

Ventilação Natural

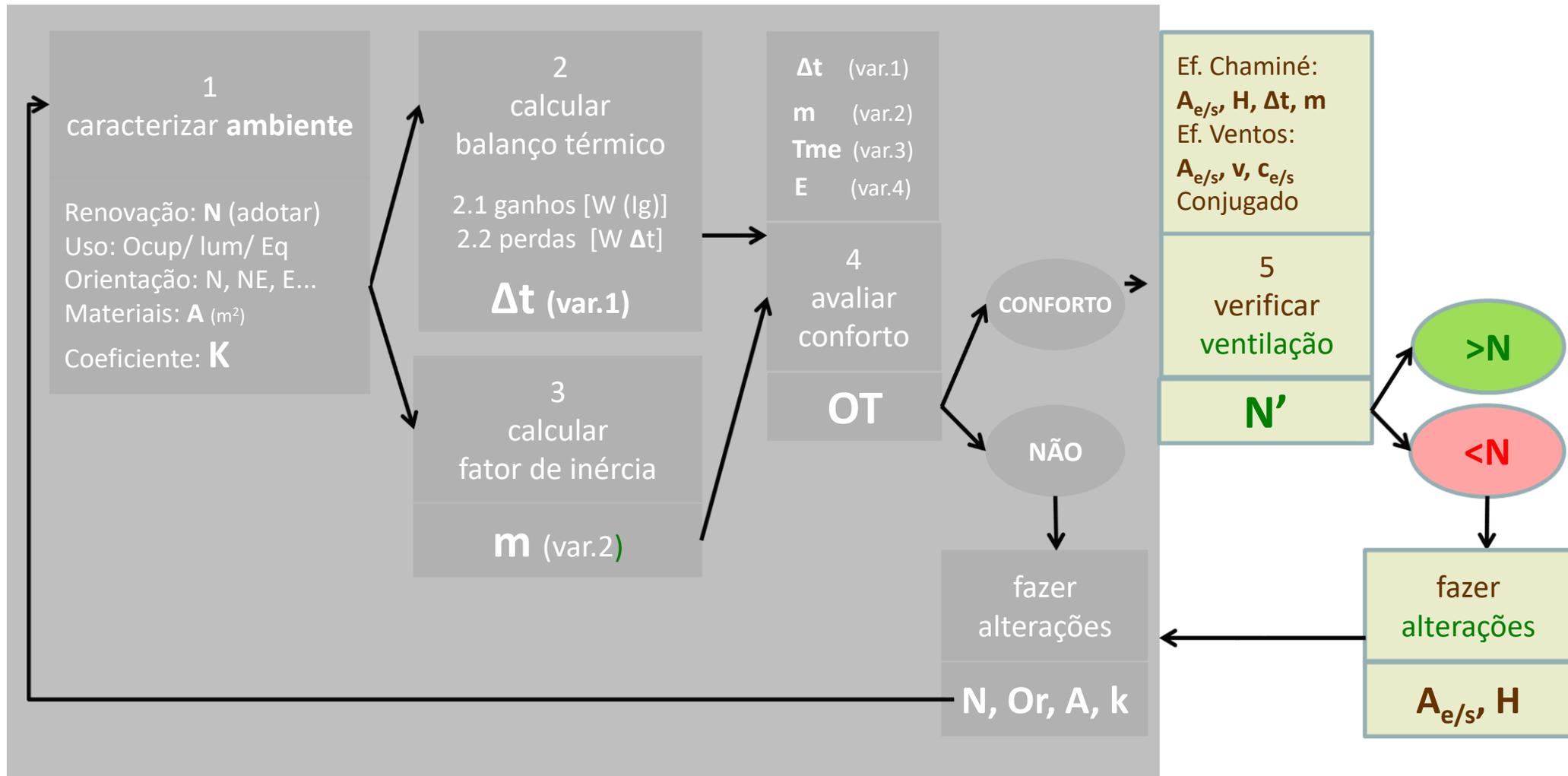
Profa. Dra. Alessandra Prata Shimomura, Profa. Dra. Denise Duarte, Prof. Prof. Dr. Leonardo Monteiro, Profa. Dra. Ranny Michalski.



Ventilação Natural



Modelo de cálculo de desempenho térmico da edificação – PARTE 2



1. Introdução

2. Ventilação Natural

3. Exemplos Projetuais e Aplicações

4. Procedimentos de Cálculo

5. Considerações Finais

Efeito Chaminé:

$A_{e/s}$, H , Δt , m

A: área da abertura, de entrada ou de saída (a menor) (m^2);

H: altura medida a partir da metade da altura da abertura de entrada de ar até a metade da abertura de saída do ar (m);

Δt : diferença da temperatura do ar externo e interno ($^{\circ}C$)

m: fator de inércia

Efeito por ação dos Ventos:

A_0 , v , $C_{e/s}$

A_0 : área equivalente das aberturas (m^2);

$$1/A_0^2 = 1/A_e^2 + 1/A_s^2$$

A_e : área da abertura de entrada (m^2)

A_s : área da abertura de saída (m^2)

v: velocidade do vento resultante na abertura (m/s);

C_e : coeficiente de pressão da abertura de entrada de ar;

C_s : coeficiente de pressão da abertura de saída de ar.

Efeito Conjugado – verificação por fluxos

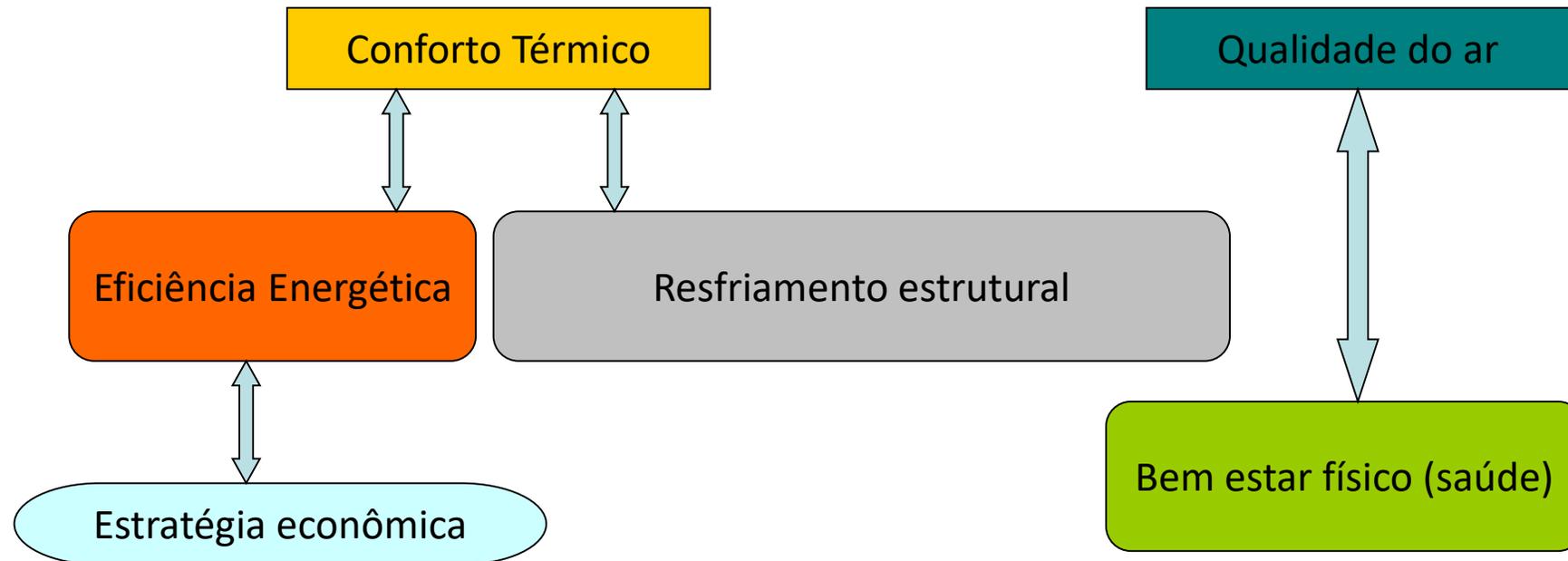
Importância da Ventilação Natural

Objetivo: salubridade e conforto térmico

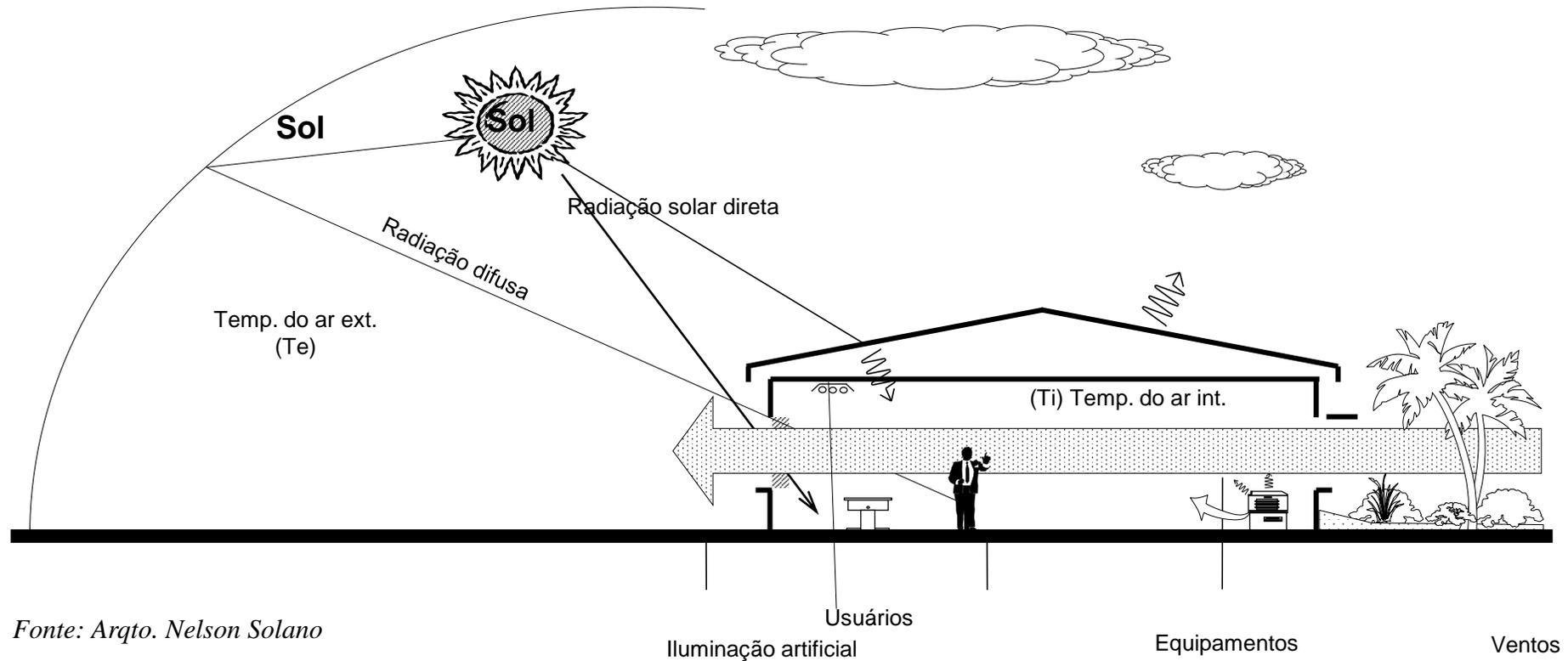
- Ventilação higiênica
- Ventilação para remoção de carga térmica

ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA

Por que VENTILAR?



Importância da Ventilação Natural



Fonte: Arqto. Nelson Solano

$$\text{INSOLAÇÃO} + \text{ILUM.ARTIFICIAL} + \text{EQUIPAMENTOS} + \text{OCUPAÇÃO} = \text{VENTILAÇÃO} + \text{ENVOLVENTE}$$
$$\text{GANHOS} = \text{PERDAS}$$

Critérios de ventilação dos ambientes

- Requisitos básicos de exigências humanas:

1. Suprimento de oxigênio
2. Concentração máxima de CO₂ no ar
3. Dissipação de odores corporais

- Remoção de carga térmica

Maiores taxas de ventilação

Ventilação Higiênica

Vazão de ar mínima recomendada para atender às exigências de higiene dos usuários

Volume de ar disponível por pessoa (m³/pessoa)	Ventilação mínima noturna (m³/h pessoa)	Ventilação mínima diurna (m³/h pessoa)
< 4	35	44
4 a 10	30	42
10 a 15	15	22
> 15	11	15

Fonte: Alucci (1986).

Ventilação Higiênica

Exemplo: Dormitório: $A=8\text{m}^2$; $h=2,7\text{m} \Rightarrow V=21,6\text{m}^3$

2 pessoas: $V/2 = 10,8\text{m}^3$ por pessoa

Volume de ar disponível por pessoa (m^3/pessoa)	Ventilação mínima noturna (m^3/h pessoa)	Ventilação mínima diurna (m^3/h pessoa)
< 4	35	44
4 a 10	30	42
10 a 15	15	22
> 15	11	15

Fonte: Alucci (1986).

Resultado: $\phi_{\text{nec}} = 15\text{m}^3/\text{h}$ pessoa $\Rightarrow 30\text{m}^3/\text{h}$

$\phi_{\text{nec}} / V \Rightarrow 30/21,6 \Rightarrow N \sim 1,5$ (1/h)

Carga térmica transferida pela ventilação

$$Q_{\text{vent}} = 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta t \text{ (W)}$$

0,35: calor específico × densidade do ar (W/ m³°C);

N: taxa de renovação horária do ar do recinto (1/h);

V: volume do recinto (m³)

Δt: diferença entre a temperatura do ar interno e externo (°C).

A renovação do ar dos ambientes pode ocasionar **ganho de calor (se $t_e > t_i$)** ou **perda de calor (se $t_e < t_i$)**.

No cálculo das cargas térmicas, adota-se uma taxa de renovação (N) adequada ao ambiente para depois dimensionar as aberturas.

Valores de referência (N):

- **6 para quarto ou sala**
- **8 para biblioteca**
- **10/12 para sala de aula**
- **16/18 para escritório ou indústria leve**
- **20 ou mais para indústrias pesadas**

Procedimentos de cálculo

- Ventilação por efeito chaminé
- Ventilação por ação dos ventos
- Ventilação por efeito conjugado

Ventilação por efeito chaminé

Considera-se apenas as diferenças de pressões originadas das diferenças de temperaturas do ar interno e externo ao edifício.

