g,$$

onde:

t_{un} é a temperatura de bulbo úmido natural;

t_g a temperatura de globo; e

t_s a temperatura de bulbo seco.

Nessas condições, os limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no mesmo local de trabalho, são dados pela Tab. 1.3 em IBUTG:

Regime de trabalho Intermitente, com descanso por hora no próprio local	Atividade Leve	Atividade Moderada	Atividade Pesada
Trabalho contínuo	30,0	26,7	25,0
45 min de trabalho 15 min de descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 min de trabalho 30 min de descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 min de trabalho 45 min de descanso	> 32,2	> 31,1	> 30,0

Por outro lado, os limites de tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso em local mais ameno, são dados pela Tab. 1.4, em função do metabolismo (M).

M (kcal/h)	Máximo IBUTG	M (kcal/h)	Máximo IBUTG
175	30,5	350	26,5
200	30,0	400	26,0
250	28,5	450	25,5
300	27,5	500	25,0

Tanto M como IBUTG são as taxas de metabolismo e de índice de bulbo úmido-temperatura de globo, médias ponderadas ao longo das horas de trabalho e descanso. As taxas de metabolismo de trabalho e descanso devem ser as que constam da Tab. 1.2.

1.2.3 Oxigênio

Nem todo o oxigênio que inspiramos é aproveitado para a respiração, pois o ar expirado contém ainda cerca de 15,4% de oxigênio em volume ($p_{O_2} = 0,154p$). Podemos então tomar 14% (cerca de 2/3 da porcentagem normal) como o índice mínimo de oxigênio aconselhável para o ar destinado à respiração.

Experiências têm demonstrado que, ao nível do mar, para uma porcentagem de oxigênio de 10% ocorre a asfixia e, para 7%, a morte.

1.2.4 Contaminantes e suas fontes

Os *contaminantes* do ar podem ser classificados em partículas sólidas, líquidas, gases e vapores, e organismos vivos.

Partículas sólidas

Partículas sólidas são as poeiras, as fumaças e os fumos.

As *poeiras* são partículas sólidas inferiores a 100 μm , projetadas no ar por ação mecânica dos ventos e de processos industriais.

As *fumaças*, por sua vez, são partículas sólidas finíssimas, resultantes da combustão incompleta dos combustíveis que contêm carbono.

Já os *fumos* são partículas sólidas resultantes da oxidação de vapores (como, por exemplo, o óxido de chumbo (PbO), que se forma sobre o chumbo em fusão).

Partículas líquidas - mist e fog

O *mist* são partículas líquidas produzidas por borrifadores, atomizadores, etc. O espirro de uma pessoa é acompanhado da emissão de partículas líquidas que podem ser classificadas como mist.

Já o *fog* é formado por partículas líquidas de menor tamanho, resultantes da condensação de vapores como, por exemplo, a cerração, o orvalho, etc.

Gases e vapores

Quando estranhos à composição normal do ar, os gases e vapores são considerados contaminantes. Nessa condição estão incluídos, o dióxido de carbono (CO_2), quando em excesso, gases como o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO_2), o metano (CH_4), gases industriais diversos, miasmas, odores de uma maneira geral, grisú, etc.

Organismos vivos

Nessa categoria de contaminante estão o pólen dos vegetais (5 a 150 μm), os esporos dos fungos (1 a 10 μm) e as bactérias mais diversas (0,2 a 5 μm).

Fontes de contaminação

As fontes de contaminação do ar são variadas e inúmeras: pessoas, animais, queima (combustão) de materiais, motores a explosão, gases, vapores, minas, etc.

As *pessoas e animais*, além de reduzir a porcentagem de oxigênio (O_2), aumentando a porcentagem de CO_2 e vapor d água (H_2O), exalam substâncias nauseabundas (miasmas) e microorganismos.

As substâncias nauseabundas emitidas pelo corpo humano, em parte pela respiração e em parte através da pele, são constituídas de compostos orgânicos complexos, cuja presença, embora perceptível ao olfato, é de difícil verificação por análises diretas. Por essa razão, nas contaminações do ar exclusivamente por respiração, é usual a sua verificação indireta pela porcentagem de CO_2 .

A *combustão* para fins de aquecimento ou iluminação consome o oxigênio do ar e produz gases nocivos.

Os *motores de combustão interna*, de veículos e indústrias, igualmente, consomem o oxigênio do ar e lançam no ambiente os gases e vapores de seu escapamento.

Os *gases, vapores* e mesmo as *partículas* produzidas pelas indústrias, pela rodagem de veículos e outras atividades humanas, constituem na maioria das vezes elementos altamente nocivos à saúde.

Nas *minas*, as partículas de carvão e de outros minerais, os produtos da decomposição de rochas cuja natureza química muitas vezes dá origem a gases deletérios (rochas mercúrias, betuminosas, arseniacais, etc.), os gases provenientes das explosões e mesmo gases explosivos como o grisú.

A caracterização da contaminação normalmente é feita por avaliação do contaminante, de uma das seguintes maneiras:

- em partes de contaminante por milhão de partes (ppm) do ar contaminado em volume, isto é, $10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3$;
- em porcentagem de volume - 1% em volume = 10.000 ppm;
- em gramas de contaminante por metro cúbico (g/m^3) de ar a 25°C e 760 mm Hg;
- em miligramas de contaminante por metro cúbico (mg/m^3) de ar a 25°C e 760 mm Hg;
- em milhões de partículas contaminantes (sólidos) por metro cúbico (mppmc) de ar a 25°C e 760 mm Hg.

