



Ventilação natural

CONFORTO AMBIENTAL I – TÉRMICA

MATERIAL DIDÁTICO

PROF.ª DR.ª ERIKA CICONELLI DE FIGUEIREDO

Relevância do Estudo da Ventilação Natural

- Uma ampla revisão da literatura, a respeito do movimento de ar através dos interiores e ao redor das construções, foi realizada por Bowen (1983).
- Ele observou que **muitas informações** divulgadas sobre ventilação natural **estão equivocadas, visto que são, freqüentemente, baseadas em “conhecimentos limitados e na imaginação fértil de projetistas, que não pesquisaram exaustivamente o assunto”**.
- Daí surgiu a conhecida observação, comumente citada pelos estudiosos da ventilação natural, de que, **infelizmente, o vento não segue as setas desenhadas pelo arquiteto** quando da elaboração de seus projetos (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 51).

Ventilação

- Natural

- ✓ produzida por diferença de densidades (temperatura) –
ventilação por efeito chaminé
- ✓ o movimento do ar ocorre em função das pressões dinâmicas produzidas pelo vento ao atingir as edificações –
ventilação devido à ação dos ventos



VENTILAÇÃO NATURAL

POR QUE UTILIZAR?

Ventilação Natural

- Manutenção da qualidade do ar nos ambientes internos;
- Remoção da carga térmica acumulada (ganhos internos e externos);
- Resfriamento fisiológico dos usuários.



Tolerância Velocidade Ventos

- A velocidade máxima pode variar entre 0,5 e 2,5 m/s (SPAIN, 1986 apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).
- Limite da velocidade definido devido à problemas práticos, como desarranjo de papéis sobre mesas, penteados, etc (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).
- A tolerância à turbulência é maior em locais de climas quentes e úmidos do que em regiões de climas frios (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010).





Ventilação Natural

- Grande parte do território brasileiro é constituído por regiões com clima quente e úmido.
- Estratégias bioclimáticas de projeto arquitetônico:
 - ✓ Controlar os ganhos de calor nas construções;
 - ✓ Remover a carga térmica.
- Redução dos ganhos de calor:
 - ✓ Sombreamento da envoltória das edificações (principalmente dos painéis envidraçados);
 - ✓ Utilização de cores claras nos componentes opacos (refletir parte da radiação solar incidente).

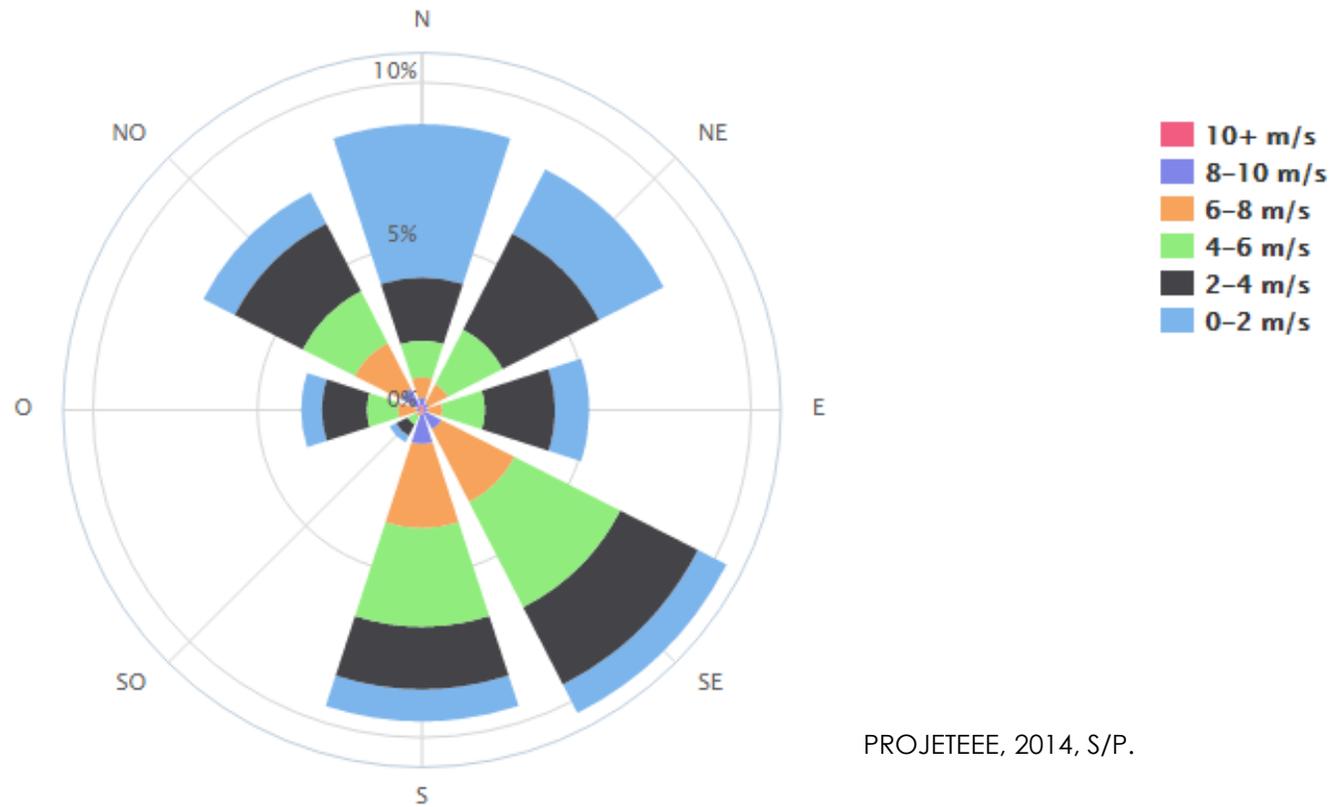


Ventilação Natural

- Regiões com ventos de direção estável e velocidade acima de 2,5 m/s: estratégia mais simples e eficiente (DUTT; DEAR; KRISHNAN, 1992 , apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010)
- Ventos com temperatura acima de 34°C podem se tornar indesejáveis (BOWEN, 1981, apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010)
- Períodos de calmaria devem utilizar ventilação mecânica (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010)