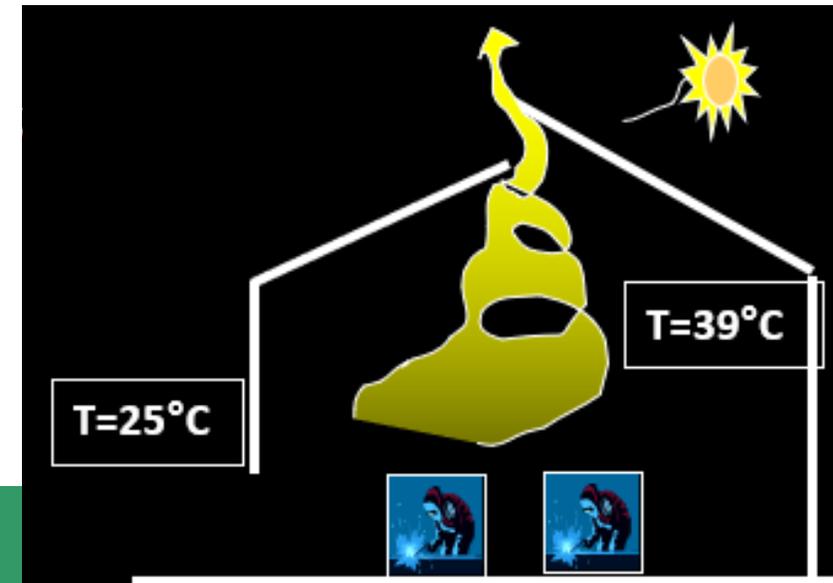
$$\Phi_c = 0,14 \cdot A \cdot [H \cdot \Delta t_1]^{1/2}$$

Φ_c : fluxo de ar por efeito chaminé (m³/s);

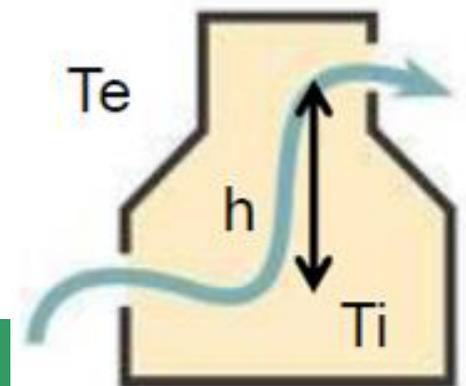
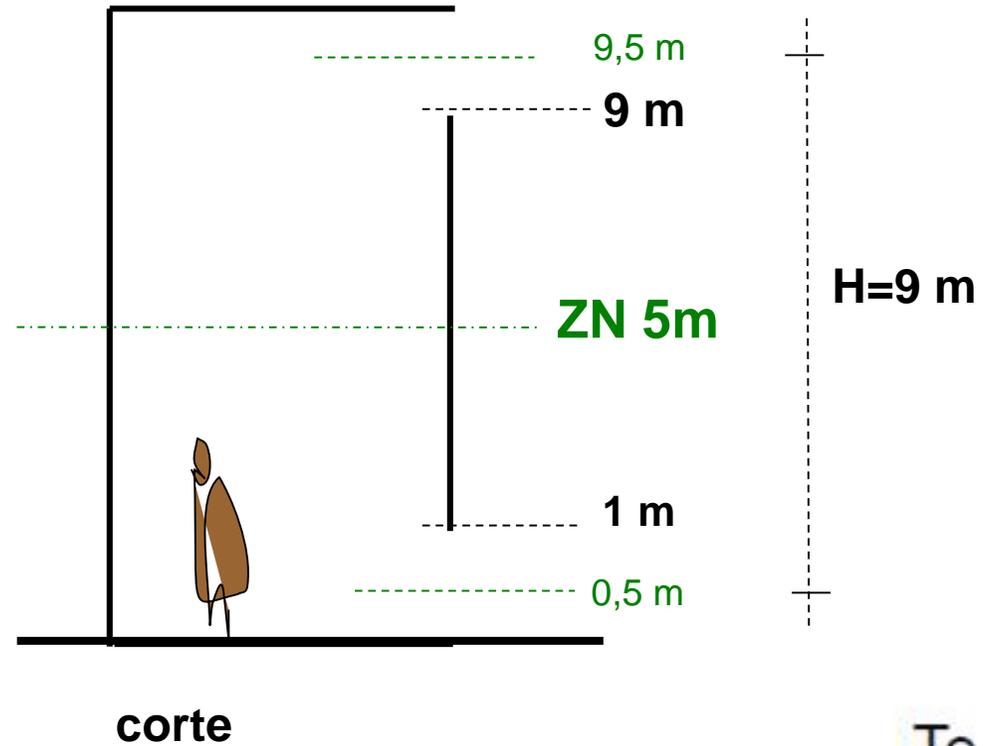
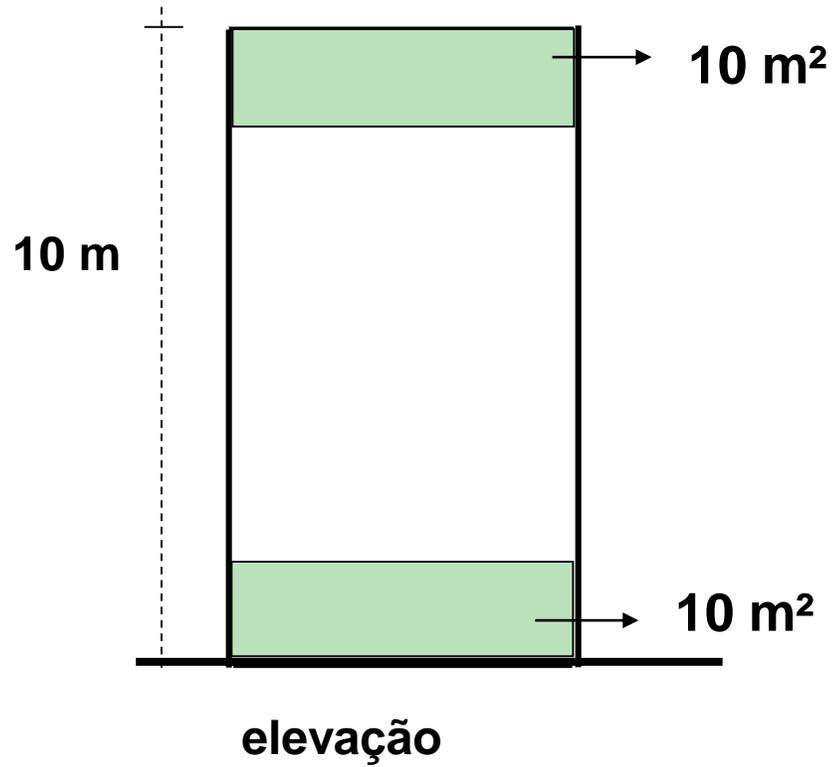
A: área da abertura, de entrada ou de saída (a menor) (m²);

H: altura medida a partir da metade da altura da abertura de entrada de ar até a metade da abertura de saída do ar (m);

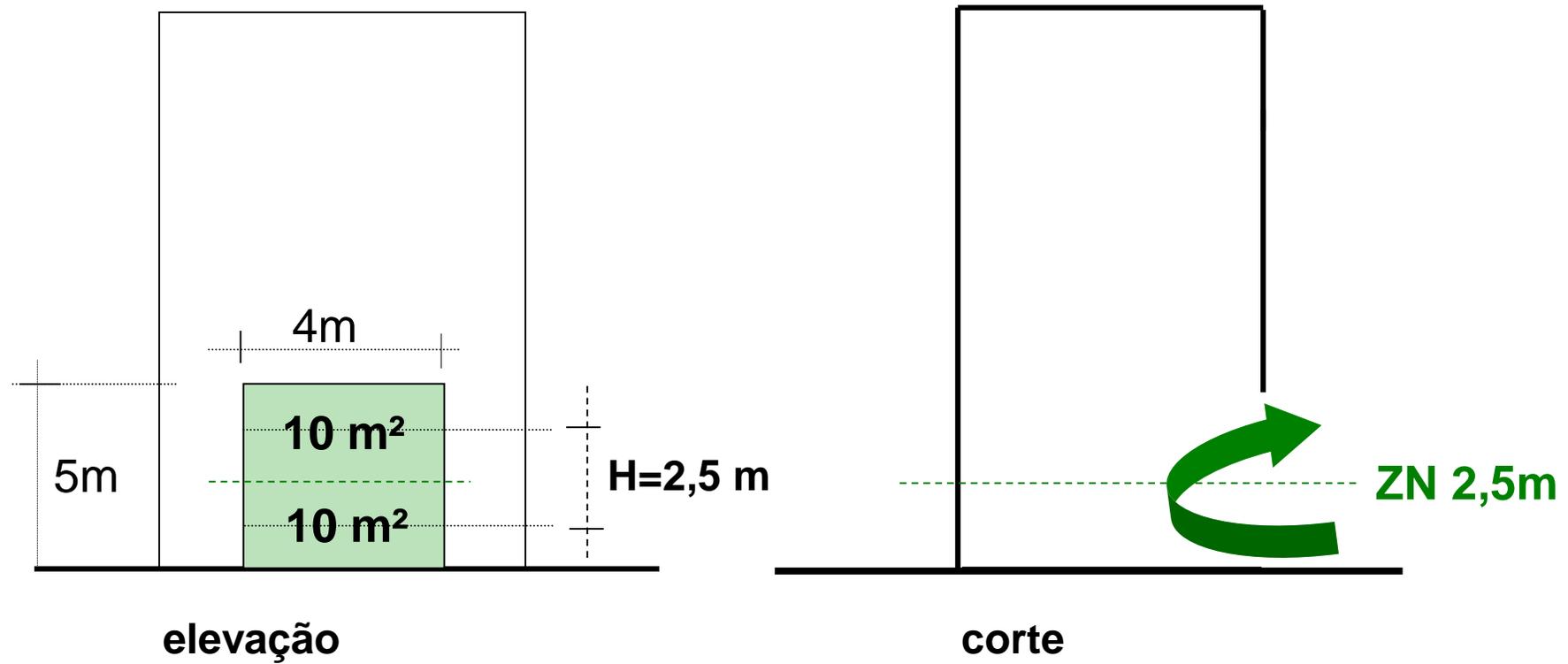
$\Delta t_1 = (1-m) \cdot \Delta t$, sendo Δt diferença da temperatura do ar externo e interno (°C), com efeito do fator de inércia m



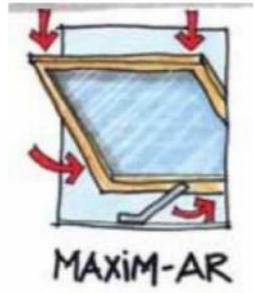
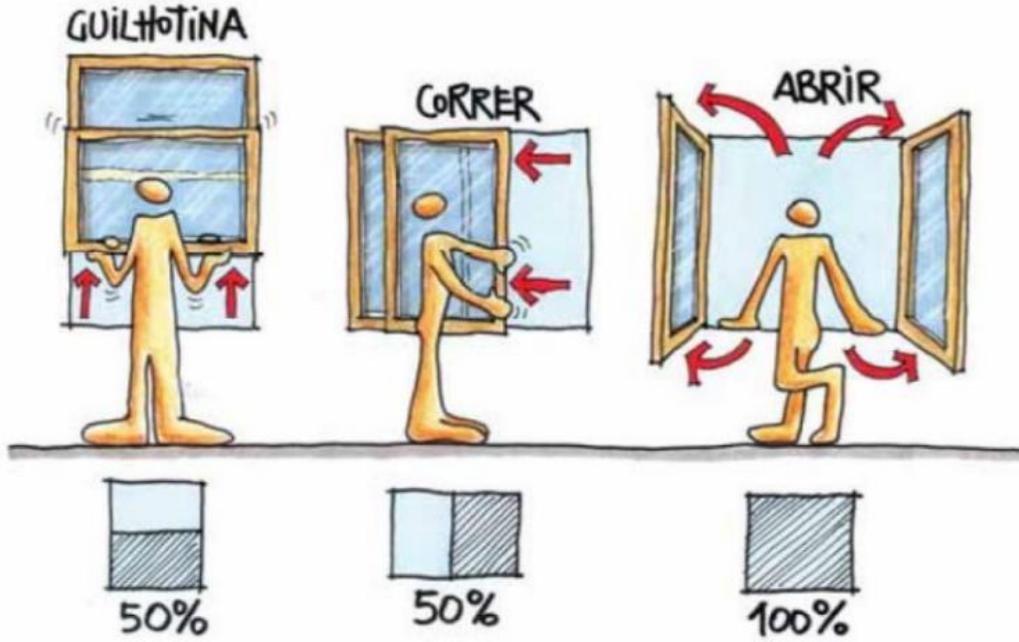
Ventilação por efeito chaminé



Ventilação por efeito chaminé



Tipos de esquadrias – menor área ...