Quanto aos limites higiênicos admissíveis para os diversos contaminantes, depende fundamentalmente, do ambiente considerado, da natureza do contaminante e do tempo de exposição das pessoas a ele.

Quanto ao CO₂, embora não seja um gás tóxico, além de ser talvez o maior responsável pelo efeito estufa em nosso planeta, a sua presença no ar indica redução do oxigênio e mesmo a presença de miasma. Assim, admitindo-se que a porcentagem de CO₂ no ar cresça proporcionalmente à porcentagem de miasma, aceita-se universalmente 0,1% como índice máximo aconselhável para o anidrido carbônico ou dióxido de carbono contido no ar de ambientes destinados unicamente à habitação.

Na realidade o organismo humano suporta quantidades elevadas de CO₂, sucumbindo mais pela falta de oxigênio que ocasiona (anorexia). Em ambientes destinados unicamente à habitação, para uma porcentagem de CO₂ igual a 10%, verifica-se a asfixia e, para cerca de 15%, a morte.

A legislação brasileira relativa à segurança e medicina do trabalho (*Consolidação das leis do trabalho I*, Título II, Capítulo V - normas regulamentadoras NR-15, Anexo 11, de 08/06/78) estabelece, para uma atividade de 48 h semanais, os limites de tolerância de agentes químicos industriais em ppm e mg/m³ (Tab. 1.5).

Por outro lado, registramos, da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (1966), os valores provisórios dos limites de tolerância dos contaminantes que não constavam da legislação brasileira até 1994 (Tab. 1.5a), assim como os limites de contaminação das poeiras minerais, em milhões de partículas por metro cúbico de ar (mppmc), a 25°C e 760 mm Hg, que constam da Tab. 1.6.

TABELA 1.5		
Limites de tolerância a contaminantes		
Agente químico	Limites de tolerância	
	(ppm)	(mg/m ³)
Acetaldeído	78	140
Acetato de éter monoetílico de etileno-glicol (pele)	78	420
Acetato de etila	310	1.090
Acetato de 2-etoxi-etila	78	420
Acetileno	Asfixiante	
Aceta	780	1.870
Acetitrila	30	55
Ácido acético	8	20
Ácido cianídrico	8	9
Ácido clorídrico	4	5,5
Ácido crômico (névoa)	-	0,04
Ácido fluorídrico	2,5	1,5
Ácido fórmico	4	7
Acrilato de metila (pele)	8	27
Acrilonitrila (pele)	16	36
Álcool isoamílico	78	280

TABELA 1.5
Limites de tolerância a contaminantes (continuação)

Agente químico	Limites de tolerância	
	(ppm)	(mg/m ³)
Álcool <i>n</i> -butílico-(pele)	40	115
Álcool isobutílico	40	115
Álcool sec-butílico (2-butanol)	115	350
Álcool terc-butílico	78	235
Álcool etílico	780	1.480
Álcool furfurílico (pele)	4	15,5
Álcool metílico (pele)	156	200
Álcool <i>n</i> -propílico (pele)	156	390
Álcool isopropílico (pele)	310	365
Amônia	20	14
Anilina-(pele)	4	15
Argônio	Asfixiante	
Arsenamina	0,04	0,16
Brometo de etila	156	695
Brometo de metila (pele)	12	47
Bromofórmio-(pele)	0,4	4
1,3-Butadieno	780	1.720
<i>n</i> -Butano	470	1090
<i>n</i> -Butilamina (pele)	4	12
Butil-cellosolve (pele)	39	190
<i>n</i> -Butil-mercaptana	0,4	1,2
Chumbo	-	0,1
Cianogênio	8	16
Ciclo-hexano	235	820
Ciclo-hexanol	40	160
Ciclo-hexilamina-(pele)	8	32
Cloreto de etila	780	2.030
Cloreto de metila	78	165
Cloreto de metileno	156	560
Cloreto de vinila (pele)	156	398
Cloreto de vinidileno	8	31
Cloro	0,8	2,3
Cloro-benzeno	59	275

TABELA 1.5 Limites de tolerância a contaminantes (continuação)		
Agente químico	Limites de tolerância	
	(ppm)	(mg/m ³)
Cloro-bromometano	156	820
Clorodifluormetano (Freon 22)	760	2.730
Clorofórmio	20	94
1-Cloro-1-nitropropano	16	78
Cloroprene-(pele)	20	70
Cumeno (pele)	39	190
Decaborano (pele)	0,04	0,25
Demet (pele)	0,008	0,08
Diborano	0,08	0,08
1,2-Dibromoetano (pele)	16	110
0-Diclorobenzeno	39	235
Diclorodifluormetano (Freon 12)	780	3.860
1,1-Dicloroetano	156	640
1,2-Dicloroetano	39	156
1,2-Dicloroetileno	155	615
1,1-Dicloro-1-nitroetano	8	47
1,2-Dicloropropano	59	275
Diclorotetrafluoretano (Freon 114)	780	5.460
Diethylamina	20	59
2,4-Diisocianato de tolueno (TDI)	0,016	0,11
Diisopropilamina-(pele)	4	16
Dimetilacetamida	8	28
Dimetilamina-(pele)	8	14
Dimetilformamida	8	24
1,1-Dimetil-hidrazina (pele)	0,4	0,8
Dióxido de carbono	3.900	7.020
Dióxido de cloro	0,08	0,25
Dióxido de enxofre	4	10
Dióxido de nitrogênio	4	7
Dissulfeto de carbono-(pele)	16	47
Estibina	0,08	0,4
Estireno	78	328
Etano	Asfixiante	

TABELA 1.5
Limites de tolerância a contaminantes (continuação)