Cidade de São Paulo

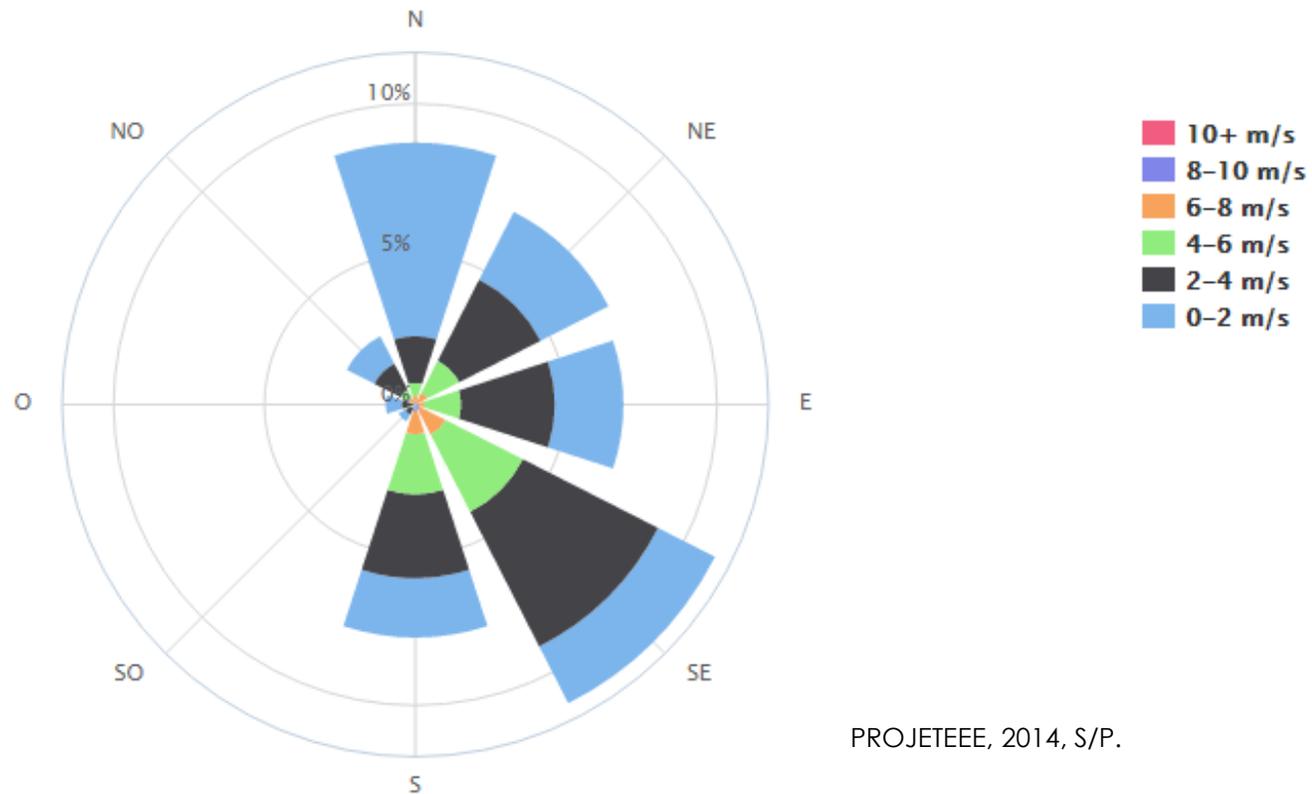
Gráfico Rosa dos Ventos (Dia)



PROJETEEEE, 2014, S/P.

Cidade de São Paulo

Gráfico Rosa dos Ventos (Noite)

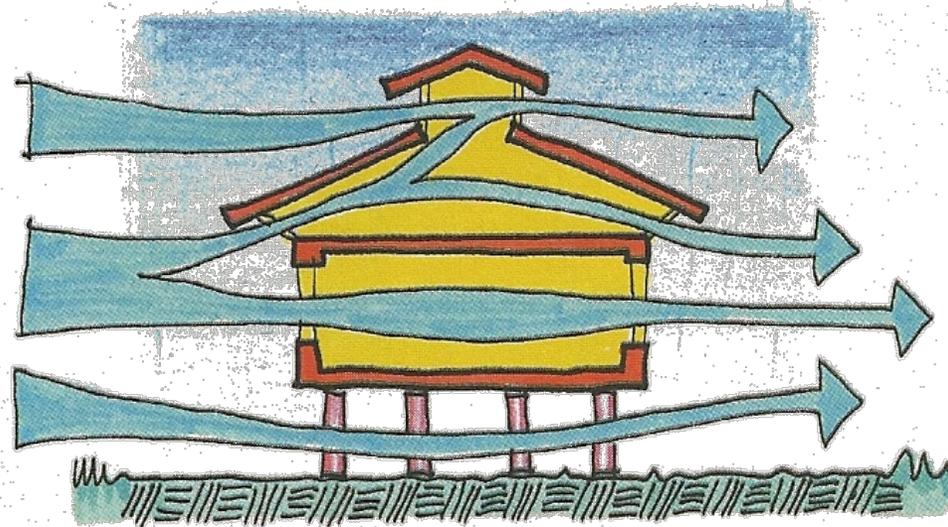


PROJETEEEE, 2014, S/P.

Ventilação Natural

Forma e Orientação

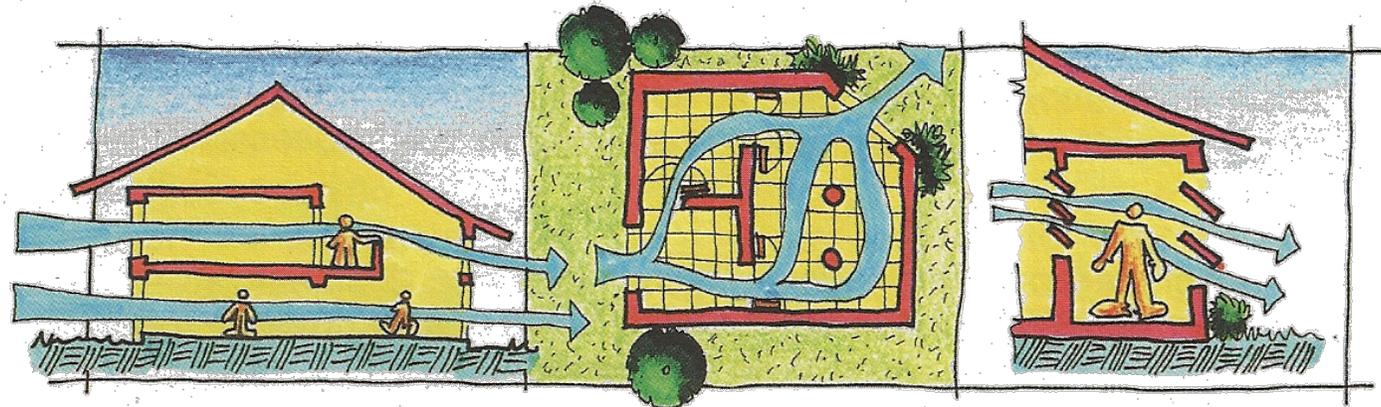
- Forma da edificação influencia no movimento do ar
- Orientação da edificação, voltando as aberturas para as brisas do verão



Ventilação Natural

Espaços Fluidos

- Circulação do ar entre os ambientes internos
- Venezianas e elementos vazados podem ser usados para manter a privacidade e permitir a circulação de ar (LABCON).