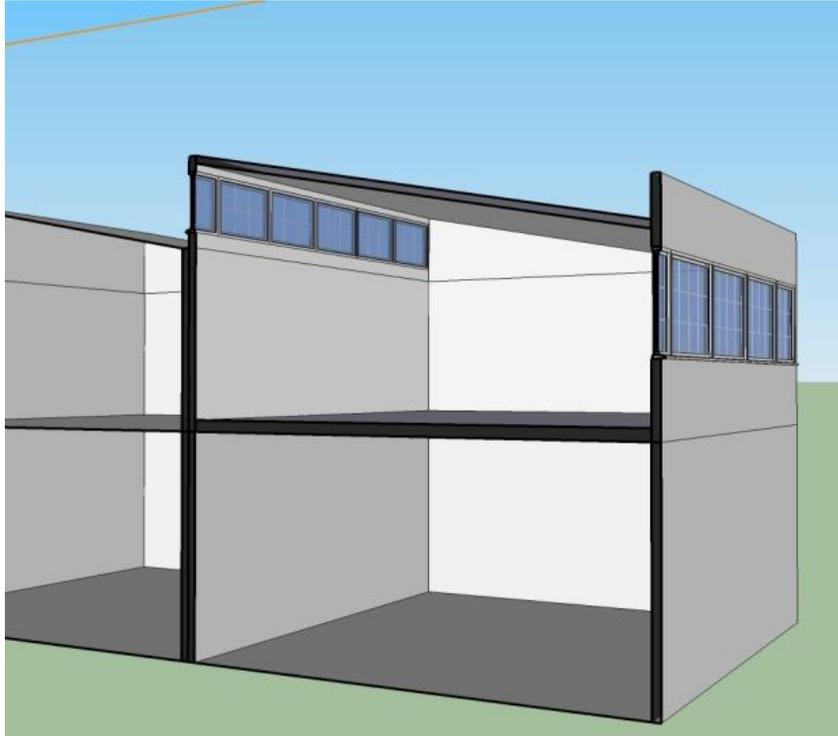


BASCULANTE

INCLINAÇÃO (θ)	ÁREA ÚTIL
0° (FECHADA)	0
30°	13%
45°	30%
60°	50%
90° (TOTALMENTE ABERTA)	100%

θ

http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula%20-Ventilacao_Natural_0.pdf



<p>Áreas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Shed fixo (7,0x0,6x30%) 1,26 m² • Janela de correr (6,0x1,2x50%)... 3,6 m² • Área de entrada de ar..... 3,6 m² • Área de saída de ar 1,26 m² • Menor área (entrada ou saída)..1,26 m² • Altura entre entrada e saída..... 1,8 m
<p>Volume</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Recinto 126,0 m³

Verificação da ventilação

$$\Phi_c = 0,14 * A * [H * (1-m) * \Delta t]^{1/2}$$

$$A = 1,26 \text{ m}^2$$

$$H = 1,8 \text{ m}$$

$$m = 0,6$$

$$\Delta t = 14,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Phi_c = 0,14 * 1,26 * \sqrt{1,8 * (1-0,6) * 14,2}$$

$$\Phi_c = 0,1764 * \sqrt{10,224}$$

$$\Phi_c = 0,1764 * 3,1974$$

$$\Phi_c = 0,564 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Phi_c = 0,564 * 3600 = 2030,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N = \Phi_c/V = 2030,4 / 126 = 16 \text{ 1/h}$$

N verificado > N adotado

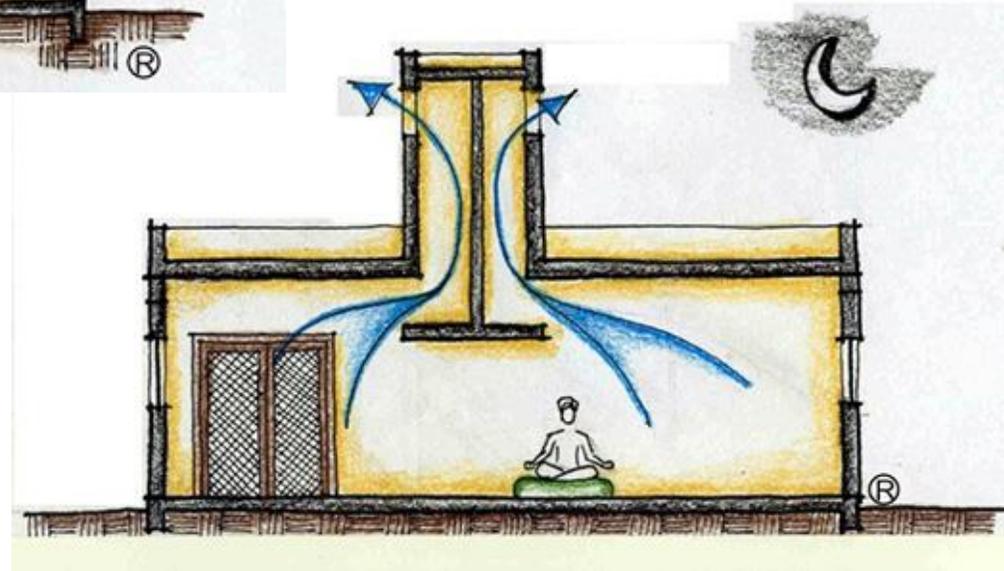
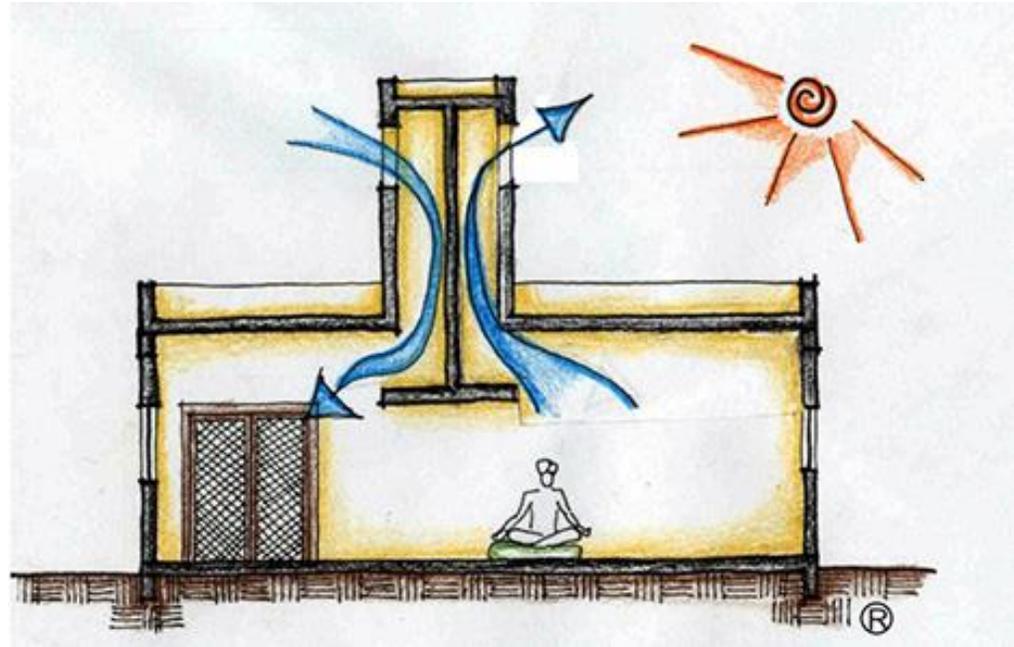
N adotado = 12/h

N verificado = 16/h

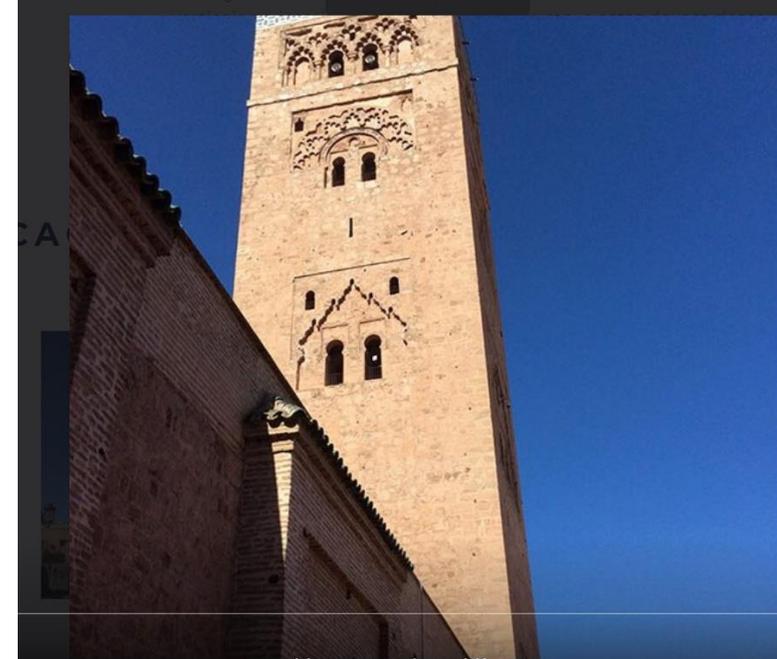
Verificação da ventilação:

adotar um valor de N intermediário e refazer os cálculos até
N verificado ser igual ou até uma unidade maior que N adotado

Ventilação por efeito chaminé



<http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/torres-de-vento/?cod=vn>



Marraqueche - Minarete



Marraqueche - Mesquita - Ventilação

Ventilação por ação dos ventos

Considera-se apenas as diferenças de pressões causadas pela ação dos ventos.

$$\phi_v = c_a * A_0 * v * \sqrt{c_e - c_s} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Φ_v : fluxo de ar por ação dos ventos (m^3/s) ou m^3/h (multiplicar por 3.600));

c_a – coeficiente de perda de carga por ação dos ventos (0,6)

A_0 : área equivalente das aberturas (m^2);

$$1/A_0^2 = 1/A_e^2 + 1/A_s^2$$

A_e : área da abertura de entrada (m^2)

A_s : área da abertura de saída (m^2)

v : velocidade do vento resultante na abertura (m/s);

c_e : coeficiente de pressão da abertura de entrada de ar;

c_s : coeficiente de pressão da abertura de saída de ar.

Ventilação por ação dos ventos

Efeito por AÇÃO DO VENTO – VENTILAÇÃO CRUZADA

A_0 - área equivalente das aberturas (m^2)

$$1/A_0^2 = 1/\sum A_e^2 + 1/\sum A_s^2 + 1/\sum A_i^2$$

A_i^2 – área de aberturas internas (ex: porta)

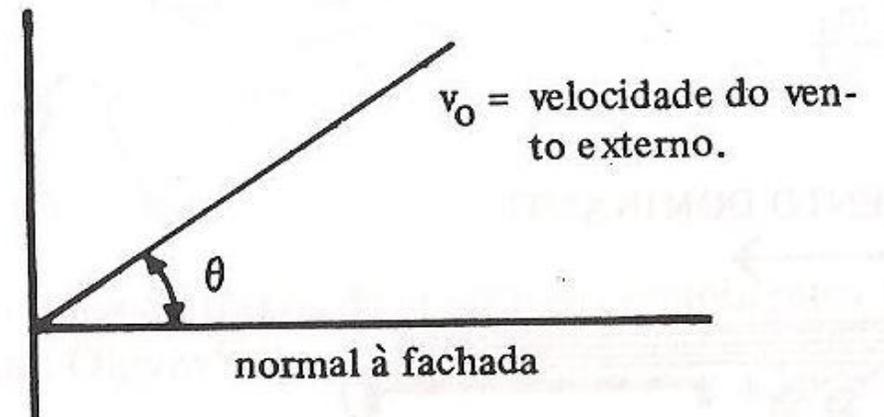
A_e – área de entrada

A_s – área de saída

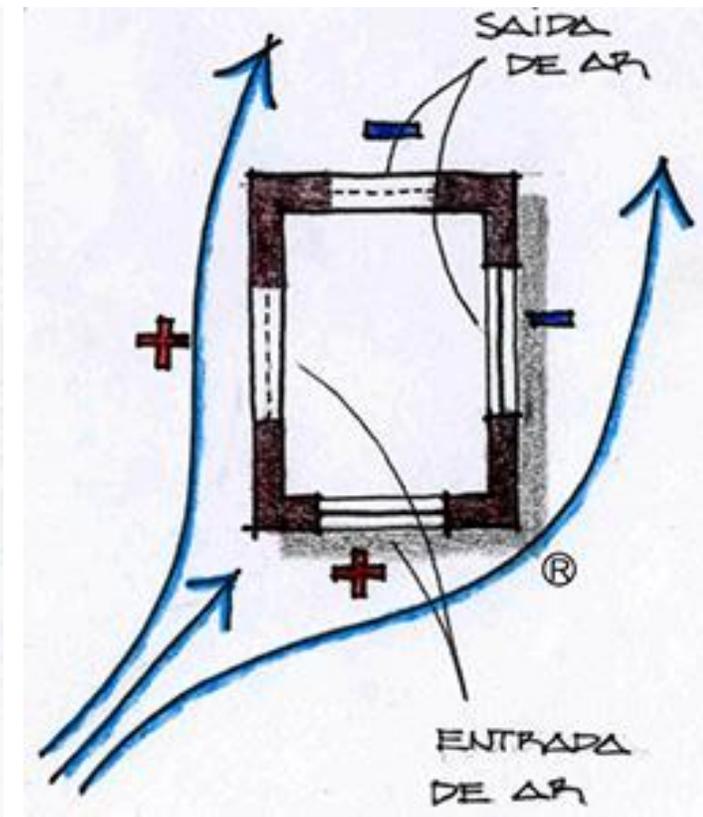
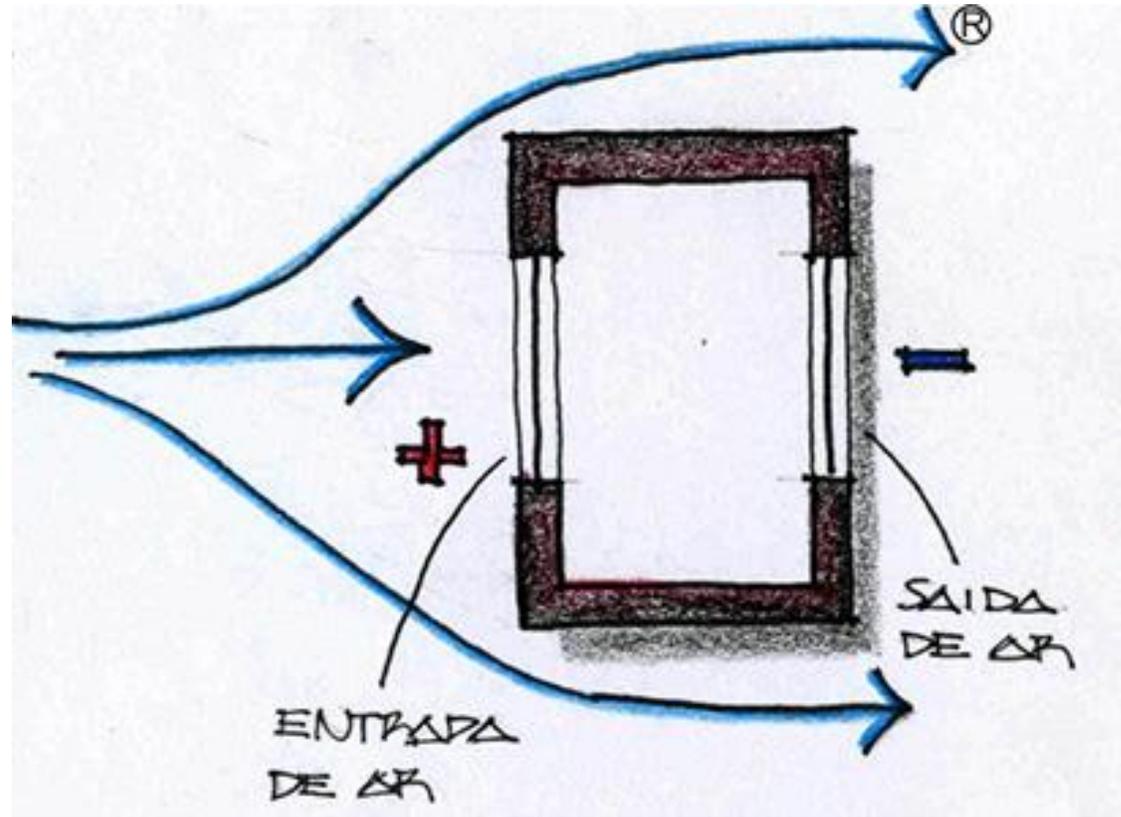
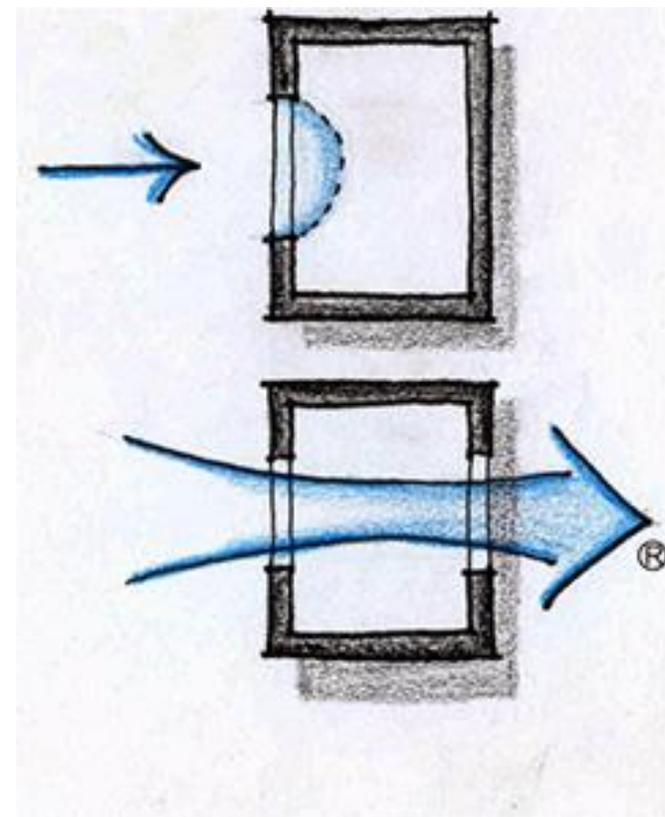
Quando o vento não for normal a abertura:

v – velocidade do vento externo resultante na abertura (m/s)

$$v = v_0 * \cos \theta$$

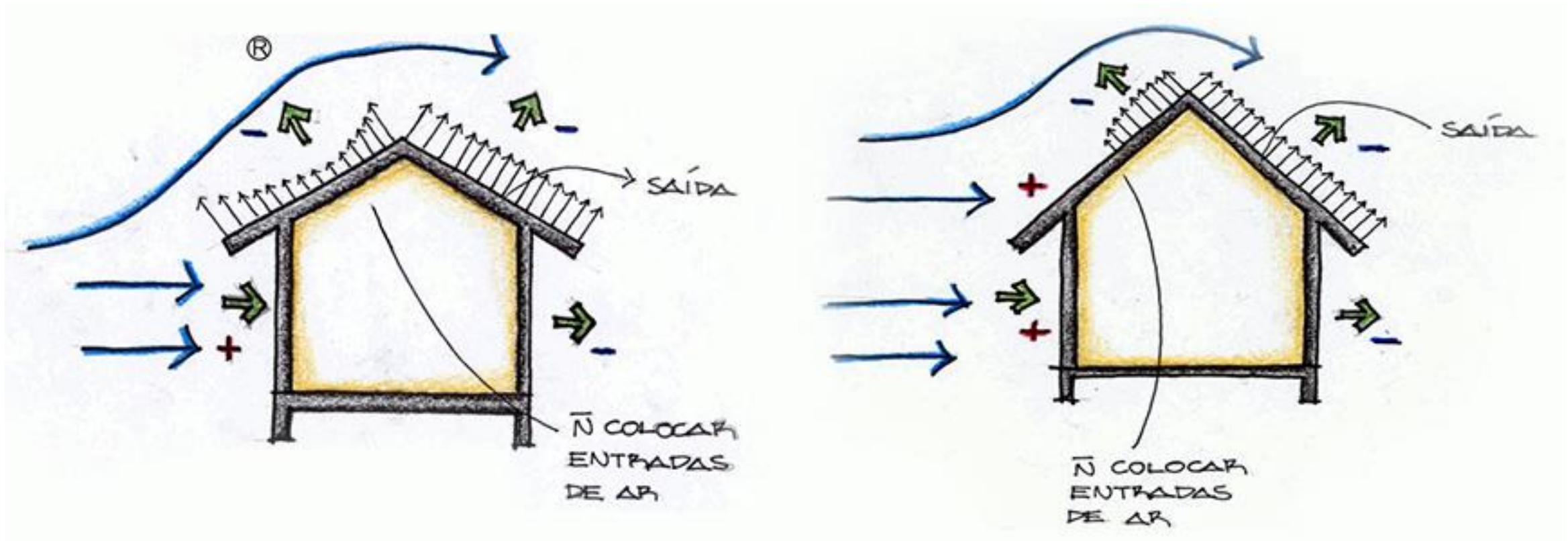


Ventilação por ação dos ventos



<http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>

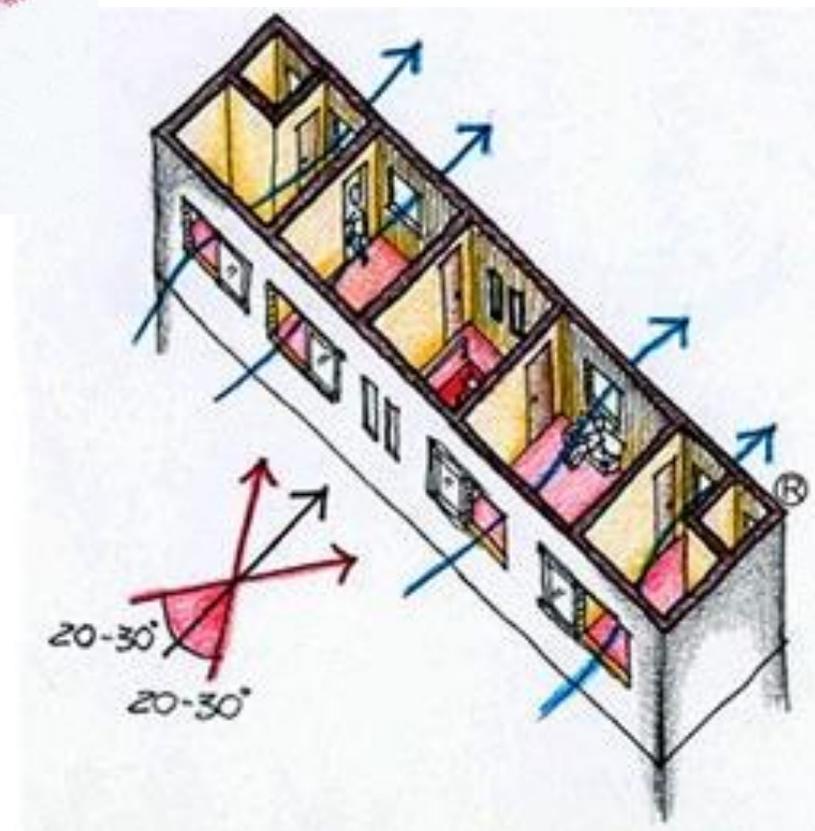
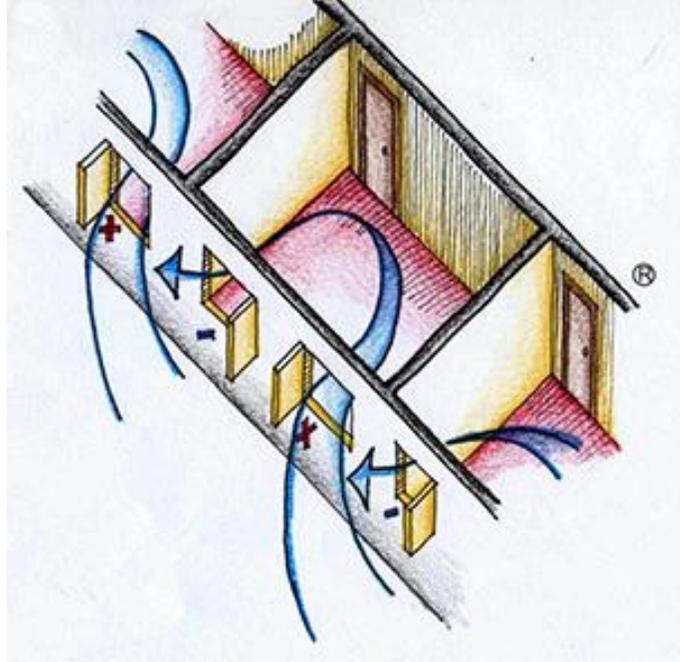
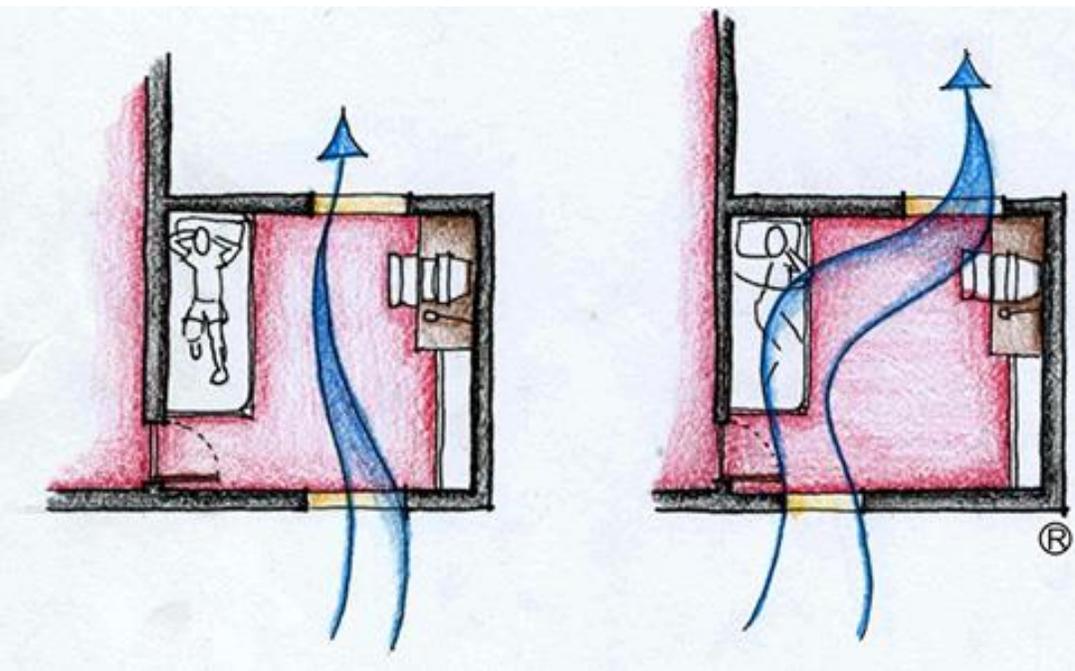
Ventilação por ação dos ventos



<http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>

Ventilação por ação dos ventos

Posição das aberturas, divisão interna/*layout*



<http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/ventilacao-natural/>

Ventilação por ação dos ventos

- Diferença entre FORÇAS DE PRESSÃO do vento que incide no edifício

Correção da Velocidade em altura

$$v = V_{10} * k * z^A \text{ (m/s)}$$

onde:

V ou **V_z**: velocidade do vento na altura desejada (m/s)

V₁₀: velocidade do vento medida no Posto Meteorológico (m/s)

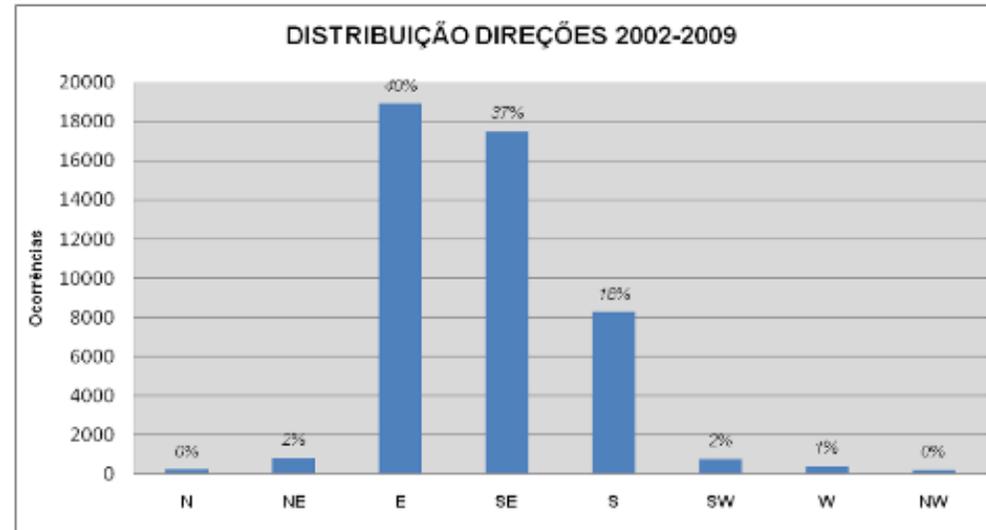
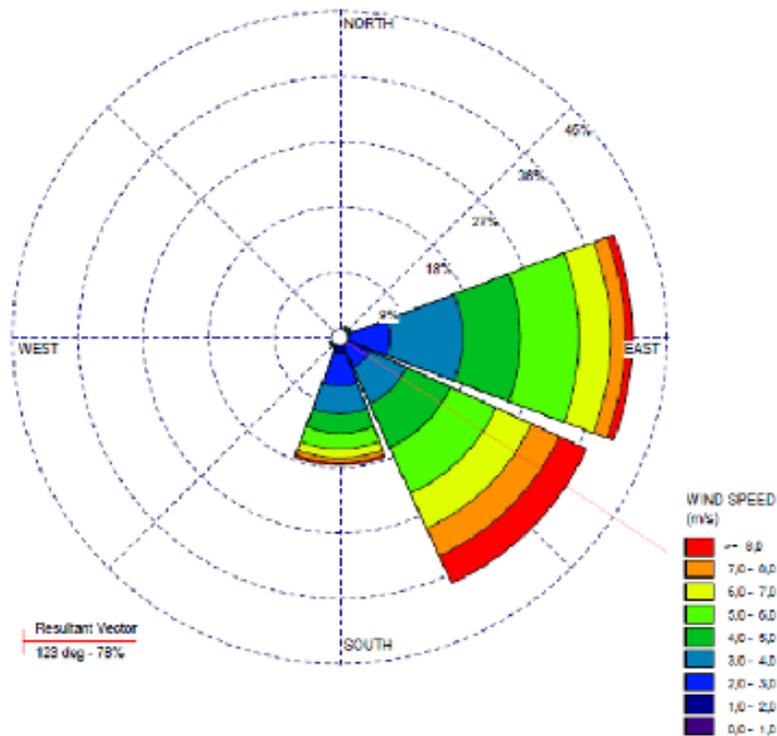
k e **A** dependem da rugosidade do terreno estão na **TABELA**

z altura do ponto na fachada (m)

Aquisição de dados ...