Agente químico	Limites de tolerância	
	(ppm)	(mg/m ³)
Éter dicloroetílico (pele)	4	24
Éteretílico	310	940
Etilamina	8	14
Etilbenzeno	78	340
Etileno	Asfixiante	
Etilenoimina (pele)	0,4	0,8
Etil-mercaptana	0,4	0,8
n-Etil-morfolina (pele)	16	74
2-Etoxi-etanol (pele)	78	290
Fenol (pele)	4	15
Fluortriclorometano (Freon 11)	780	4.370
Formaldeído (formol)	1,6	2,3
Fosfamina	0,23	0,3
Fosgênio	0,08	0,3
Gás sulfídrico	8	12
Hélio	Asfixiante	
Hidrazina (pele)	0,08	0,08
Hidrogênio	Asfixiante	
Isopropilamina	4	9,5
Mercúrio	-	0,04
Metacrilato de metila	78	320
Metano	Asfixiante	
Metilamina	8	9,5
Metil-cellosolve (pele)	20	60
Metil-ciclo-hexanol	39	180
Metil-clorofórmio	275	1.480
Metil-demet (pele)	-	0,4
Metil-etil-ceta	155	460
Metil-isobutilcarbinol-(pele)	20	78
Metil-mercaptana (metanotiol)	0,4	0,8
Monometil-hidrazina-(pele)	0,16	0,27
Monóxido de carbono	39	43
Negro-de-fumo	-	3,5

TABELA 1.5
Limites de tolerância a contaminantes (continuação)

Agente químico	Limites de tolerância	
	(ppm)	(mg/m ³)
Neóbio	Asfixiante	
Níquel tetracarbonila	0,04	0,28
Nitrato de <i>n</i> -propila	20	85
Nitroetano	78	245
Nitrometano	78	195
1-Nitropropano	20	70
2-Nitropropano	20	70
Óxido de etileno	39	70
Óxido nítrico	20	23
Óxido nitroso	Asfixiante	
Ozona	0,08	0,16
Pentaborato	0,004	0,008
<i>n</i> -Pentano (pele)	470	1.400
Percloroetileno	78	525
Piridina	4	12
<i>n</i> -Propano	Asfixiante	
Propileno (pele)	Asfixiante	
Propileno imina (pele)	1,6	4
Sulfato de dimetila	0,08	0,4
1,1,2,2-Tetrabromoetano (pele)	0,8	11
Tetracloroeto de carbono	8	50
Tetracloroetano (pele)	4	27
Tetra-hidrofurano	156	460
Tolueno (toluol)	78	290
Tricloroetileno	8	35
Triclorometano	78	420
1,1,3-Tricloropropano	40	235
1,1,2-Tricloro-1,2,2-trifluoreto (Freon 113)	780	5.930
Trietilamina	20	78
Trifluormonobromometano	780	4.760
Xileno (xilol) (pele)	78	340

TABELA 1.5a
 Limites de tolerância a contaminantes (Valores provisórios)

Contaminantes	Limites de tolerância	
	(ppm)	(mg/m ³)
Acetato de amila	125	650
Acetato de <i>n</i> -butila	150	710
Acetato de butila sec.	200	950
Acetato de hexila séc.	50	300
Acetato de isoamila	100	525
Acetato de isobutila	150	700
Acetato de isopropila	250	950
Ácido nítrico	2	5
Ácido oxálico	-	1
Alcatrão, produtos voláteis	-	0,2
Algodão, pó de	-	1
Amino-piridina	0,5	2
Anidrido ftálico	2	12
Anidrido maléico	-	8
Anisidina (pele)	-	0,5
Azinfos, metil (pele)	-	0,2
Benzoíla, peróxido de	-	5
Cádmio	-	0,2
Carboril (sevin)	-	5
Chumbo tetraetila (pele)	-	0,075
Ciclopentadieno	75	200
Compostos de selênio	-	0,2
Crotaldeído	2	6
Diazometano	0,2	0,4
Dibutil-fosfato	2	10
Dibutilftalato	-	10
1,3-Dicloro-5,5-dimetil-hidantoin	-	0,2
Dimetilamino-etanol	10	50
Dimetil-1,2-dibromo-2,2-dicloroetilfosfato	-	3
Di-sec-octilftalato	-	5
Éter fenílico	1	7
Etil-séc-amil-ceta	25	130

TABELA 1.5a		
Limites de tolerância a contaminantes (Valores provisórios) (continuação)		
Contaminantes	Limites de tolerância	
	(ppm)	(mg/m³)
Etil-butil-ceta	50	230
p-Fenileno-diamina (pele)	-	0,1
Ferro, óxido de – fumos	-	10
Fibras de vidro	-	5
2-Heptanona (metil-n-amil-ceta)	100	475
3-Heptanona (etil-butil-ceta)	50	230
Hexacloroetano-(pele)	1	10
Hexafluoreto de selênio	0,05	0,4
Hexafluoreto de telúrio	0,02	0,2
Iodeto de metila-(pele)	5	28
Isoamila, acetato de	100	525
Isobutila, acetato de	150	700
Isociamato de metila (pele)	0,02	0,05
Isopropila, acetato de	250	950
Ítrio	-	1
GLP (gás liquefeito de petróleo)	1.000	1.800
Maléico, anidrido	-	8
Metil-n-amil-ceta (2 heptanona)	100	465
Morfolina (pele)	20	70
Níquel	-	1
Nítrico, ácido	2	5
p-Nitro-cloro-benzeno (pele)	-	1
Oxálico, ácido	-	1
Oxigênio, difluoreto de	0,05	0,1
Peróxido de benzoíla	-	5
Pival (2-pivalil-1,3-indadione)	-	0,1
Prata	-	0,01
Ródio	-	0,1
Selênio, compostos de	-	0,2
Telúrio, hexafluoreto de	0,02	0,2
Tetrametil-sucinonitrila-(pele)	0,5	3
Trifluoreto de nitrogênio	10	29