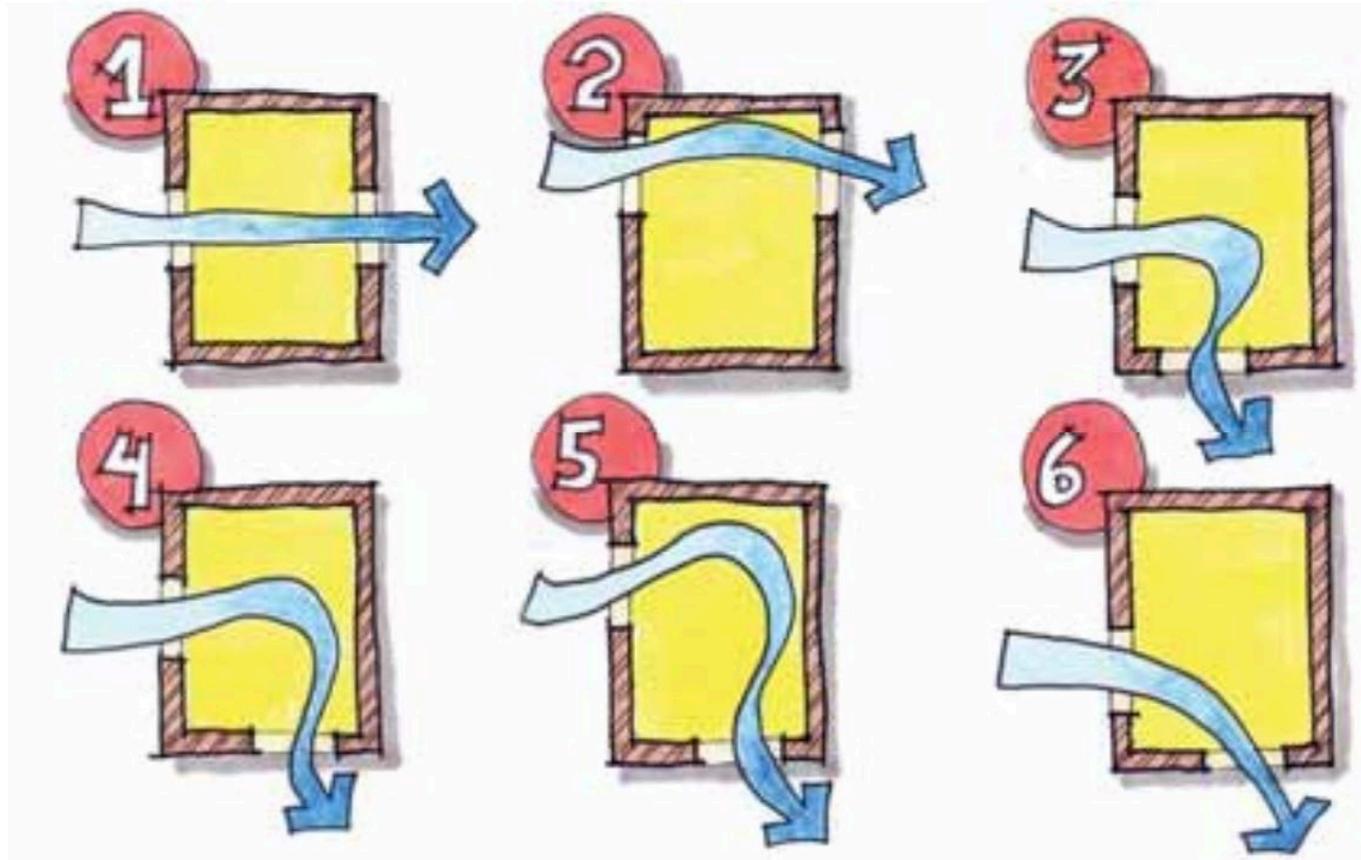


Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira, 2004

Ventilação Natural

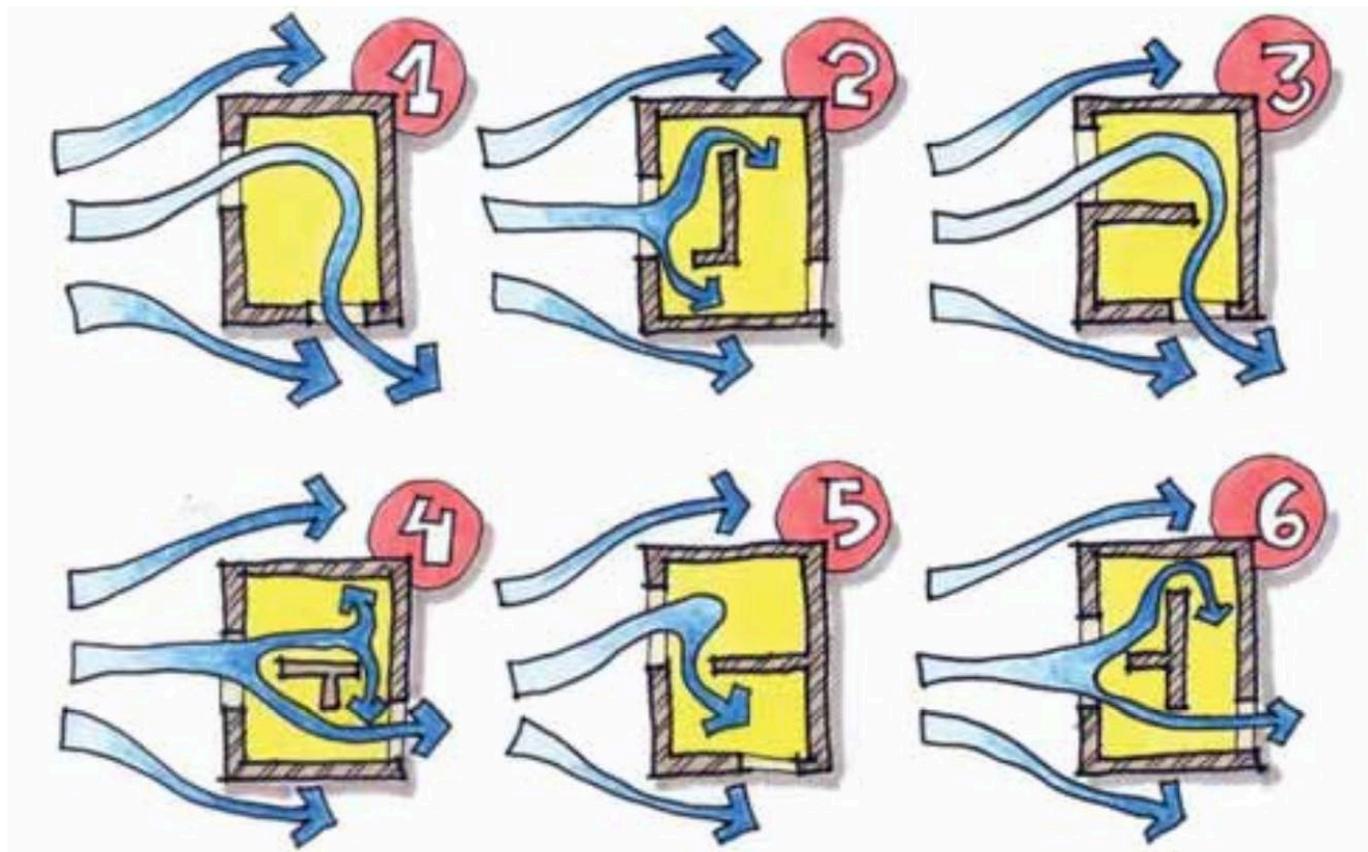
Ventilação cruzada

Uma das estratégias mais eficientes para remoção da carga térmica acumulada.