Banco de Dados

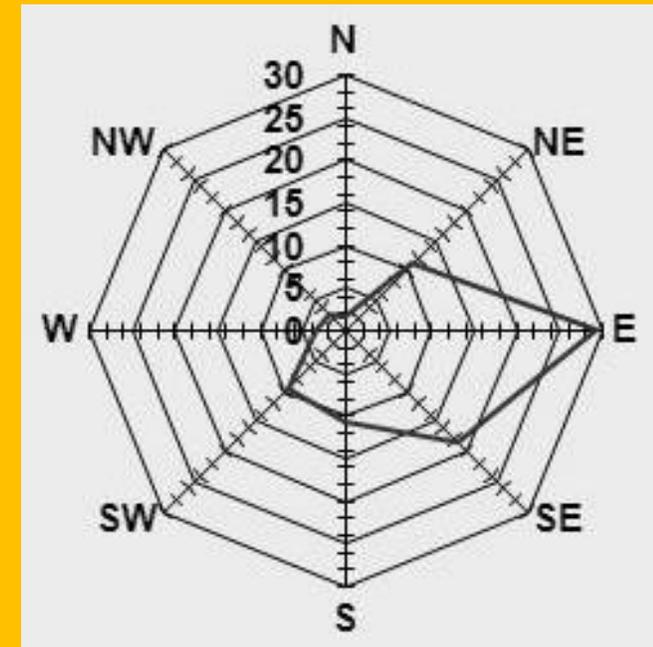
Dados de vento



Rosa dos ventos, gráficos, tabelas,...

Fonte: Leite, 2010.

Frequência de ocorrências



Software WRPLOT View 6.5.1, desenvolvido pela *Lakes Environmental*, licença gratuita pelo período de um ano.

Software SOL-AR: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>

Escala de Beaufort

✓ **Olgay (1963) – escala adequada aos interiores:**

1- 0,25 m/s – Não se sente

2- 0,25m/s a 0,5m/s – Agradável

3- 0,5m/s a 1m/s – Agradável mas já se sentem seus efeitos

4- 1m/s a 1,5m/s – Incômodo

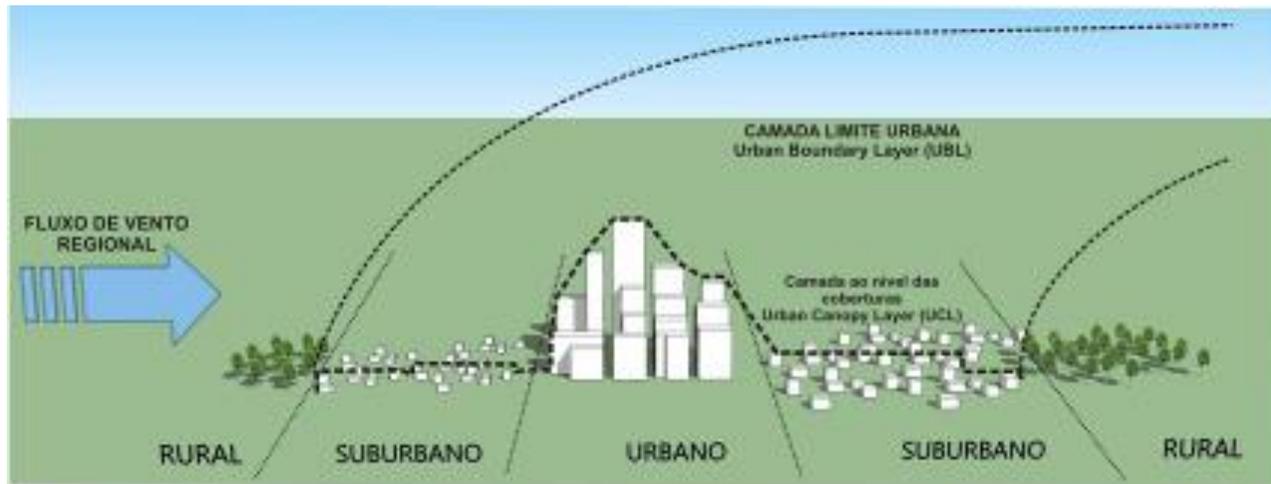
5- Mais de 1,5m/s – Muito incômodo



Escala de Beaufort	Velocidade		Impacto no homem, nos edifícios e na vegetação
	m/s	km/h	
0. Calma	0,0 - 0,5	0,0 - 0,9	sensação de refrescamento
1. "Ventolina "	0,6 - 1,5	1 - 6	movimento perceptível por efeito de resfriamento
2. Brisa suave	1,6 - 3,3	6 - 11	sensação de ar sobre o rosto, movimento de folhas
3. Brisa leve	3,4 - 5,4	12 - 19	movimento dos cabelos, inicia-se um dado desconforto, folhas e bandeiras extendidas se movimentam
4. Brisa moderada	5,5 - 7,9	20 - 28	desconforto, levanta poeira e movimenta pequenos galhos
5. Vento regular	8,0 - 10,7	29 - 38	sente-se a força do vento sobre o corpo, folhas das árvores em pequenos movimentos
6. Vento forte	10,8 - 13,8	39 - 49	ruído de vento nas orelhas, dificulta caminhar, levanta areia e neve, galhos em movimento
7. Vento muito forte	13,9 - 17,1	50 - 61	árvores em movimento, inconveniente para caminhar contra o vento
8. Temporal	17,2 - 20,7	62 - 74	quebra pequenos galhos
9. Temporal forte	20,8 - 24,4	75 - 87	proporciona o desequilíbrio das pessoas, danos leves à edifícios, telhas são levantadas
10. Temporal muito forte	24,5 - 28,4	88 - 102	movimentos praticamente impossíveis, danos estruturais à edifícios.
11. Tempestade	28,5 - 32,6	103 - 117	árvores derrubadas
12. Furacão	> 32,6	> 117	danos extensos à edificações

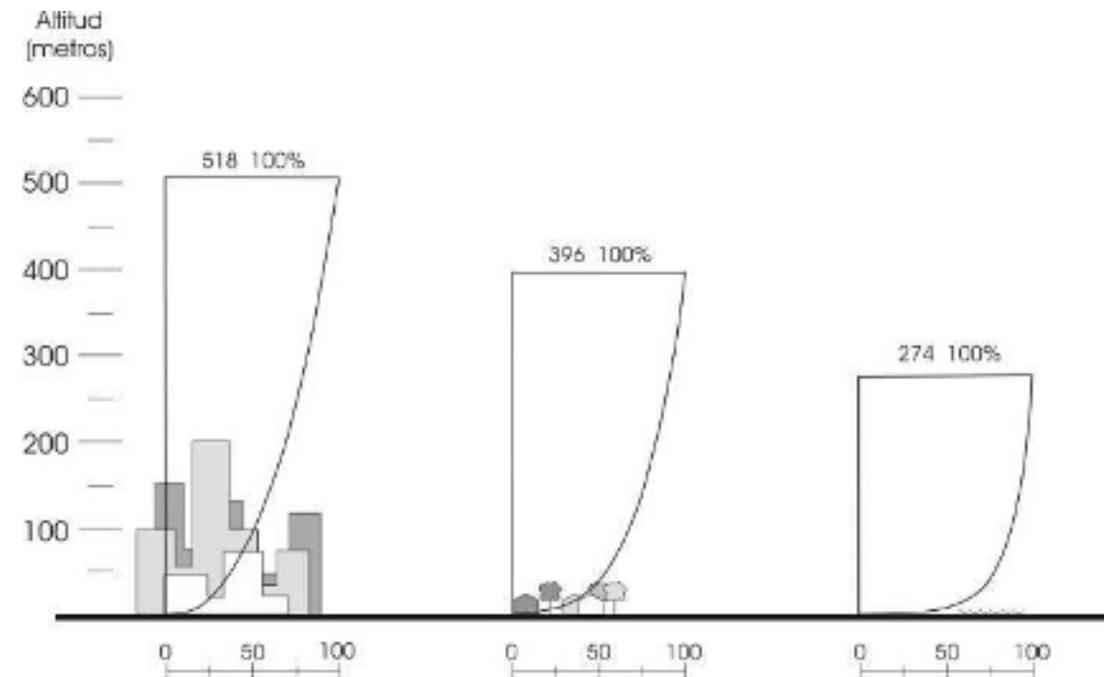
Ventilação por ação dos ventos

Correção da Velocidade em altura



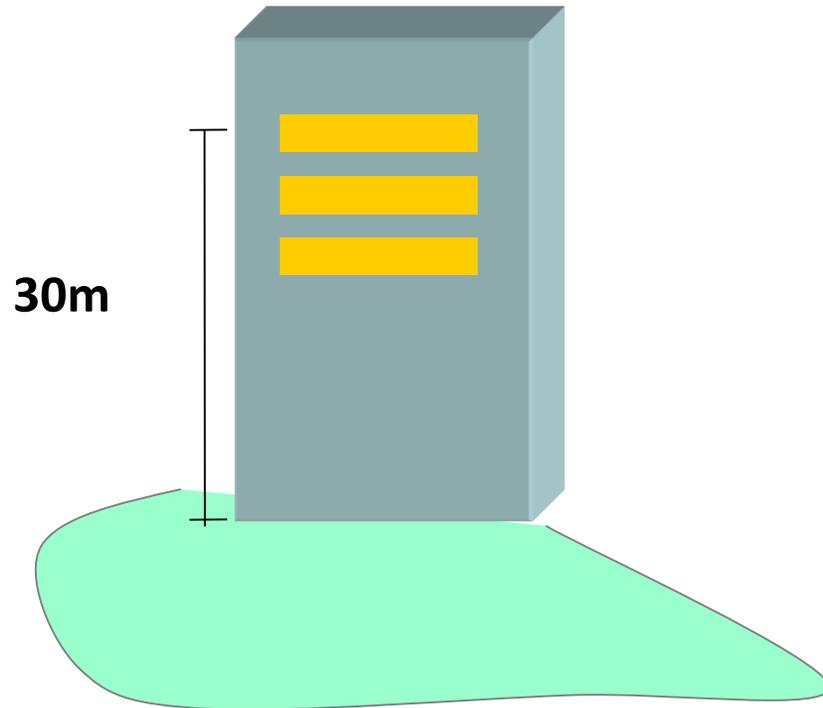
TABELA

LOCALIZAÇÃO	k	A
Campo aberto plano	0.68	0.17
Campo com barreiras	0.52	0.20
Cidade	0.40	0.25
Centro urbano	0.31	0.33



Ventilação por ação dos ventos

Correção da Velocidade em altura - exemplo



$$v = V_{10} * k * z^A \text{ (m/s)}$$

$$V_{10} = 3 \text{ m/s (aeroporto)}$$

Centro urbano

$$K = 0,31 \text{ e } A = 0,33$$

$$Z = 30 \text{ m}$$

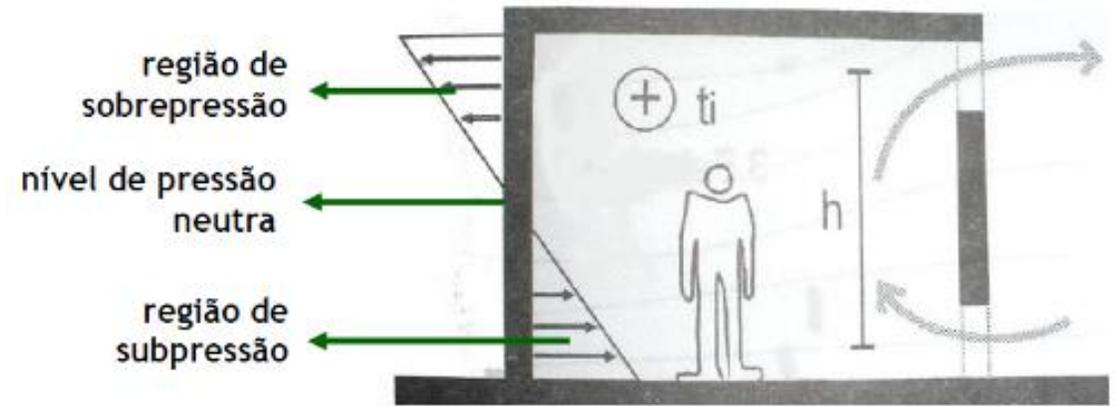
$$V_{30} = 3 * 0,31 * 30^{0,33}$$

$$V_{30} = 2,8 \text{ m/s}$$

Campo aberto $V_{30} = 3,6 \text{ m/s}$

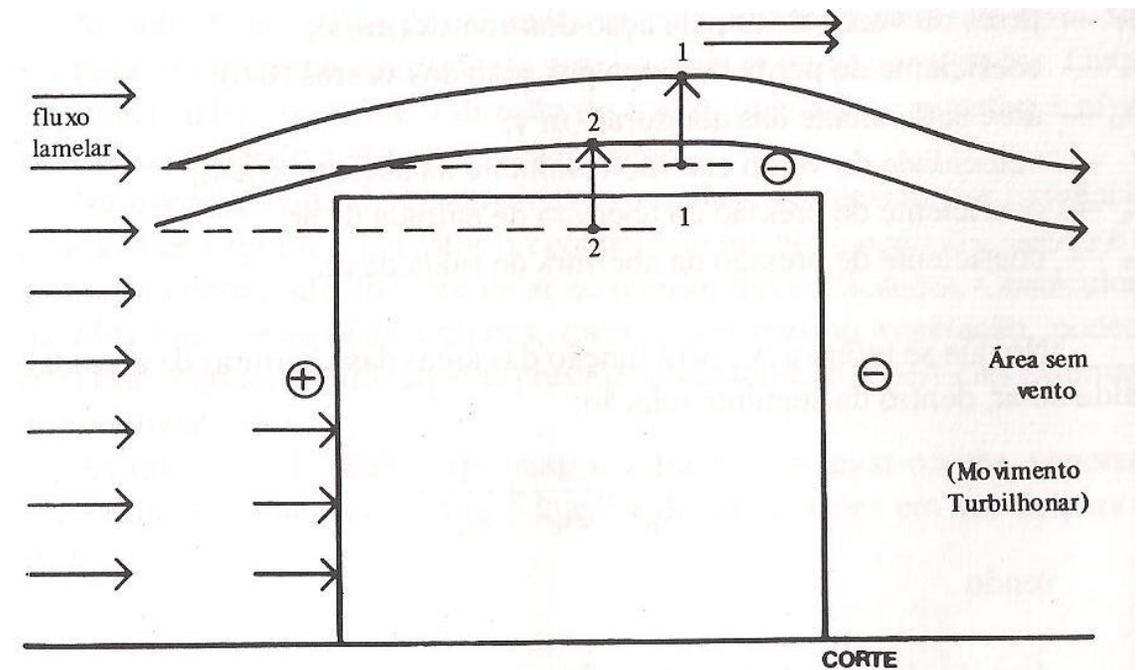
Ventilação por ação dos ventos

Efeito por AÇÃO DO VENTO



$C_e - C_s$: coeficiente de pressão da abertura (entrada/saída)

Para obter os valores – GRÁFICO!!!