TABELA 1.6 Limites de tolerância a poeiras minerais	
Poeiras minerais	Limites de tolerância (mppmc)
Óxido de alumínio	1.770
Asbesto	177
Cimento Portland	1.770
Poeira (sem sílica livre)	1.770
Mica (com menos de 5% de SiO ₂ livre)	700
Sílica (com mais de 50% de SiO ₂ livre)	177
Sílica (com 5% a 50% de SiO ₂ livre)	700
Sílica (com menos de 5% de SiO ₂ livre)	1.770
Carboneto de sílica	1.770
Pedra-sabão (com menos de 5% de SiO ₂ livre)	700
Talco	700

1.3 Quantidade de ar necessária à ventilação

O estudo da combustão nos mostra que na queima de um combustível convencional qualquer (composto de carbono e hidrogênio), cada quilograma de oxigênio consumido produz cerca de 3.260 kcal.

Como a respiração é o processo que fornece o oxigênio necessário à combustão dos hidratos de carbono, fonte de energia de nosso organismo, podemos dizer que uma pessoa normal, em repouso, para de manter suas funções fisiológicas involuntárias (metabolismo básico = 75 kcal/h), consome em média:

$$\frac{75 \text{ kcal/h}}{3,160 \text{ kcal/kg}} = 0,023 \text{ kg/h} = 0,017 \text{ m}^3/\text{h de O}_2 \text{ a } 20^\circ\text{C e } 760 \text{ mm Hg.}$$

Mas nem todo o oxigênio do ar é aproveitado no processo da respiração, pois, conforme vimos, o ar inspirado contém 20,99% de oxigênio, enquanto que aquele expirado apresenta ainda uma parcela média de 15,4% em volume desse elemento. Nessas condições, apenas 5,5% do volume do ar é realmente aproveitado para o metabolismo humano. Desse modo, podemos dizer que o ar realmente necessário para a respiração, nas condições indicadas, é:

$$\frac{0,017 \text{ m}^3/\text{h de O}_2}{0,055} = 0,31 \text{ m}^3/\text{h de ar.}$$

Se o ar expirado fosse imediatamente substituído e, portanto, não voltasse aos pulmões, o ar necessário à ventilação por pessoa em repouso seria apenas $0,31 \text{ m}^3/\text{h}$. O problema, entretanto, não é de substituição e sim de diluição, já que o ar de ventilação é misturado com o do ambiente, o qual, embora já utilizado, volta novamente a ser respirado.

Nessas condições, dependendo da atividade das pessoas (que aumenta o seu metabolismo e, portanto, o seu consumo de oxigênio) e do tipo de ambiente (produção de contaminantes), a quantidade de ar necessária à ventilação poderá ser de 25 até cerca de 200 ou mais vezes a anterior.

Na prática, a determinação da quantidade de ar necessária à ventilação, baseada na diluição dos diversos elementos nocivos à vida, é feita por meio de certos critérios, discutidos a seguir, como o índice de CO_2 , do conceito de razão de ar, da temperatura do ambiente e do índice de renovação do ar.

1.3.1 Índice de CO_2

Para a ventilação permanente de um ambiente destinado unicamente à habitação, onde se pretende manter uma porcentagem máxima de CO_2 igual a k_f , adotando-se ar exterior com um índice de CO_2 igual a k_i , o volume de ar a utilizar será dado por:

$$V = \frac{100Nc}{k_f - k_i} \text{ m}^3/\text{h}, \quad [1.13]$$

em que N é o número de pessoas ou elementos produtores de CO_2 e c a respectiva produção, em m^3/h .

Assim, considerando que uma pessoa em repouso, sentada, cujo metabolismo é 100 kcal/h e cuja produção de CO_2 é cerca de 20 L/h , para os índices de CO_2 de $k_i = 0,03$ e $k_f = 0,1$ indicados, podemos calcular:

$$V = \frac{100 \times 1 \times 0,020}{0,1 - 0,03} = 28,6 \text{ m}^3/\text{h}.$$

No caso de ventilação intermitente de ambientes cuja ocupação é limitada a τ horas, como o aumento da concentração de CO_2 é progressiva, partindo de um índice inicial k_i , até atingir o limite máximo admissível k_f , a quantidade de ar de ventilação será tanto menor quanto menor for o tempo de ocupação do recinto.

Com efeito, chamando de k o índice de CO_2 num instante qualquer, podemos dizer que o aumento da quantidade de CO_2 , num tempo elementar $d\tau$, nos será dado por:

$$Nc \, d\tau + \frac{Vk_i \, d\tau}{100},$$

enquanto que o CO_2 retirado será:

$$\frac{Vk \, d\tau}{100},$$

o que acarretará uma variação dk no índice de CO_2 do ambiente, cujo volume V_a , sofrerá um aumento na sua quantidade de CO_2 igual a:

$$\frac{V_a dk}{100}$$

Nessas condições, podemos escrever:

$$Ncd\tau + \frac{Vk_i d\tau}{100} - \frac{Vk d\tau}{100} = \frac{V_a d\tau}{100}$$

E, fazendo $dk = d(k - k_i)$ por ser k_i constante:

$$\frac{d\tau}{V_a} = \frac{d(k - k_i)}{100Nc - V(k - k_i)}$$

A equação diferencial cuja integral entre os limites inicial k_i e máximo admissível k_f para o índice de CO_2 , que devem verificar-se durante o tempo de ocupação total τ , nos fornece:

$$\ln [100Nc - V(k - k_i)]_{k_i}^{k_f} = -\frac{V}{V_a} \tau,$$

onde a relação $n = V/V_a$ recebe o nome de *índice de renovação de ar* do ambiente considerado.