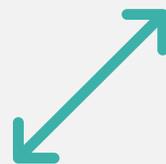
Ventilação Natural

Ventilação cruzada



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira, 2004

***Ventilação
Natural
Ventilação Vertical***



Fluxo de ar ascendente gerado por aberturas em diferentes níveis



Lanternins, exaustores eólicos, aberturas zenitais e aberturas no telhado



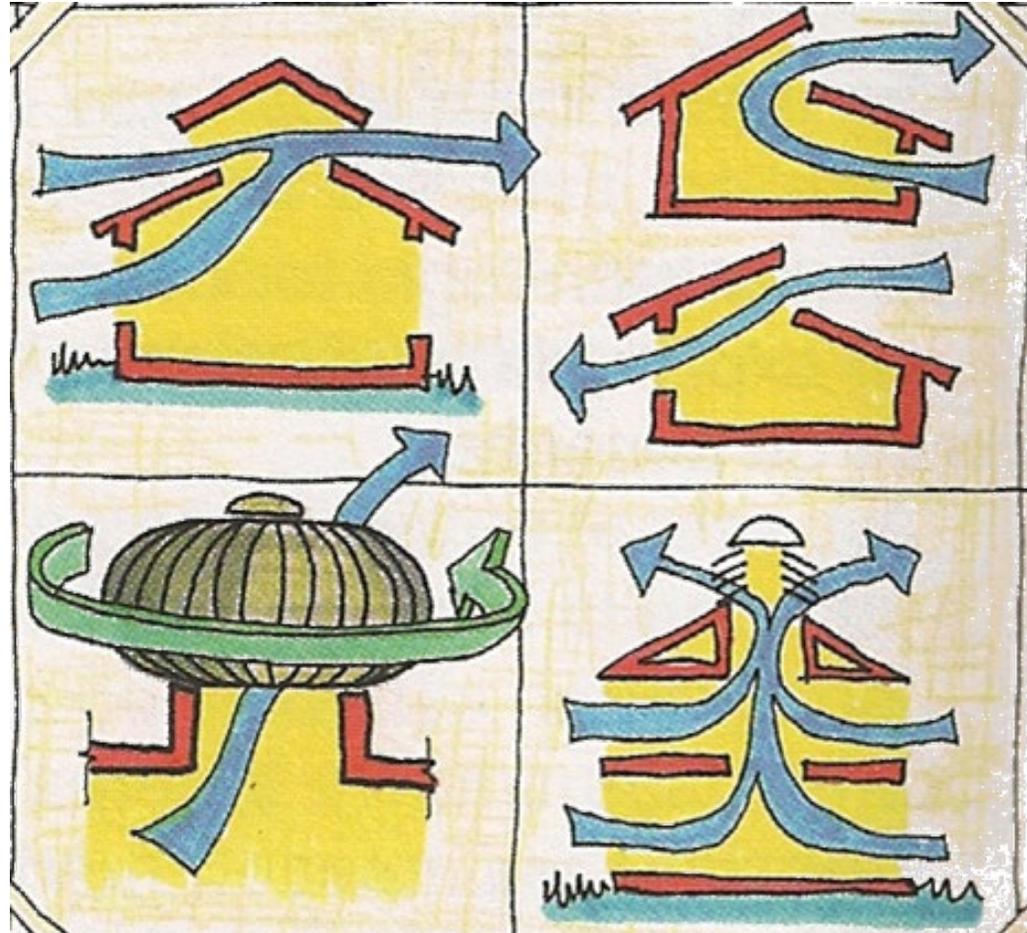
Iluminação e Ventilação

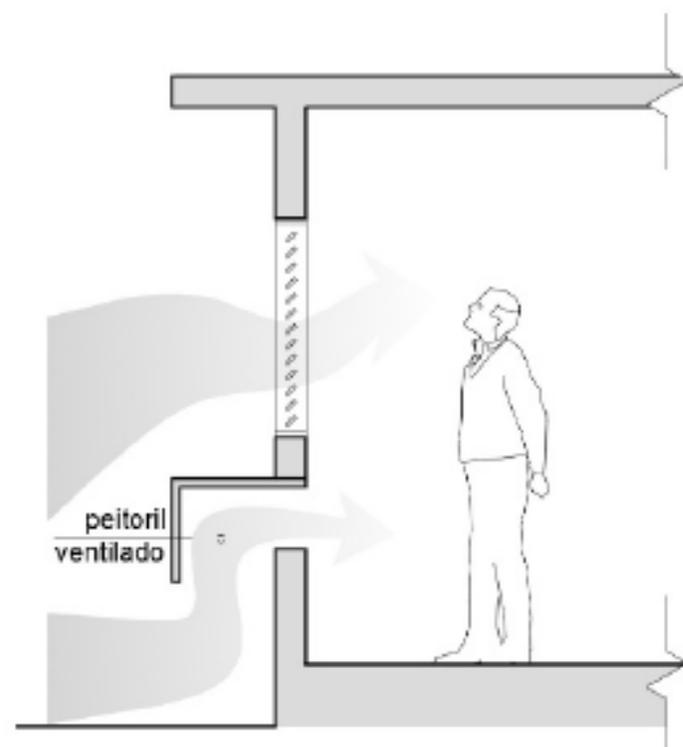
Ventilação Natural

Ventilação Vertical

Lanternins, peitoril ventilado, torres de ventilação, captadores de ventos e mansardas são estratégias para a ventilação vertical.

É necessário incluir um controle de fechamento das aberturas em climas frios.



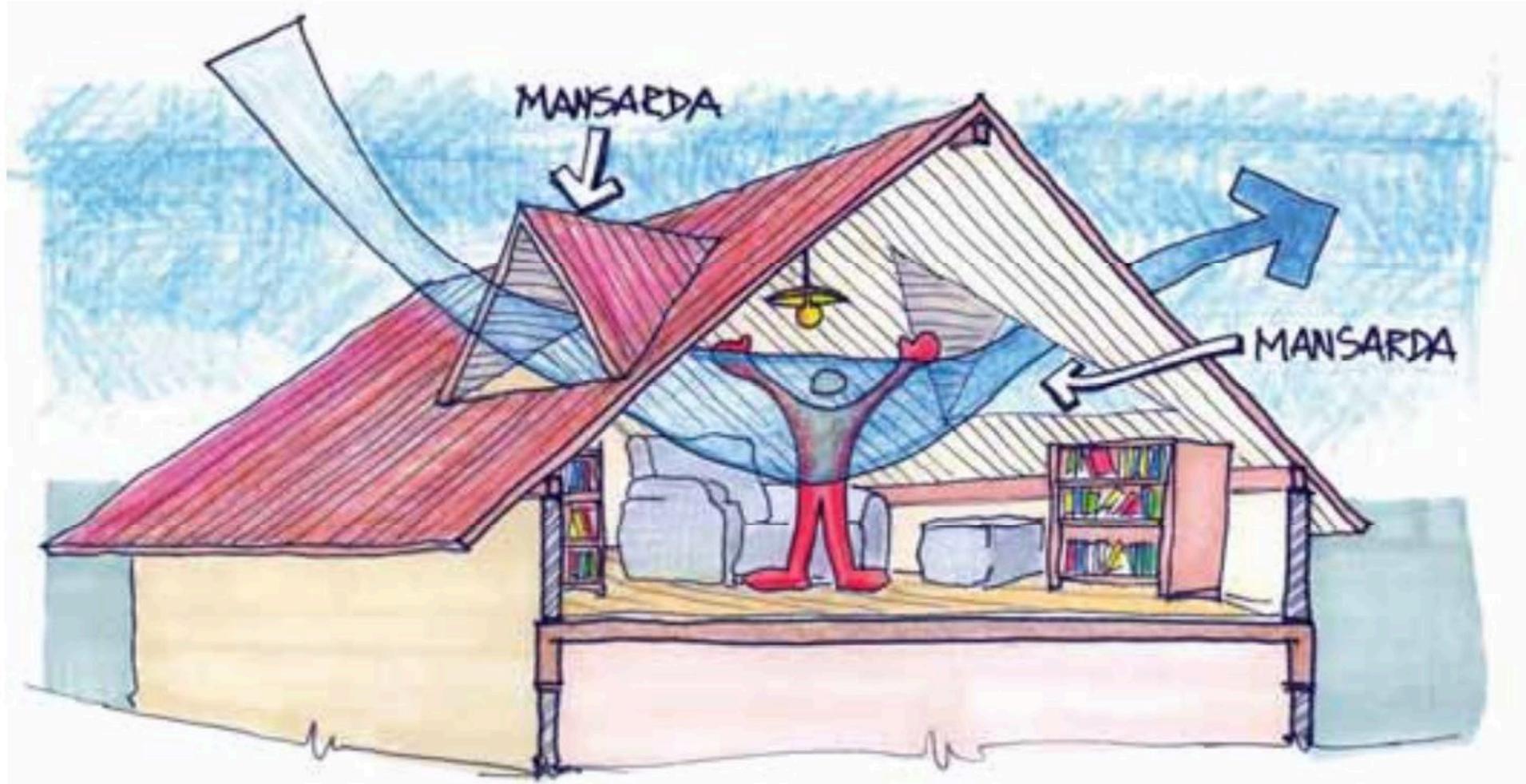


BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Cristina. *Introdução à ventilação natural* – 3. ed. rev. e ampl. – Maceió: EDUFAL, 2008. p.68-9 (adaptado).