GRÁFICOS – manual de conforto térmico

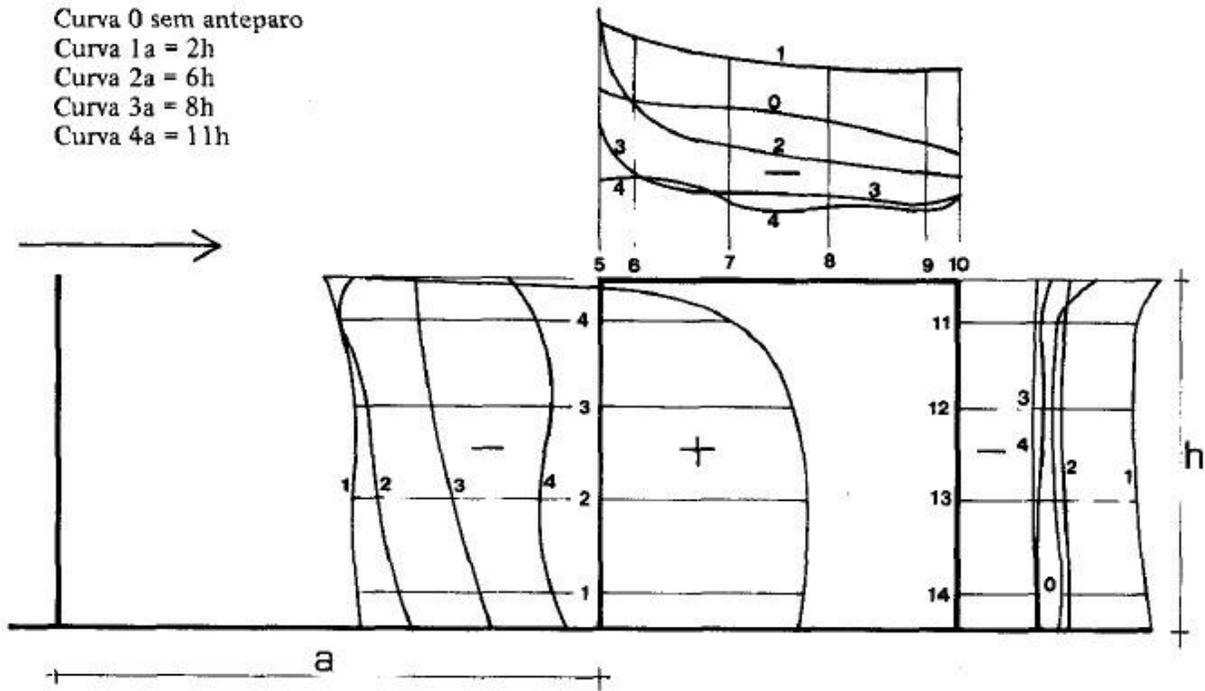


Gráfico de Irminger e Nokkentued para determinação dos coeficientes de pressão para modelos de seção quadrada com anteparo maciço com altura = h .
Fonte: Toledo (1967).

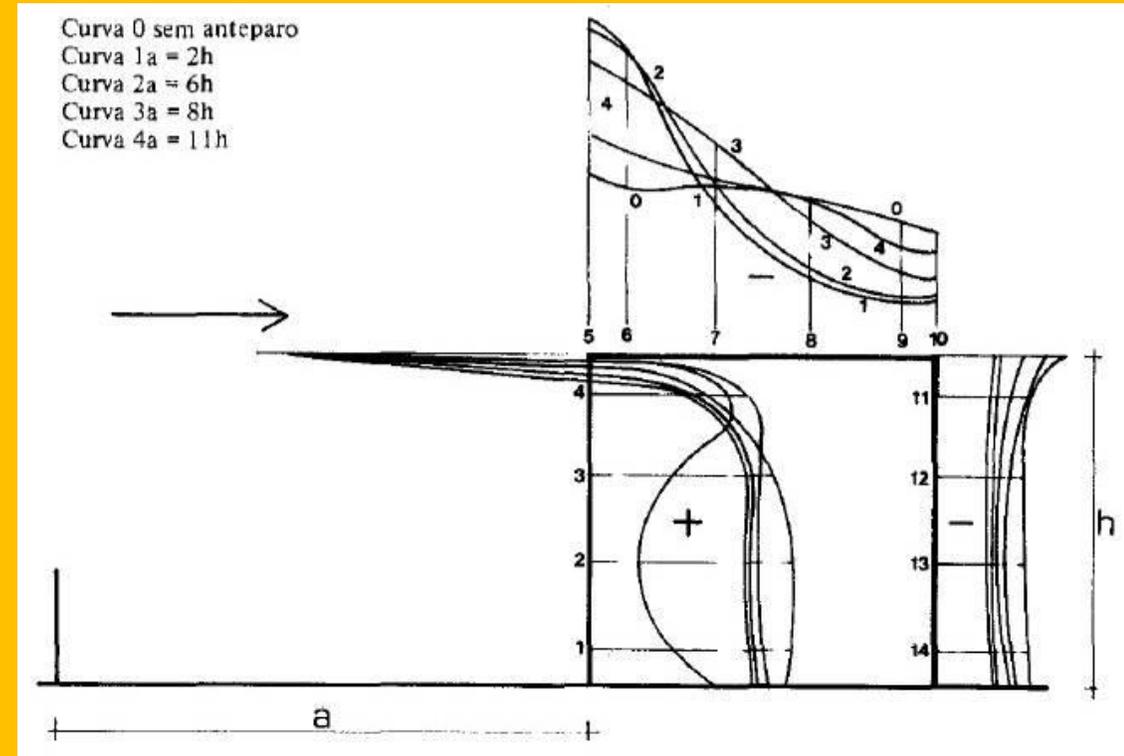
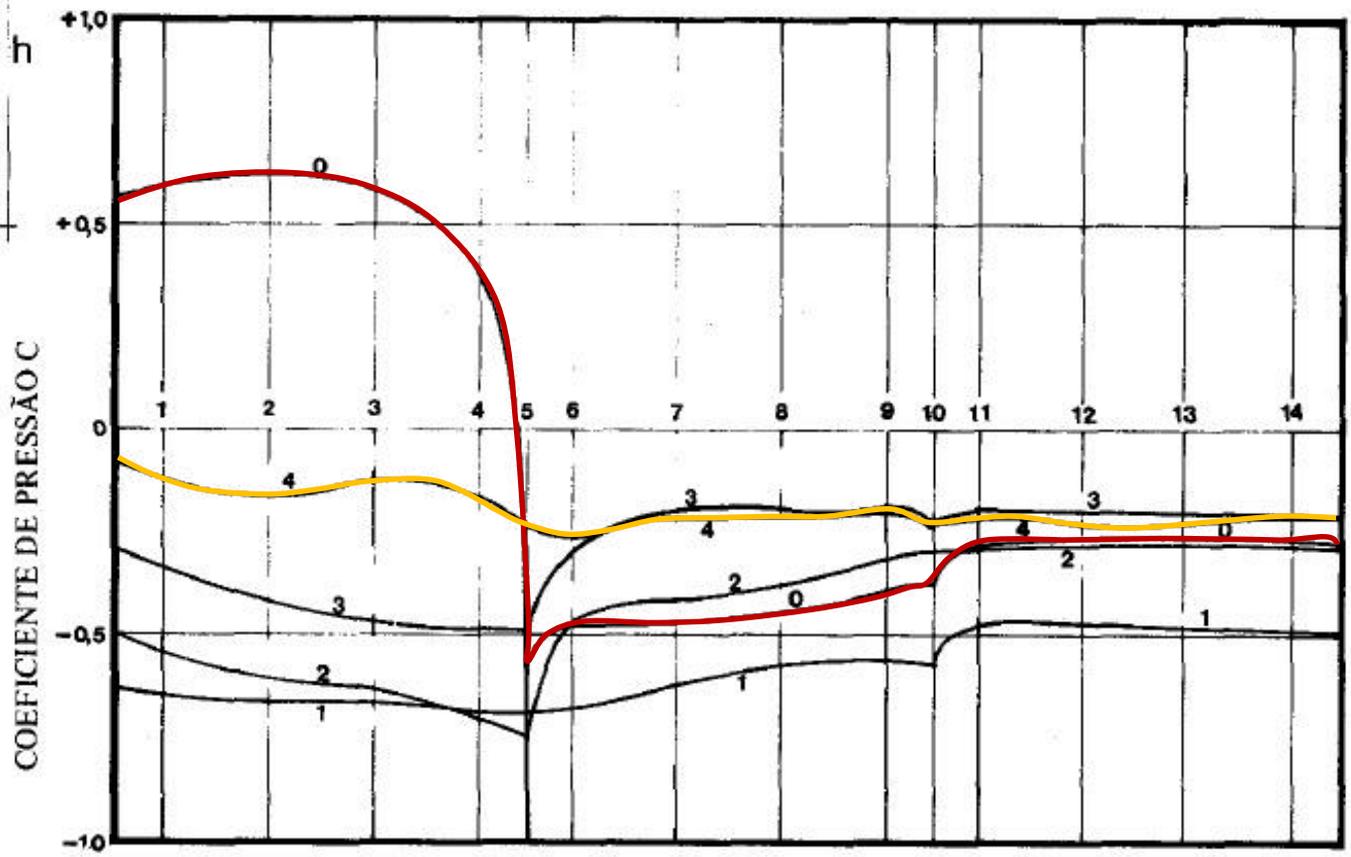
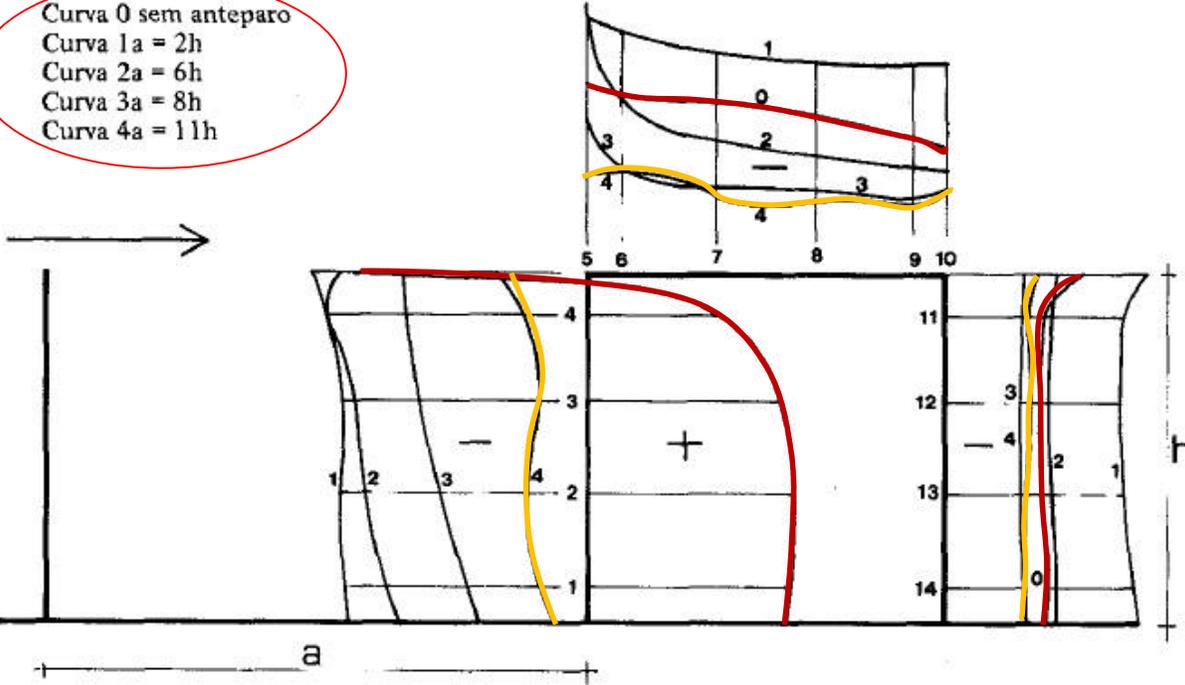


Gráfico de Irminger e Nokkentued para determinação dos coeficientes de pressão para modelos de seção quadrada com anteparo maciço com altura = $h/3$.
Fonte: Toledo (1967).