Desse modo, podemos igualmente escrever:

$$e^{-n\tau} = \frac{10Nc - V(k_f - k_i)}{100Nc},$$

ou, ainda,

$$V = \frac{10Nc}{k_f - k_i} (1 - e^{-n\tau}) \text{ m}^3/\text{h}, \tag{1.14}$$

A Eq. [1.14] nos mostra que o volume de ar necessário à ventilação intermitente pode ser reduzido, em relação àquele correspondente à ventilação permanente, por meio do multiplicador $(1 - e^{-n\tau})$, o qual depende do tempo de ocupação do recinto (τ) e do índice de renovação de ar adotado.

Assim, para tempos de permanência superiores a 1 h, mesmo com baixos índices de renovação de ar ($n < 4$), a citada redução é inferior a 2% e pode ser desprezada.

Para o caso de outros contaminantes que não o CO_2 , o cálculo da quantidade de ar necessária à ventilação é o mesmo, bastando conhecer deles a produção (ver a Tab. 1.7) e os limites de tolerância a serem adotados de acordo com a legislação (ver as Tabs. 1.5, 1.5a e 1.6), como nos mostra o Exemplo 1.3.

TABELA 1.7 Produção de contaminantes segundo a operação			
Operação	Contaminante	Purificador	Produção
Trituração			
Moinho de alfafa	Pó de alfafa	Ciclone e câmara (85%)	13,4 kg/
Moinho de cevada	Pó de cevada	Ciclone (85%)	10,4 kg/
Moinho de cimento	Pó de cimento	Eletrostático (95% a 99%)	12 g/m ³
Peneiração de carvão	Pó de carvão	Lavador ventúri (99%)	2 g/m ³
Desbaste de granito	Pó de granito	Filtro de pano (99%)	0,07 g/m ³
Moinho, polpa de papel	Fumo de barrilha	Eletrostático (90% a 95%)	1 a 4,5 g/m ³
Purificador de ar de alimentador de trigo	Palha cortada	Ciclone (85%)	0,65 kg/
Destilação			
Fornalha recuperação, licor preto	Fumo de substância química	Lavador ventúri (90%)	2 a 6 g/m ³
Forno de coque	Alcatrão	Eletrostático (955 a 99%)	0,2 a 2 g/m ³
Caldeira recuperação, polpa de papel	Gás de dióxido de enxofre	Lavador ventúri (90%)	0,029% em volume
Destilação, madeira	Alcatrão e Ácido acético	Lavador ventúri (95%)	38 g/m ³
		Lavador ventúri e ciclone (99%)	3,3 g/m ³
Secagem, cozimento			
Secador rotativo de carvão ativado	Pó de carvão	Lavador ventúri (98%)	4,3 g/m ³
Secador a vapor de alumina	Pó de alumínio	Lavador de gás de tambor de ar (76%)	1,2 g/m ³
Regenerador de catalisador (petróleo)	Pó de catalisador	Ciclone + eletrostático (95%) Eletrostático (90% a 99%)	0,2 g/t 0,25-57 g/m ³
Secador de cimento	Pó de cimento	Eletrostático (95% a 99%)	2-35 g/m ³
Forno de cimento	Pó de cimento	Eletrostático (85% a 99%)	1-35 g/m ³
Forno de ustulação de caparrosa (minério)	Névoa de ácido sulfúrico	Lavador ventúri (99%)	7 g/m ³
Cozimento de caroço	Acroleína (óleo)		0,75 kg/L
Secador de pó detergente	Pó de detergente	Ciclone (85%)	30 kg/t

TABELA 1.7			
Produção de contaminantes segundo a operação (continuação)			
Operação	Contaminante	Purificador	Produção
Forno de cal de lodo	Pó de cal	Lavador ciclônico (97%)	17,5 g/m ³
Forno de cal bruta	Pó de cal	Lavador ventúri (99%)	16 g/m ³
Secador de polpa laranja	Pó de polpa	Ciclone (85%)	38 kg/t
Forno de secagem de areia	Pó de sílica	Ciclone (78%)	43 g/m ³
Secagem de areia e saibro	Pó de sílica	Coletor inercial (50%)	50 g/m ³
Secagem de areia e pedra	Pó de sílica	Lavador de torre (73-92%) Ciclone (74%)	8-15 g/m ³ 13 g/m ³
Secagem de pedra	Pó de sílica	Ciclone (86%)	38 g/m ³
Forno de secagem de amido de tapioca	Pó de amido de tapioca	Filtro de pano (99%)	7,2 g/m ³
Tratamento térmico, recozimento			
Têmpera por óleo	Névoa de óleo		Consumo óleo
Misturas			
Mistura de asfalto	Pó de areia e saibro	Ciclone (50% a 86%)	13-87 g/m ³
Mistura de concreto	Pó de areia e pedra	Ciclone e lavador (95%)	9 g/m ³
Dosagem de cimento	Pó de cimento		2,6 kg/t
Manipulação de materiais fundidos			
Forno de ressudação de alumínio	Fumo de óxido de alumínio		35,5 kg/t
Fundição de latão	Fumo de óxido de zinco e de cobre		12,6 kg/t
Fornalha de ferro silício	Fumo de óxido de ferro	Lavador de torre (75%)	2,2 g/m ³
Forno rotativo para fundição	Fumo		8,5 kg/t
Fornalha de reverbero de vidro	Fumo		1,5 kg/t
Cadinho de fundição de ferro cinzento	Fumo de óxido de ferro, pó de coque	Filtros de manga (99%)	7,3 kg/t