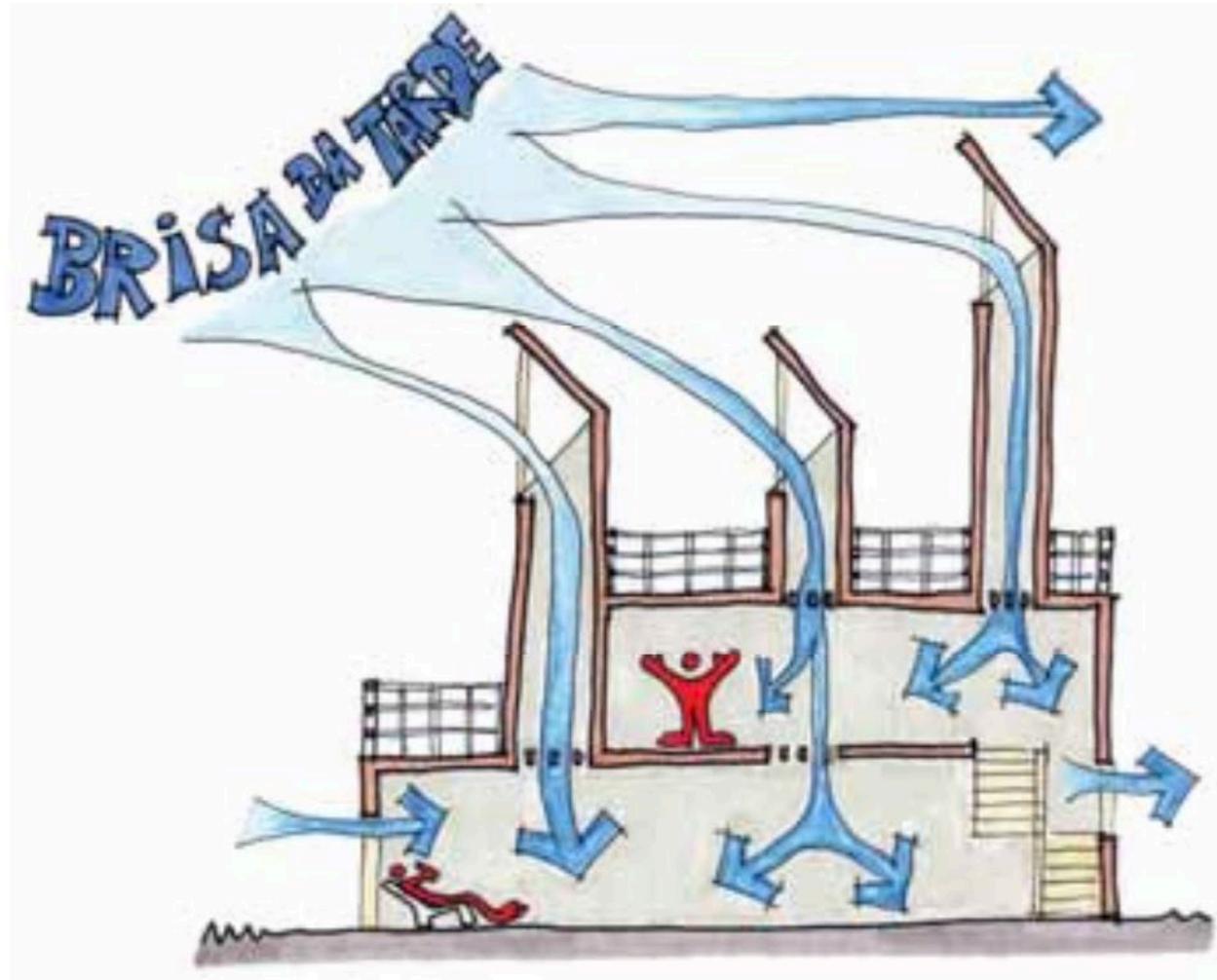
Peitoril ventilado em edifício de pesquisa da UFAL, Maceió, AL
Fonte: Lamberts (2020)

Mansarda



Fonte: Lamberts; Dutra; Pereira, 2004

Captadores de ventilação

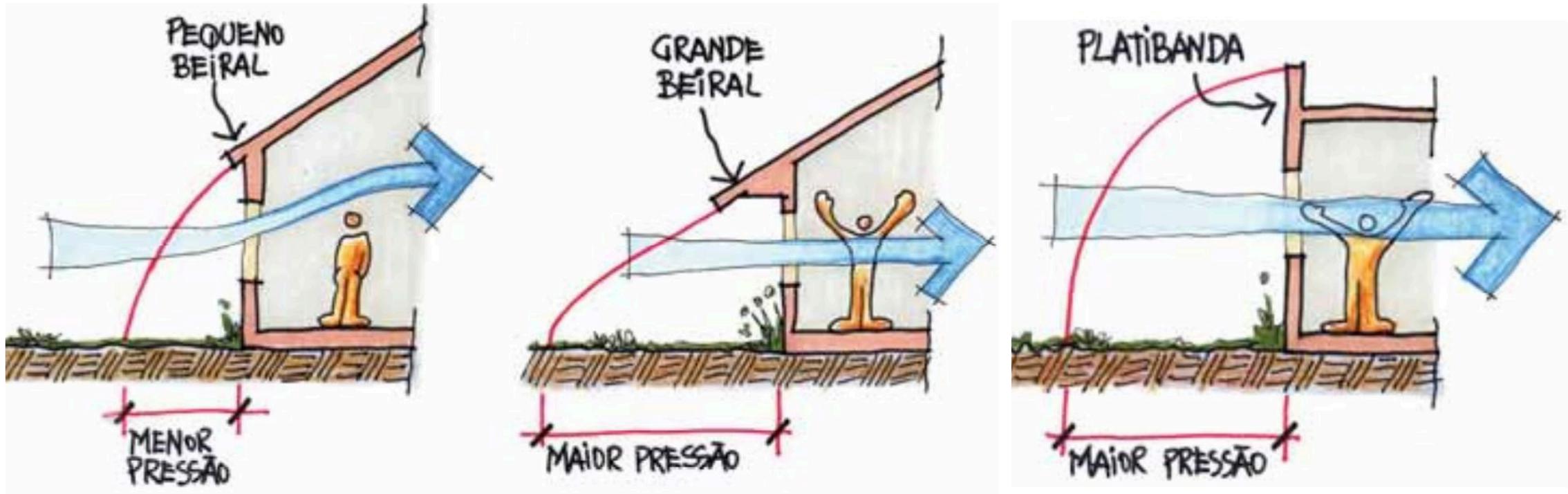


Torres de ventilação



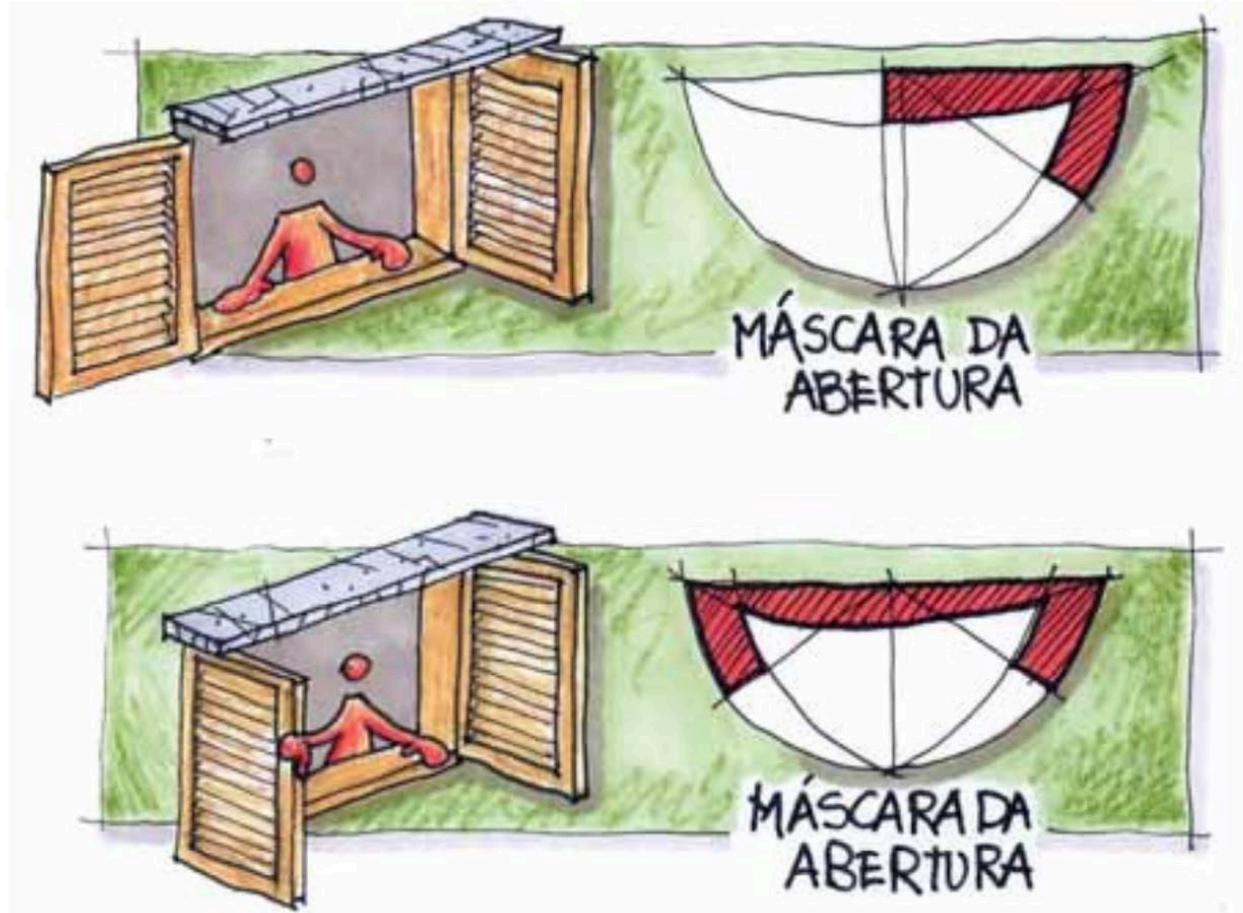
Fonte: [2030 Palette](#)