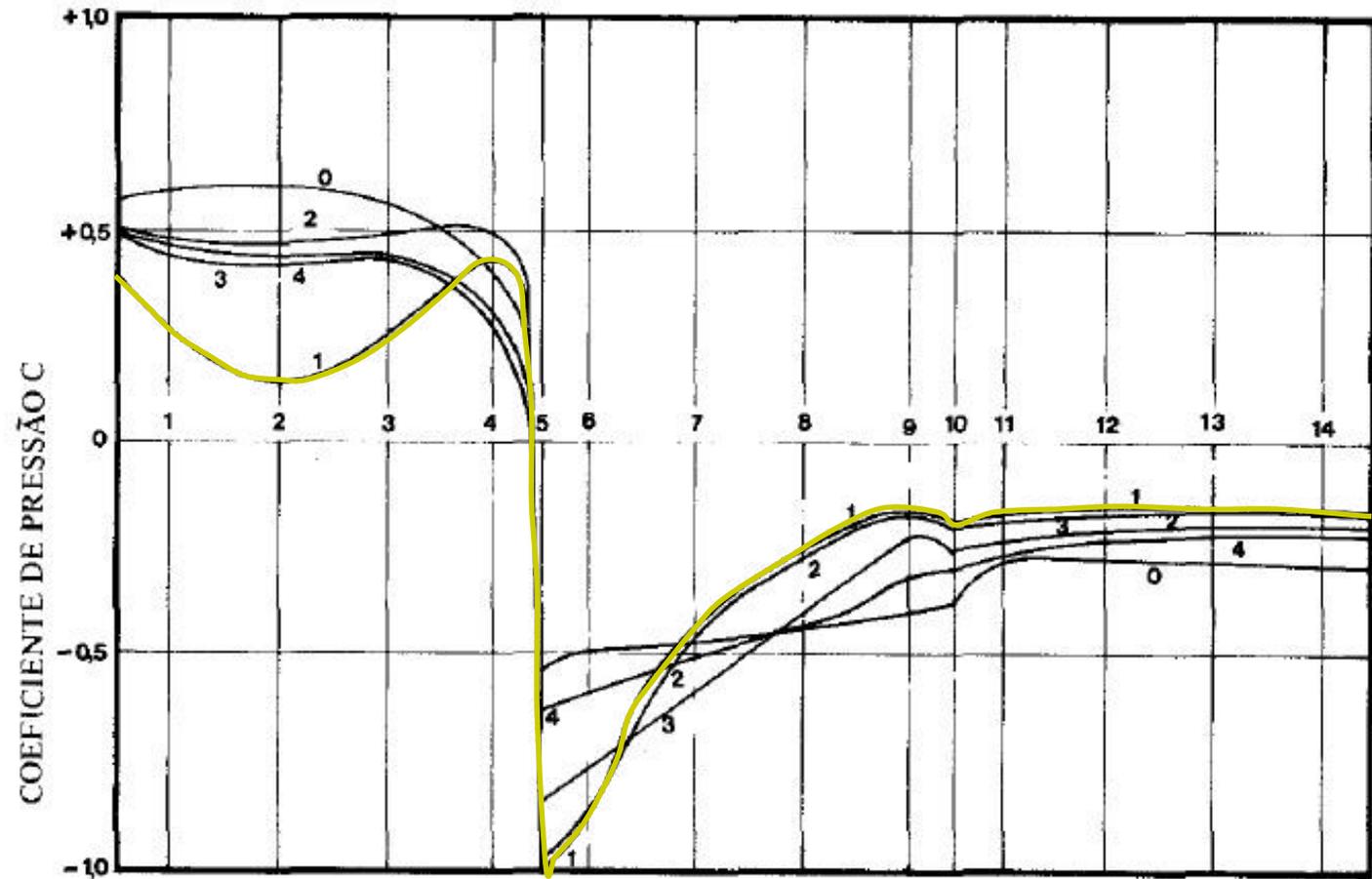
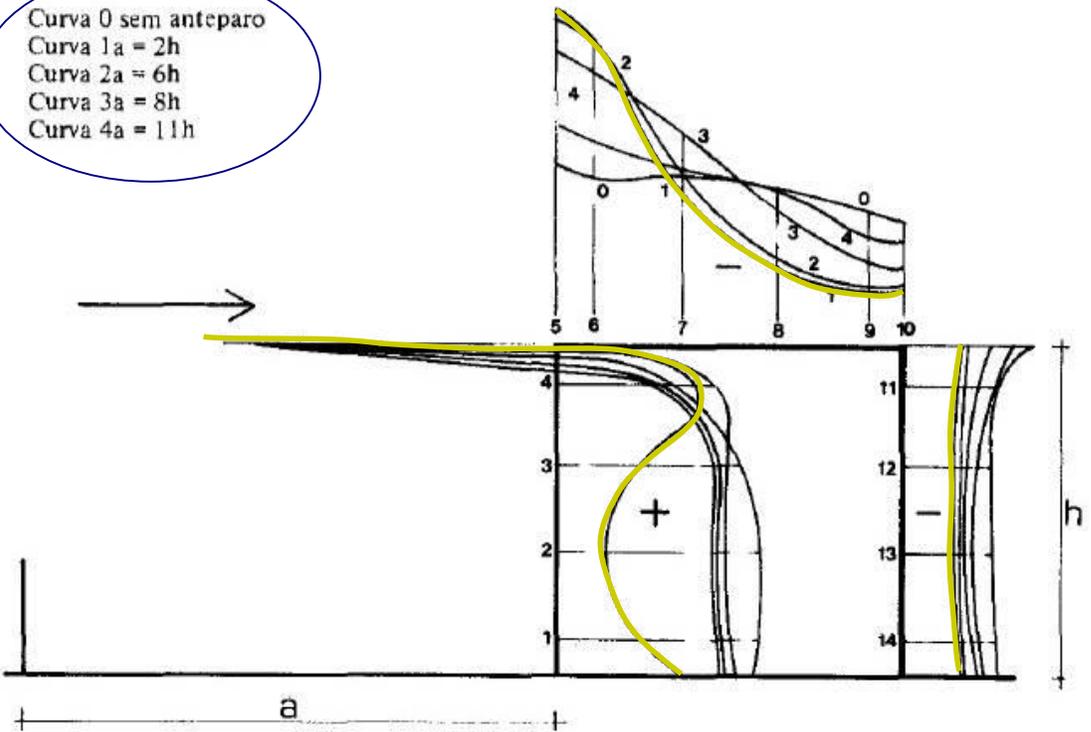
- Curva 0 sem anteparo
- Curva 1a = 2h
- Curva 2a = 6h
- Curva 3a = 8h
- Curva 4a = 11h



Coeficientes de pressão

Gráfico de Irminger e Nokkentued para determinação dos coeficientes de pressão para modelos de seção quadrada com anteparo maciço com altura = h .
 Fonte: Toledo (1967).

Curva 0 sem anteparo
 Curva 1a = 2h
 Curva 2a = 6h
 Curva 3a = 8h
 Curva 4a = 11h

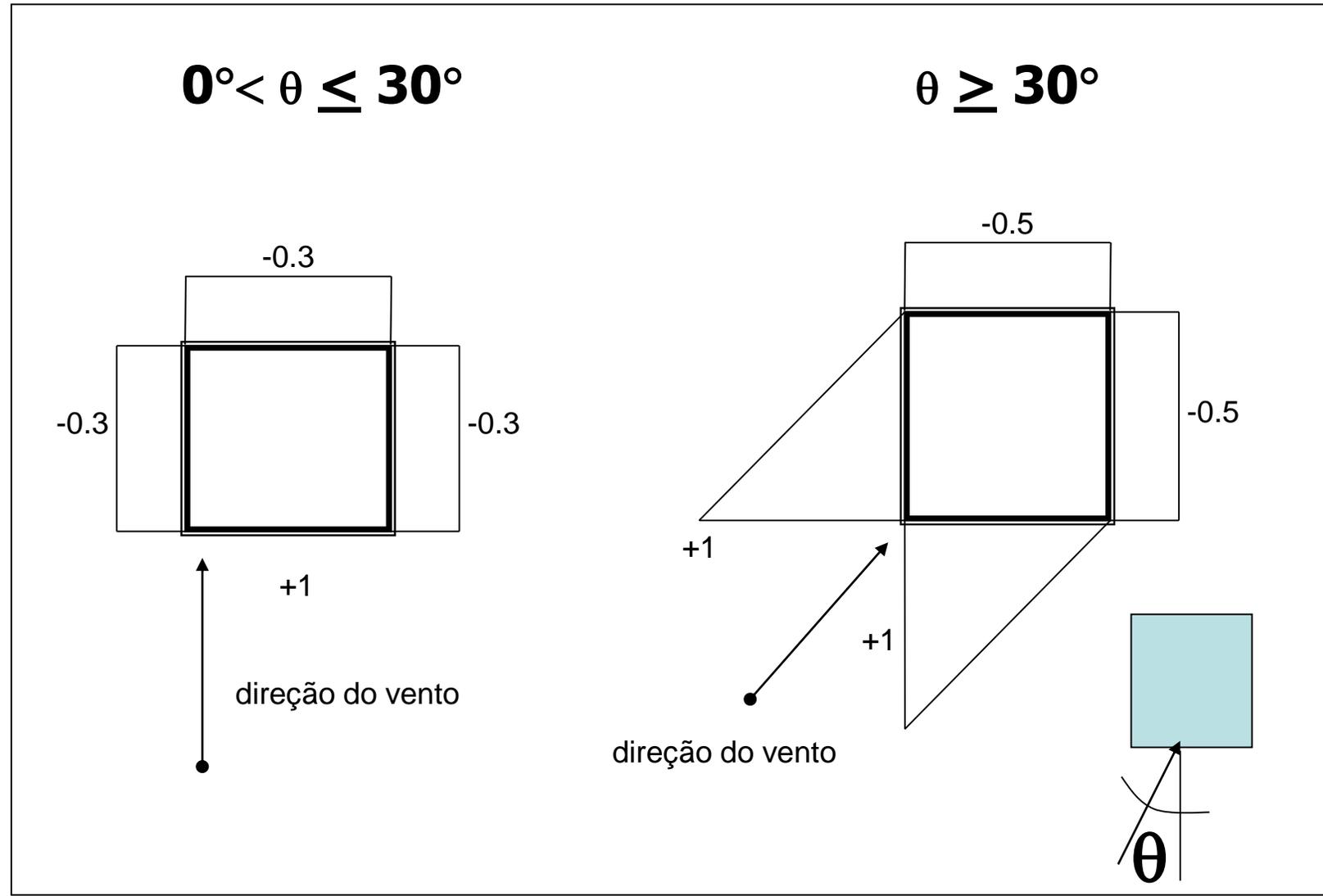


Coeficientes de pressão

Gráfico de Irminger e Nokkentued para determinação dos coeficientes de pressão para modelos de seção quadrada com anteparo maciço com altura = $h/3$.
 Fonte: Toledo (1967).

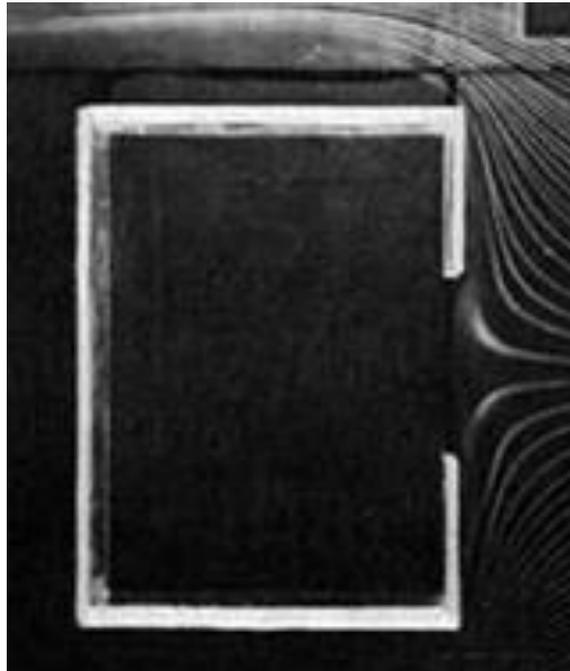
Ventilação por ação dos ventos

Coeficientes de pressão

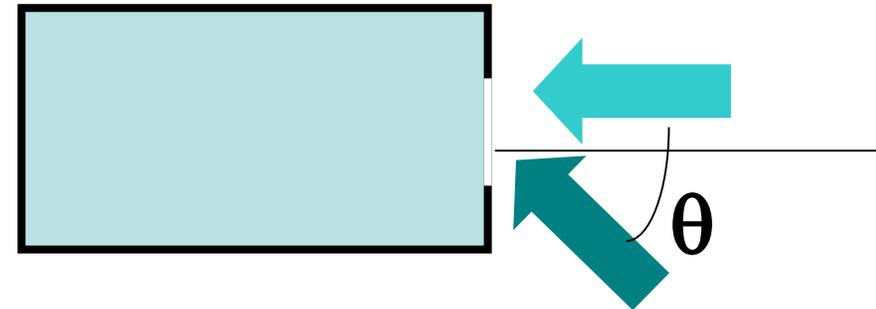


Ventilação por ação dos ventos

Efeito por AÇÃO DO VENTO – VENTILAÇÃO com UMA ÚNICA ABERTURA



$$\phi_v = 0,025 * A * v * \cos \theta \text{ (m}^3\text{/s)}$$



OBS: considerar área efetiva de abertura!

Dicas

(para aumentar a velocidade do ar no interior do ambiente)

vento incidente perpendicularmente à abertura ...

A eficiência da ventilação aumenta quando a área de entrada é menor que a área de saída ;

A eficiência máxima ocorre quando a área da entrada é da ordem de 40% da área total ($E/E+S$)

Program	Research Program	Education Program	Members	Research Facility	Paper References	Bulletin	Events	Recruitments	Link
---------	------------------	-------------------	---------	-------------------	------------------	----------	--------	--------------	------

TOP > Wind Engineering Information Center > TPU Aerodynamic Database

- ▶ APEC Wind Hazard Mitigation Center
- ▶ Wind Engineering Information Center
- ▶ Wind Engineering Research Center
- ▶ Gallery
- ▶ APEC Wind Engineering Network
- ▶ EVO VORTEX-Winds



Secretariat · Inquiry

TOKYO POLYTECHNIC UNIVERSITY
The School of Architecture & Wind Engineering
Global COE program secretariat
〒243-0297
Kanagawa Prefecture Atsugishi Iiyama 1683
TEL&FAX:046-242-9658
E-mail:gcoeoffice@arch.t-kougei.ac.jp

TPU Aerodynamic Database

Wind Engineering Information Center

- Wind Pressure Database for High-Rise Building:**
Wind pressure database based on wind tunnel experiment for high-rise building.
- Wind Pressure Database of Two Adjacent Tall Buildings:**
Wind pressure database based on wind tunnel experiment for high-rise building with various interference building.

Database of Isolated Low-Rise Building Without Eaves:
A collection of data on aerodynamic pressures acting on low-rising building without eaves.

Database of Isolated Low-Rise Building With Eaves:
A collection of data on aerodynamic pressures acting on low-rising building with eaves.

Database of Non-isolated Low-Rise Building :
A collection of data on aerodynamic pressures acting on non-isolated low-rising building.