TABELA 1.7			
Produção de contaminantes segundo a operação (continuação)			
Operação	Contaminante	Purificador	Produção
Forno de ferro cinzento	Fumo de óxido de ferro		9,6 kg/t
Alto-forno de ferro	Pó de minério e coque	Lavador ciclônico (99%)	7-55 g/m ³
Alto-forno de chumbo	Fumo de óxido de chumbo	Lavador ventúri (95%)	4,5-13,5 g/m ³
Fornalha de reverbero de chumbo	Fumo de óxido de chumbo e Estanho	Lavador ciclônico (98%) Lavador ventúri (91%)	1-4,5 g/m ³ 2,3-7 g/m ³
Fundição de chumbo	Fumo de óxido de chumbo		18 kg/t
Fundição de magnésio	Fumo de óxido de magnésio		50 kg/t
Conversor Bessemer de aço	Pó de óxido de ferro e pó de carvão		5 kg/t
Forno a arco elétrico de aço	Fumo de óxido de ferro	Eletrostático (90%-99%)	16,5 kg/t 0,11-7 g/m ³
Forno elétrico de aço	Fumo de óxido de ferro	Lavador de deflexão (60%)	4,5 kg/t
Forno Siemens-Martin de aço	Fumo de óxido de ferro	Eletrostático (98%) Eletrostático (90-99%) Lavador ventúri (95%)	8,9 kg/t 0,11 g/m ³ 2,3-14 g/m ³
Processo de jato de oxigênio, de aço	Pó de minério e de óxido de ferro	Desintegrador (99%)	23 kg/t
Forno de redução de óxido de zinco	Fumo de óxido de zinco		43,5 kg/t
Polimento e raspagem	Pó e limalha de ferro	Filtro de pano (98%)	0,022 g/m ³
Esmerilhamento (Al)	Pó de alumínio	Ciclone (89%)	1,6 g/m ³
Esmerilhamento (Fe)	Escama de ferro e areia	Ciclone (56%)	3,3 g/m ³
Esmerilhamento (oficina)	Pó	Precipitador inercial (91%)	0,025 g/m ³
Reações químicas			
Reator e misturador de fertilizantes	Pó de fertilizantes	Lavador (80%)	17,5 kg/t
Amonizador de fertilizantes (tipo TVA)	Gás de amônia		2 kg/t

TABELA 1.7 Produção de contaminantes segundo a operação (continuação)			
Operação	Contaminante	Purificador	Produção
Concentrador de H ₂ SO ₄	Névoa de H ₂ SO ₄	Lavador ventúri (99%)	5 g/m ³
Misturadores superfosfatos	Compostos de flúor	Lavador ciclônico (98%)	11 g/m ³
Tratamentos superficiais			
Revestimento por imersão e por pincel	Solventes orgânicos		60% do material consumido
Polvilhamento de borracha	Estearato de zinco Pó de talco	Prec. inercial (78%-88%) Filtro de pano (99%)	1,4-4 g/m ³ 10 g/m ³
Limpeza abrasiva	Pó de talco	Ciclone (93%)	5 g/m ³
Rebarbação e modelagem abrasiva	Carbeto de silício e pó de óxido de alumínio	Ciclone (51%)	4 g/m ³
Limpeza de peças fundidas	Pó de bronze e sílica Escamas Fe e areia	Filtro de pano (99%) Filtro de Pano (97-99%)	1 g/m ³ 0,23-1,5 g/m ³
Limpeza por jato-de granalha ou de areia	Pó metálico e de sílica	Prec. inercial (97-99%)	1,7-16 g/m ³
Decapagem em tambor	Pó	Prec. inercial (99%)	0,65 g/m ³
Chanfragem de aço	Pó de óxido de ferro		14,5 kg/t
Retificação e modelagem de produtos abrasivos	Pó de óxido de alumínio e sílica Pó de carbeto de boro Pó de carbeto Pó de silício e óxido de alumínio	Filtro de pano (99%) Filtro de pano (97%) Ciclone (58%) Filtro de pano (99%)	0,23-8,3 g/m ³ 0,17 g/m ³ 0,82 g/m ³ 0,3-5,2 g/m ³
Solda			
Solda a arco elétrico	Fumo de óxido de ferro		10-20 g/kg
Solda fraca	Fumo de óxido de chumbo		5 g/kg
Carpintaria			
Aplainamento em fresa	Pó e cavaco de madeira	Ciclone (97%)	

Tabela extraída do "Inventory of air contaminant emissions", do New York States Air Pollution Control Board e publicada na revista *Air Engineering* de dezembro de 1966.

EXEMPLO 1.3

Uma serralheria consome em soldas elétricas cerca de 40 kg de eletrodos por dia de 8 h de trabalho. Calcular as condições mínimas de ventilação a serem adotadas para o recinto.

Para o caso, as Tabs. 1.5a e 1.7 indicam:

- limite de tolerância, 10 mg/m³;
- produção de contaminante, 10 a 20 mg/kg de eletrodo.