Elementos direcionadores da ventilação natural

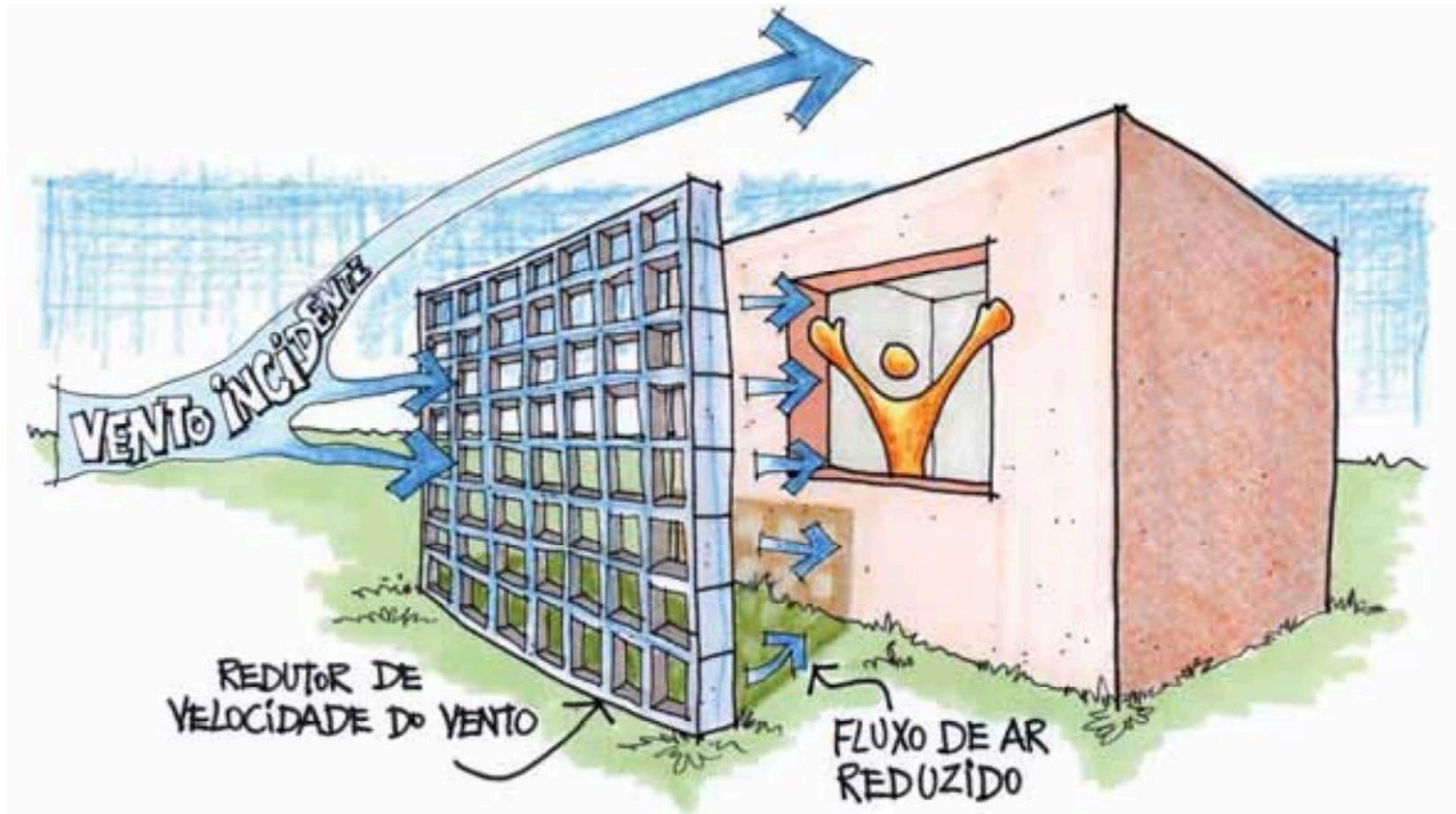


Platibanda aumenta a zona de pressão e o fluxo.