Note: Data of the isolated low-rise building (CA = 0) with flat, gable and hip roofs were deleted. Data of CA = 0 can be downloaded at Database of Isolated Low-Rise Building

Aerodynamic database for low-rise buildings Wind Tunnel Test

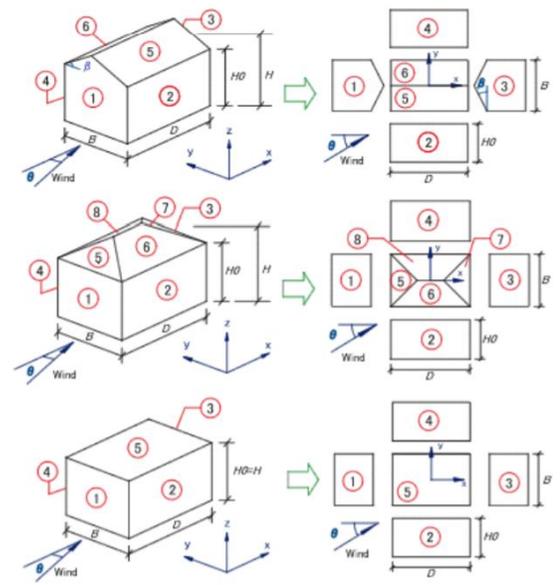
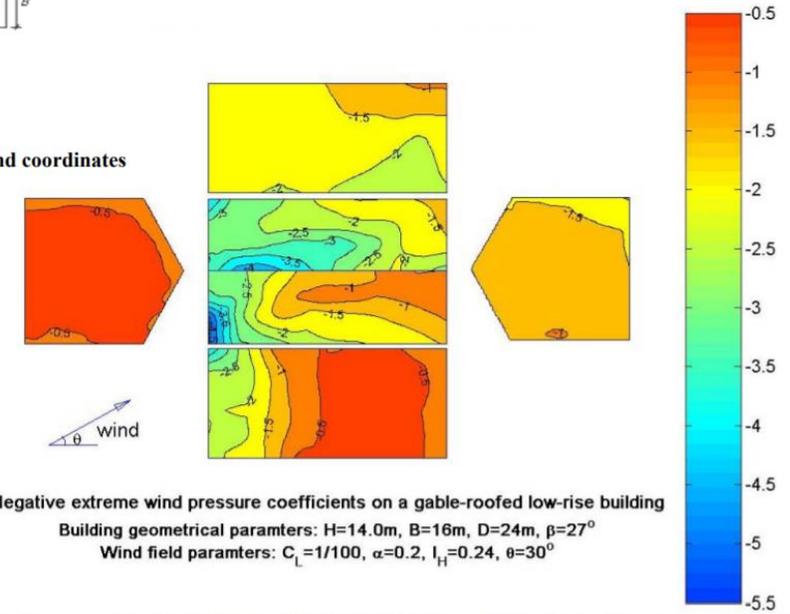


Figure 2. Test model and definitions of geometrical parameters and coordinates



6. An example of contours of statistical values of local wind pressure coefficients

<http://wind.arch.t-kougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu>

Ventilação por efeito conjugado

Efeito Simultâneo (Efeito de Vento + Efeito Chaminé)

Análise qualitativa dos dois mecanismos de ventilação:

- **NÃO** podem ocorrer em oposição
- a ação do vento deve proporcionar incremento na ventilação do recinto
- real papel das aberturas de saída de ar quando submetidas à ação do vento

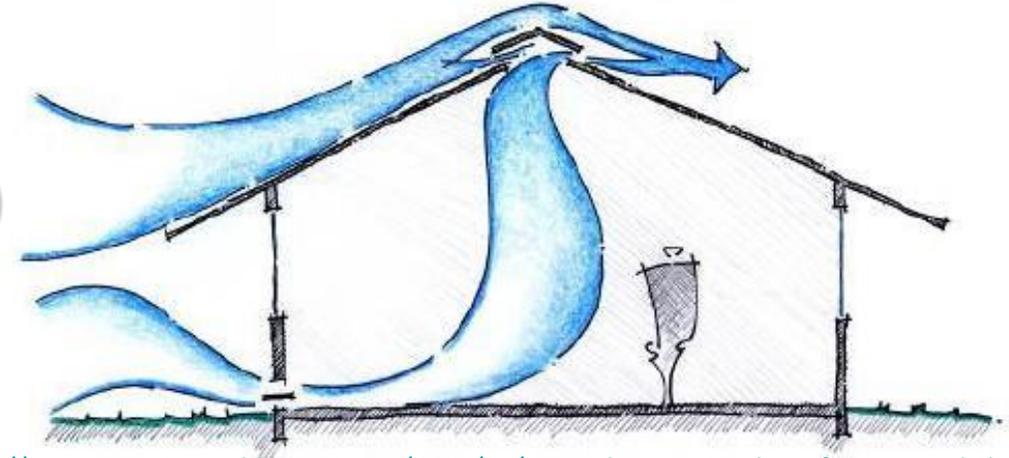
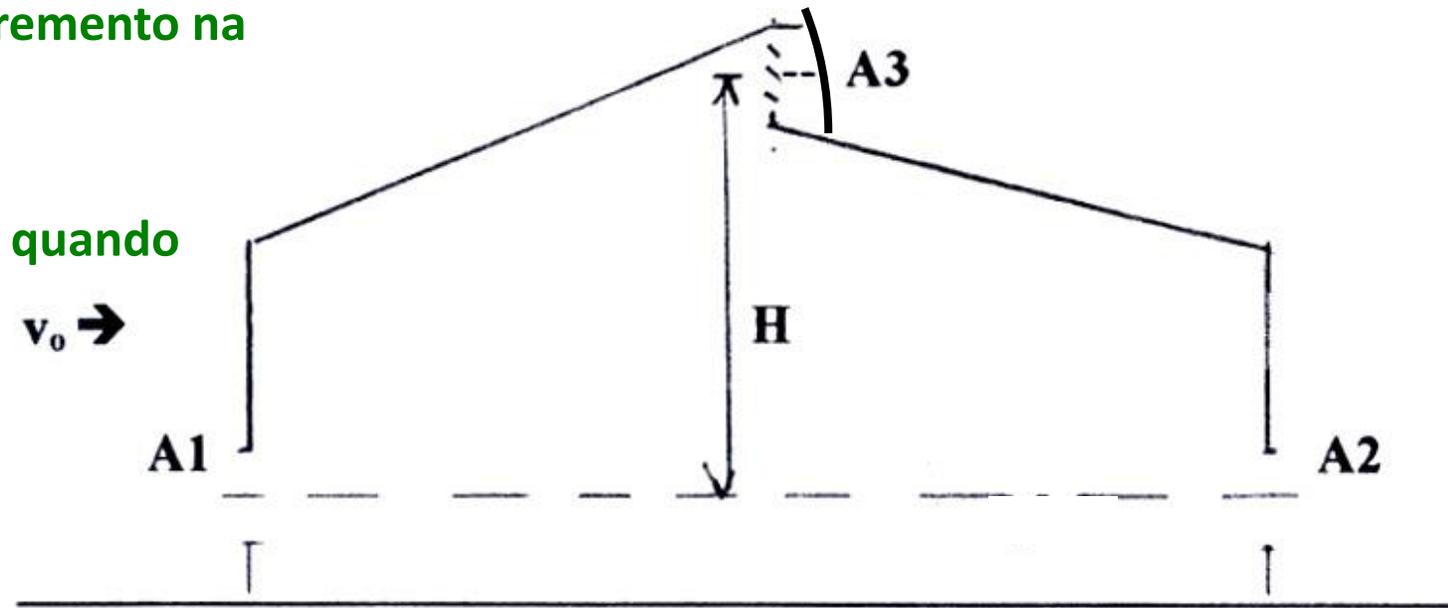


Imagem: <http://movimentoterras.blogspot.com/2012/09/a-ventilacao-natural-e-o-fenomeno-da.html>



Efeito Simultâneo (Efeito de Vento + Efeito Chaminé)

Diferença de **TEMPERATURA** entre ambiente interno e externo + Diferença de **PRESSÃO** do vento nas aberturas

$$\phi_{TOTAL} = \frac{\phi_c}{(\phi_c + \phi_v)}$$

$$\phi_r = \phi_c * fr$$

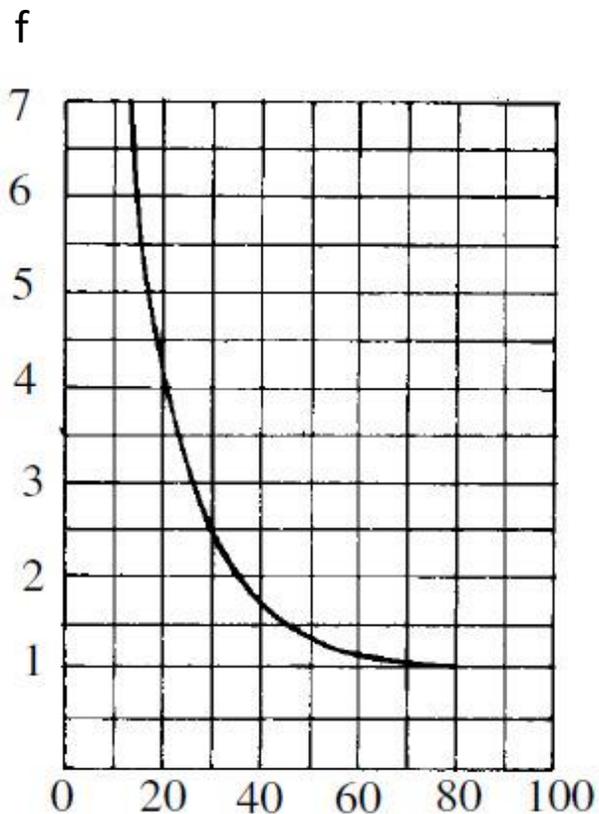
ϕ_r – real fluxo (m³/s)

fr – fator para multiplicar o fluxo por diferença de temperatura

Nota - Janela com tela: reduzir vazão a 30%

REAL FLUXO COMO MÚLTIPLO DO FLUXO DEVIDO À DIFERENÇA DE TEMPERATURA

$$\phi_r = \phi_c . f$$



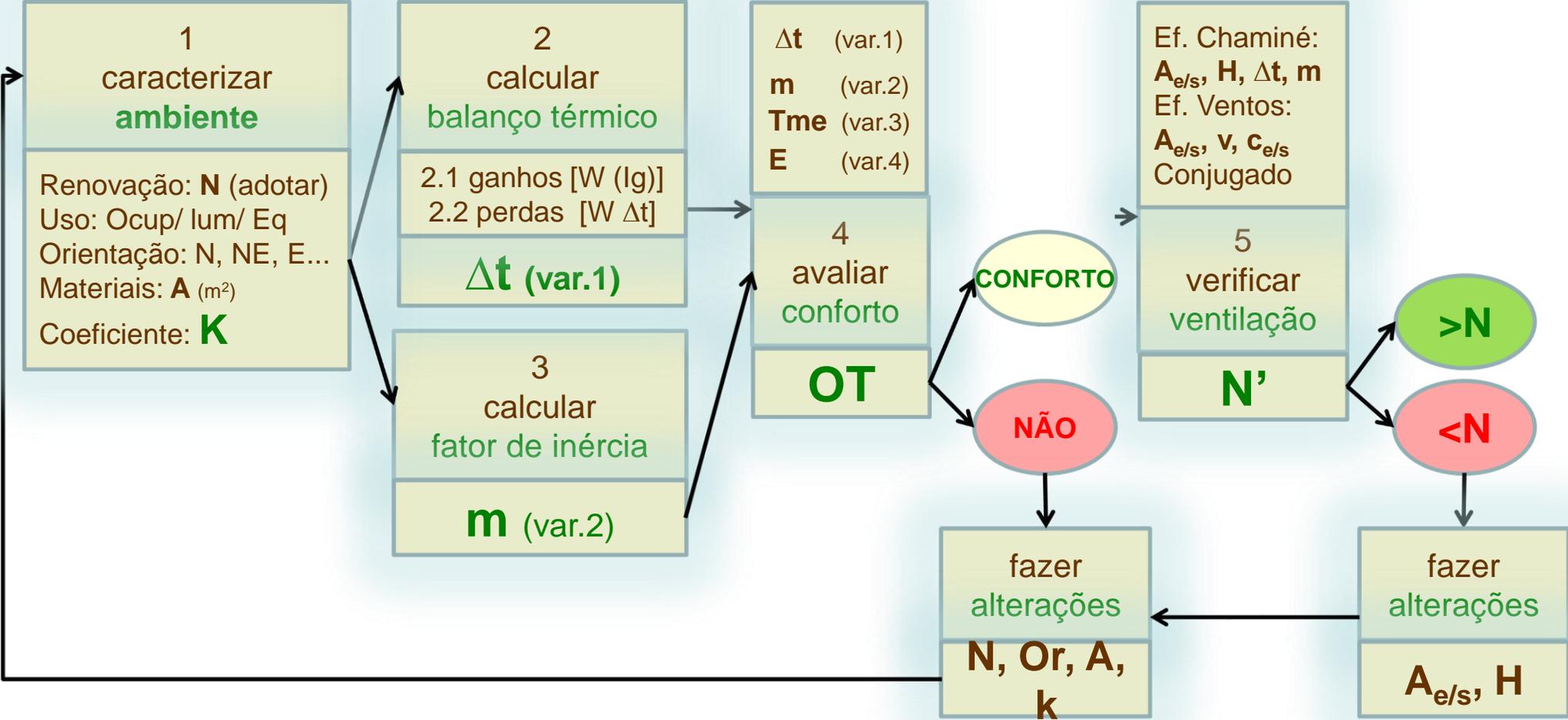
FLUXO DEVIDO À DIFERENÇA DE TEMPERATURA COMO PERCENTUAL DO TOTAL

$$= \phi_c / (\phi_c + \phi_v) \%$$

Fonte A.S.H.R.A.E. (1977).

1. Introdução
2. Ventilação Natural
3. Procedimentos de Cálculo
4. Exemplos Projetuais e Aplicações
- 5. Considerações Finais**

Modelo de cálculo de desempenho térmico da edificação



Considerações Finais

- ✓ Objetivo dos procedimentos de cálculo
- ✓ Seleção dos dados de entrada
- ✓ Interpretação dos dados de saída
- ✓ Interação com o processo de projeto

Considerações Finais – ventilação natural

Roteiro de Cálculo no Projeto – ambiente interno

- ✓ Calcular vazão de ar mínima para garantir condições de higiene;
- ✓ **Calcular a carga térmica total (W/m^2);**
- ✓ **Calcular a vazão de ar necessária para extrair a carga térmica;**
- ✓ **Dadas as aberturas, calcular a vazão por efeito chaminé e vazão por efeito de vento;**
- ✓ **Identificar o número de renovações – temperatura interna;**
- ✓ **Redimensionar as aberturasou reduzir a carga térmica acumulada no interior do ambiente**

REFERÊNCIA BÁSICA

FROTA, Anésia; SCHIFFER, Sueli. *Manual de Conforto Térmico*. São Paulo: Nobel, 2018

REFERÊNCIAS CITADAS

A.S.H.R.A.E. *Handbook of fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1977.

C.S.T.B. Centre Scientifique et Technique du Batiment. *R.E.E.F. 58*. Hygrothermique et ventilation (D5). Paris, 1958.

CROISET, M. *L'hygrothermique dans le batiment*. Paris, Eyrolles, 1972.

EVANS, Benjamin H. *Natural air flow around buildings*. Texas Engineering Experiment Station, Research Report nº 59, 1957.

GOMES, R. J. *Condicionamento climático da envolvente dos edifícios para habitação*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1962.

GONÇALVES, H. *O sol nos edifícios*. Rio de Janeiro, Lemos, 1955.

INTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normais Climatológicas*. Rio de Janeiro. 1931/60, 1984 e 1961/90, 1992. 3ª ed.

KOENIGSBERGER, O. et alii. *Vivienda y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Trad. Emilio Romero Ros. Madrid, Paraninfo, 1977.

MESQUITA, A.L.S. *Engenharia de ventilação*. São Paulo, Edgard Blucher, 1977.

OLGYAY, V. *Design with climate*. New Jersey, Princeton University, 1963.

PUPPO, E.; PUPPO, O. *Acondicionamento natural y arquitectura*. Ecologia en arquitectura. Barcelona, Marcombo-Boixareu, 1979.

TOLEDO, E. *Ventilação natural dos edifícios*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1967.