Nessas condições, tomando por medida de segurança a produção máxima, podemos calcular a quantidade de ar necessária para uma perfeita diluição do contaminante:

$$V = \frac{\text{Produção de contaminante (mg/h)}}{\text{Limite de tolerância (mg/m}^3\text{)}} = \frac{5 \text{ kg/h} \times 20 \text{ g/kg}}{0,010 \text{ g/m}^3} = 10.000 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Para evitar velocidades excessivas no deslocamento do ar de ventilação, o ambiente em consideração deveria ter um volume da ordem de 500 m³, o que caracterizaria um índice de renovação de ar $n = 20$.

Caso, em vez de uma ventilação geral diluidora, se adote uma ventilação local exaustora por meio de campânulas ou coifas, os números apontados poderão ser amplamente reduzidos (ver o Cap. 4).

EXEMPLO 1.4

Calcular a ventilação geral diluidora (por exaustão) a ser adotada numa fundição cuja capacidade é de 1 t de ferro cinzento a cada 8 h.

De acordo com a Tab. 1.7, a produção de contaminantes no caso é de 9,6 kg de fumo de óxido de ferro para cada tonelada de ferro cinzento. Ora, como a máxima concentração recomendada para os fumos de óxido de ferro é de 10 mg/m³ (Tab. 1.5a), podemos calcular:

$$V = \frac{0,125 \text{ t/h} \times 9,6 \text{ kg/t}}{0,00010 \text{ kg/m}^3} = 12.000 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Por outro lado, como o índice de renovação de ar do ambiente em consideração deve ser da ordem de $n = 20$, o volume recomendado será:

$$V_a = \frac{V (\text{m}^3/\text{h})}{n} = 60.000 \text{ m}^3.$$

Tal como no exemplo anterior, para reduzir os valores encontrados, a solução seria uma ventilação local exaustora (ver o Cap. 4).

1.3.2 Conceito de razão de ar

Para locais onde a contaminação do ar se deve unicamente às pessoas que os ocupam, podemos calcular a quantidade de ar necessária à ventilação por meio de uma quantidade de ar recomendada por pessoa, em função da finalidade do ambiente a ventilar, a qual toma o nome de *razão de ar*.

Assim, de acordo com a NB-10, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a respeito do assunto, podemos relacionar os valores que constam da Tab. 1.8.

TABELA 1.8			
Razão de ar segundo a ABNT			
Local	m ³ /h por pessoa		Concentração de fumantes
	Recomendável	Mínimo	
Bancos	17	13	Ocasional
Barbearias	25	17	Considerável
Salões de beleza	17	13	Ocasional
Bares	68	42	-
Cassinos, grill-room	45	35	-
Escritórios públicos	25	17	Alguns
Escritórios privados	42	25	Nenhum
Escritórios privados	51	42	Considerável
Estúdios	35	25	Nenhum
Lojas	17	13	Ocasional
Salas de hotéis	51	42	Grande
Residências	35	17	Alguns
Restaurantes	25	20	Considerável
Salas de diretores	85	50	Muito grande
Teatros, cinemas e auditórios	13	8	Nenhum
Teatros, cinemas e auditórios	25	17	Alguns
Salas de aula	50	40	Nenhum
Salas de reuniões	85	50	Muito grande
Aplicações gerais			
Por pessoa fumando	68	42	
Por pessoa não fumando	13	8	

Quando, além da ventilação necessária à respiração higiênica, se cogita melhorar as condições de conforto térmico do ambiente, agravadas no verão pelo metabolismo das pessoas, é preferível adotar uma razão de ar maior. Assim, para instalações de ventilação pura em teatros, cinemas, auditórios e demais locais sujeitos a uma grande concentração de pessoas, o código de obras da prefeitura municipal de Porto Alegre exige uma razão de ar de, no mínimo, $50 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pessoa}$.

EXEMPLO 1.5

Calcular a quantidade de ar necessária para a ventilação pura de um auditório de 12.000 m^3 , destinado a 1.500 pessoas.

Considerando que essa ventilação se destina não apenas a fornecer o ar necessário a uma boa diluição do ar ambiente contaminado pela respiração das pessoas, mas também a minorar as desfavoráveis condições de conforto térmico durante o verão, adotaremos a razão de ar exigida pelo Código de Obras da prefeitura municipal de Porto Alegre ($50 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pessoa}$):

$$V = 1.500 \text{ pessoas} \times 50 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{pessoa} = 75.000 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Lembrando que o calor sensível liberado por uma pessoa sentada, em repouso, é da ordem de 50 kcal/h , podemos dizer que essa razão de ar arrastaria o calor com uma diferença de temperatura de $3,5^\circ\text{C}$ (ver o item 1.3.3).

Por outro lado, considerando que o ambiente tem um volume de 12.000 m^3 , o índice de renovação de ar da instalação em questão será:

$$n = \frac{V}{V_a} = \frac{75.000 \text{ m}^3/\text{h}}{12.000 \text{ m}^3} = 6,25 \text{ renovações por hora.}$$

1.3.3 Temperatura do ambiente

Quando se trata da ventilação permanente de ambientes onde são produzidas grandes quantidades de calor, mas sem grande poluição, como salas de máquinas, de caldeiras, de fornos, cozinhas, churrasarias, etc., ou mesmo ambientes sujeitos a grandes cargas de insolação, nos quais se deseja manter uma temperatura interna (t_r) pouco superior à do exterior (t_e), a quantidade de ar necessária nos será dada por:

$$V = \frac{Q}{\rho C_p (t_r - t_e)} \text{ m}^3/\text{h}, \quad [1.15]$$

onde:

ρ é a massa específica do ar, que em condições ambientes médias vale $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$;

C_p o calor específico à pressão constante do ar, que igualmente vale $1,009 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ($0,241 \text{ kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$);

Q o calor a ser arrastado do ambiente, por meio da renovação do ar (em kJ/h ou kcal/h).