Elementos direcionadores da ventilação natural



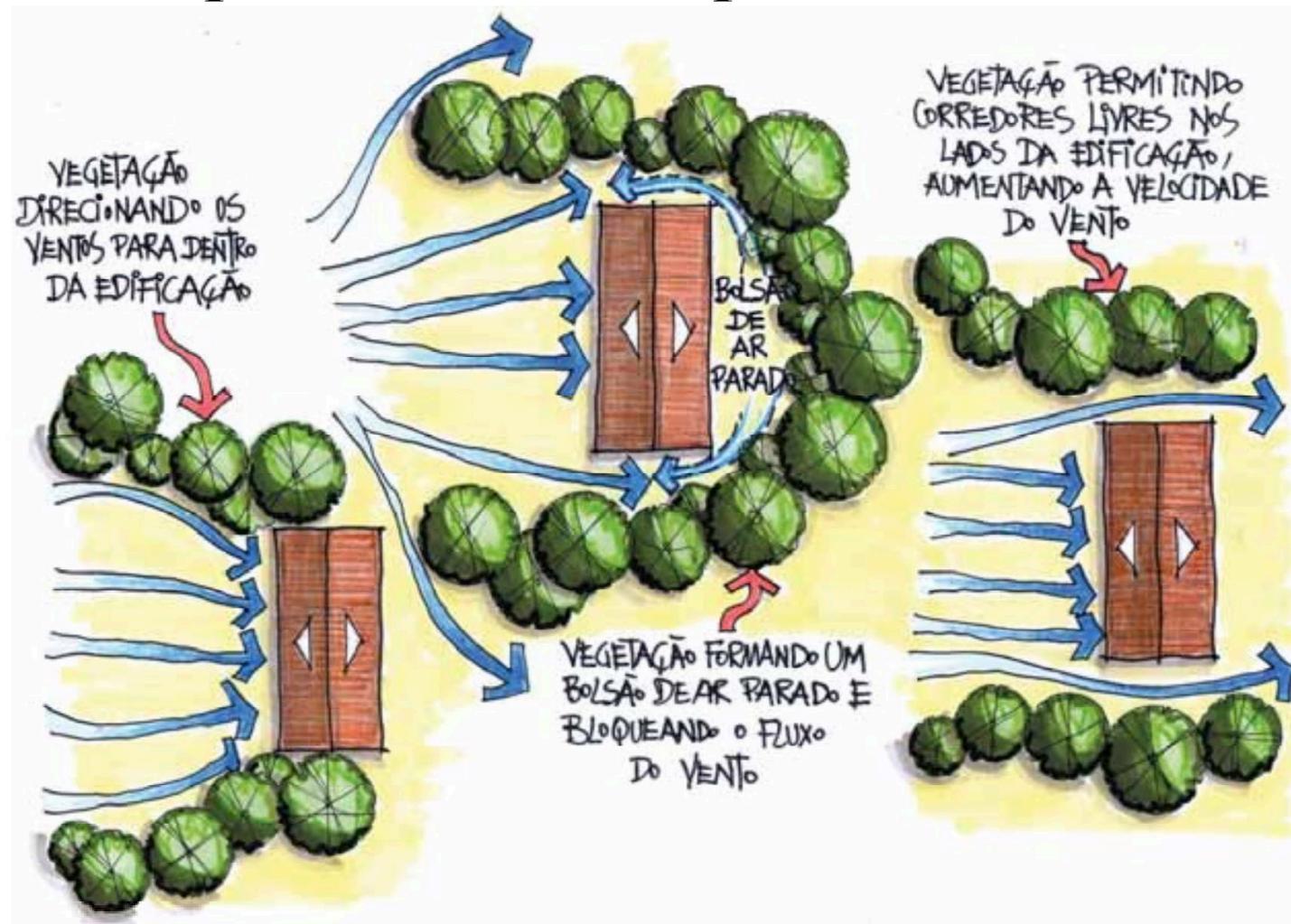
Redutor da ventilação natural



Ventilação Natural

Elementos que Direcionam o Ar para o Interior

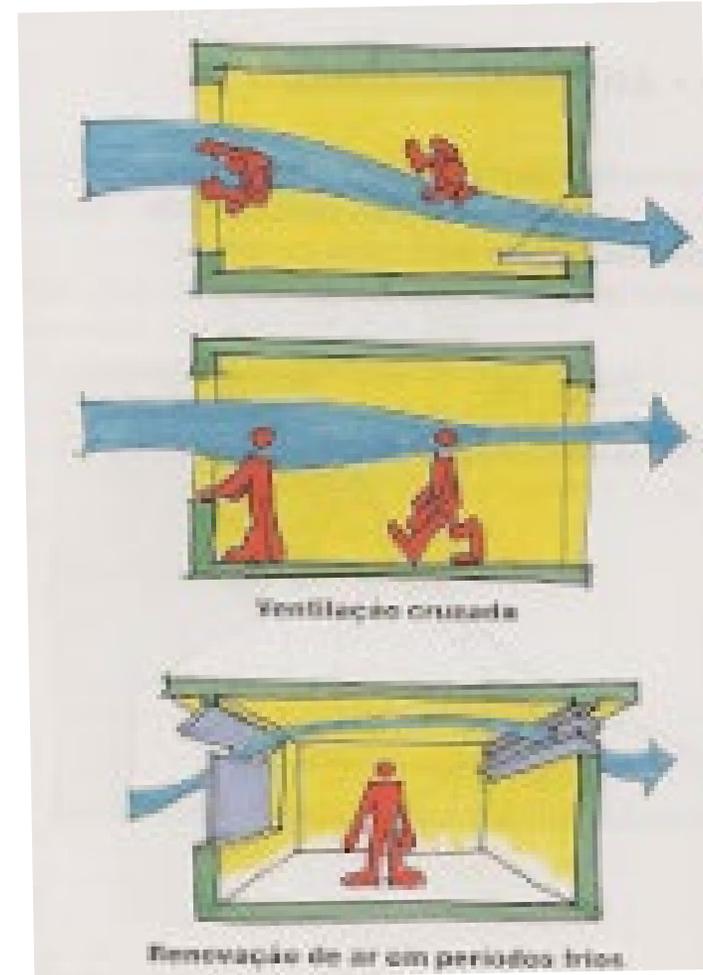
- Vegetação, beirais e a própria volumetria ajudam a direcionar o vento



Ventilação Natural

Sistema de Aberturas

- Circulação de ar no verão
- Renovação do ar no inverno





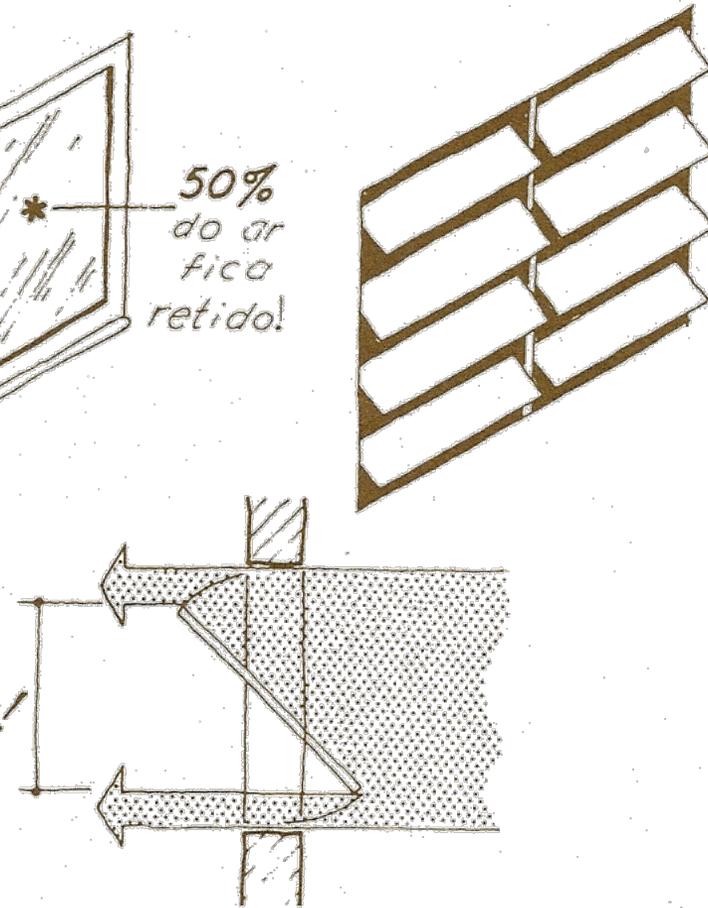
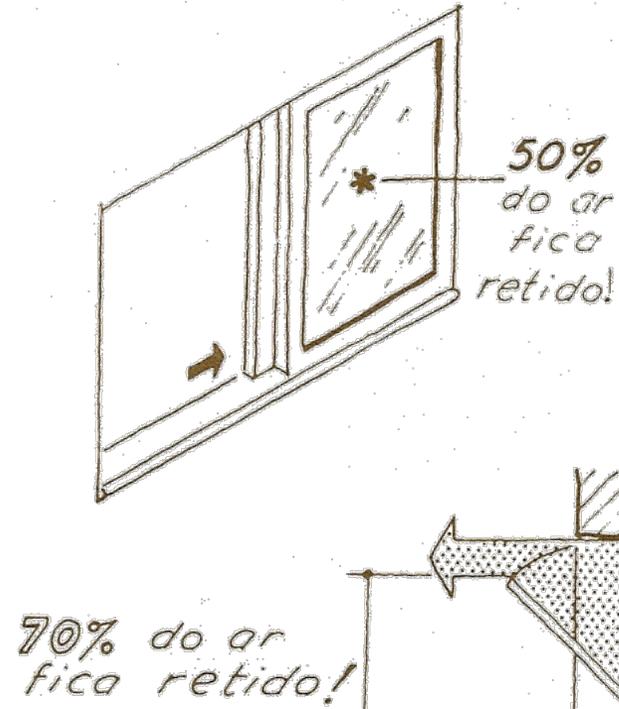
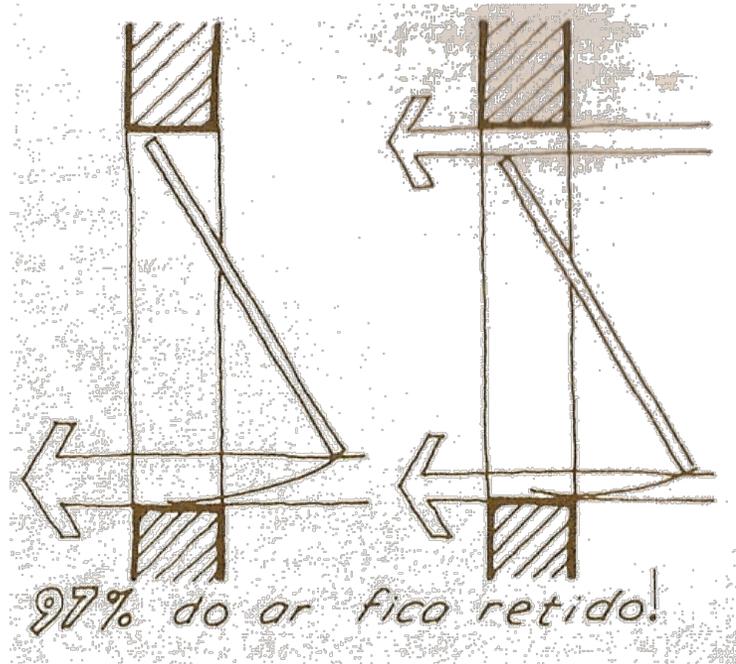
Ventilação Natural