O calor Q é igual à diferença entre a quantidade de calor produzida no recinto por todos os elementos que representam fontes de calor (como ocupantes, máquinas, fornos, aparelhos de iluminação, insolação, etc.) e a quantidade de calor trocada com o exterior por transmissão, em vista da diferença de temperatura recinto/externo (ver mais detalhes no Cap. 2).

1.3.4 Índice de renovação do ar

Conforme já citado, a relação entre o volume do ar de ventilação que penetra no ambiente (m^3/h) e o volume deste (m^3) representa o número de vezes que o ar do recinto é renovado em uma hora e toma o nome de *índice de renovação do ar* (n).

Normalmente a ventilação natural tem um índice de renovação do ar da ordem de 1 a 2, embora, como veremos, disposições adequadas das aberturas de ventilação possam aumentar muito esse valor. Na ventilação artificial, o índice de renovação do ar atinge valores de 6 a 20.

Para valores de n superiores a 20, que podem ser considerados excepcionais, devem ser tomados cuidados especiais, a fim de se evitarem deslocamentos de ar com velocidades excessivas. De acordo com a ABNT (NB-10), a velocidade do ar na zona de ocupação, isto é, no espaço compreendido entre o piso e o nível de 1,5 m, deve ficar entre 0,025 e 0,25 m/s. Excepcionalmente será permitido ultrapassar os limites apontados, na vizinhança de grades de insuflamento ou de retorno que, por necessidade de construção, forem localizadas abaixo do nível de 1,5 m e no espaço normalmente ocupado por pessoas.

Para facilitar a seleção dos índices de renovação do ar a adotar em cada caso, a fábrica de ventiladores Clarage (EUA) recomenda os valores da Tab. 1.9, em que n é dado em função do tipo de ambiente a ventilar.

TABELA 1.9 Índices de renovação de ar	
Ambiente	n
Auditórios, igrejas, túneis, estaleiros	6
Fábricas, oficinas, escritórios, lojas, salas de diversões	10
Restaurantes, clubes, garagens, cozinhas	12
Lavanderias, padarias, fundições, sanitários	20

1.4 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

De um modo geral, os sistemas de renovação do ar de um ambiente, podem ser classificados em:

- ventilação natural, ou espontânea;
- ventilação artificial ou forçada.

A *ventilação natural* ou espontânea é aquela que se verifica em virtude das diferenças de pressão naturais, ocasionadas pelos ventos e gradientes de temperaturas existentes, através das superfícies que delimitam o ambiente considerado. E a *ventilação artificial*, ou forçada, é aquela em que a movimentação do ar se faz por meios mecânicos. A ventilação forçada pode ser geral diluidora ou local exaustora.

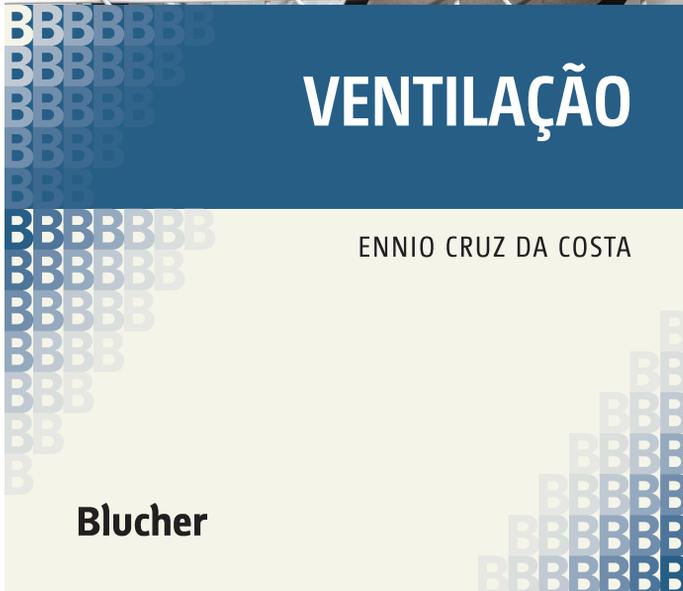
A ventilação é *geral diluidora*, quando o ar novo se mistura com o ar ambiente, diluindo seus contaminantes, antes de estes serem retirados do recinto.

Quando o ambiente é limpo e se deseja mantê-lo a uma pressão superior à do exterior para evitar infiltrações indesejadas, o sistema de ventilação diluidora adotado é o de insuflamento com possibilidade de filtragem do ar.

Já quando o ambiente é sujo (fundições, oficinas, etc.) ou excessivamente quente (casas de máquinas, fornos, etc.), dá-se preferência à extração do ar do recinto, deixando-se que o ar exterior penetre por suas aberturas naturais. Nesse caso, classifica-se a ventilação em *geral, diluidora por exaustão*.

Quando, entretanto, nos sistemas de insuflamento de ar puro, devido à restrição da saída do ar, a sobrepressão no ambiente se torna muito elevada (chegando até a dificultar a abertura das portas externas), é interessante adotar-se uma solução mista de ventilação geral diluidora por insuflamento e exaustão simultaneamente.

Finalmente, para os casos em que os contaminantes são localizados e podem ser retirados (captados) antes que se espalhem pelo ambiente, como ocorre na maior parte das operações industriais, a ventilação mais indicada, por ser mais eficiente e econômica, é a ventilação *local exaustora*.



Clique aqui e:

[Veja na loja](#)

Ventilação

Ennio Cruz da Costa

ISBN: 9788521203537

Páginas: 256

Formato: 17x24 cm

Ano de Publicação: 2005

Peso: 0.466 kg