Dimensão das Aberturas

- “As janelas corrediças retêm 50% do ar e as basculantes 70%
- Avaliar se a abertura projetada produzirá o resultado esperado” (MONTENEGRO, 1984).

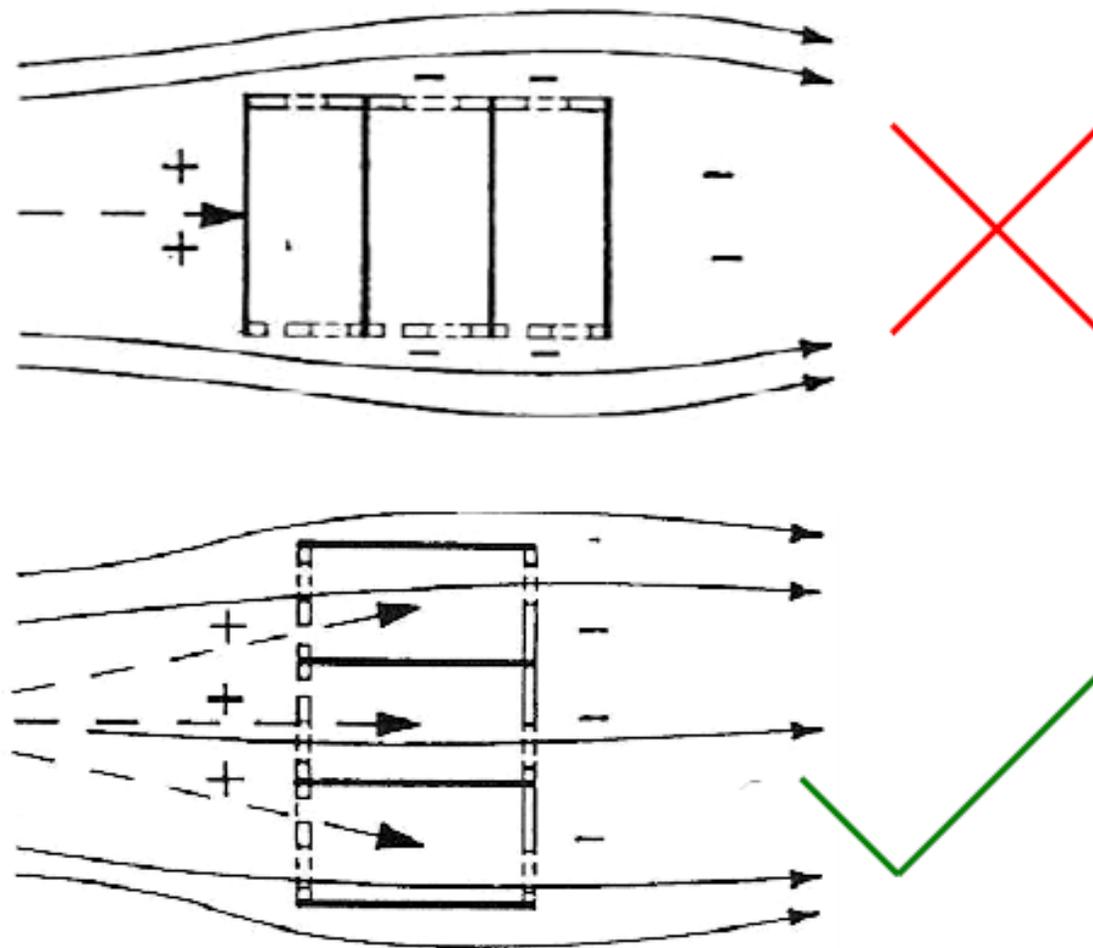
Ventilação Natural

Dimensão das Aberturas



Ventilação Natural

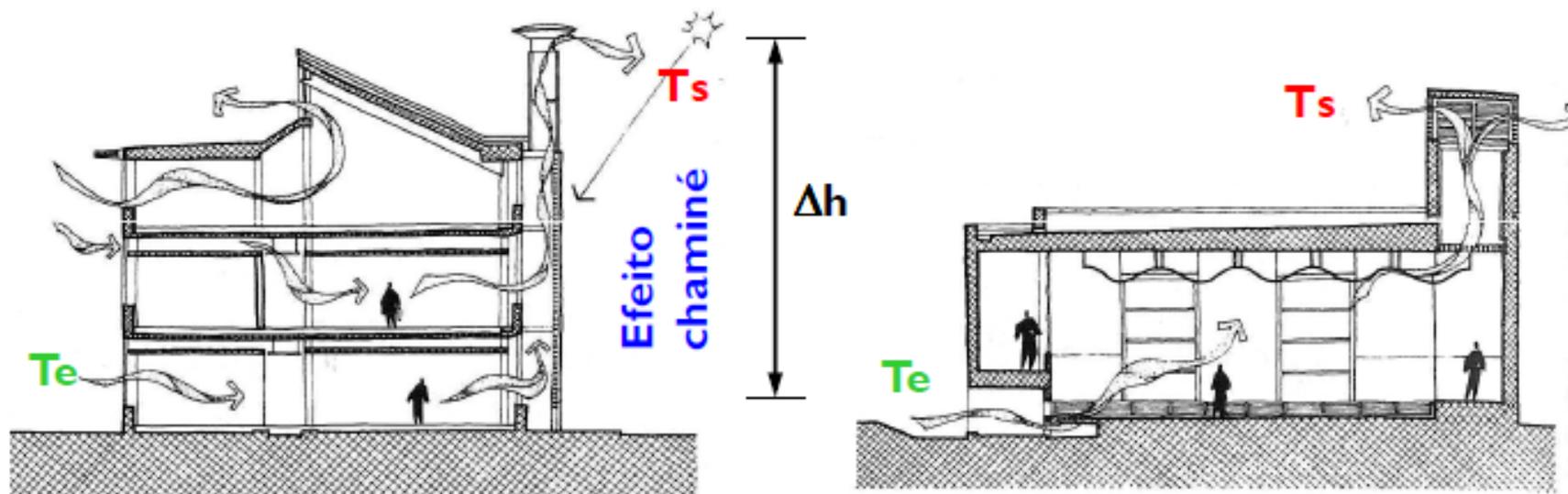
Orientação do Edifício



Fonte: Labcon

Ventilação Natural

Dimensionamento das Áreas de Entrada e Saída

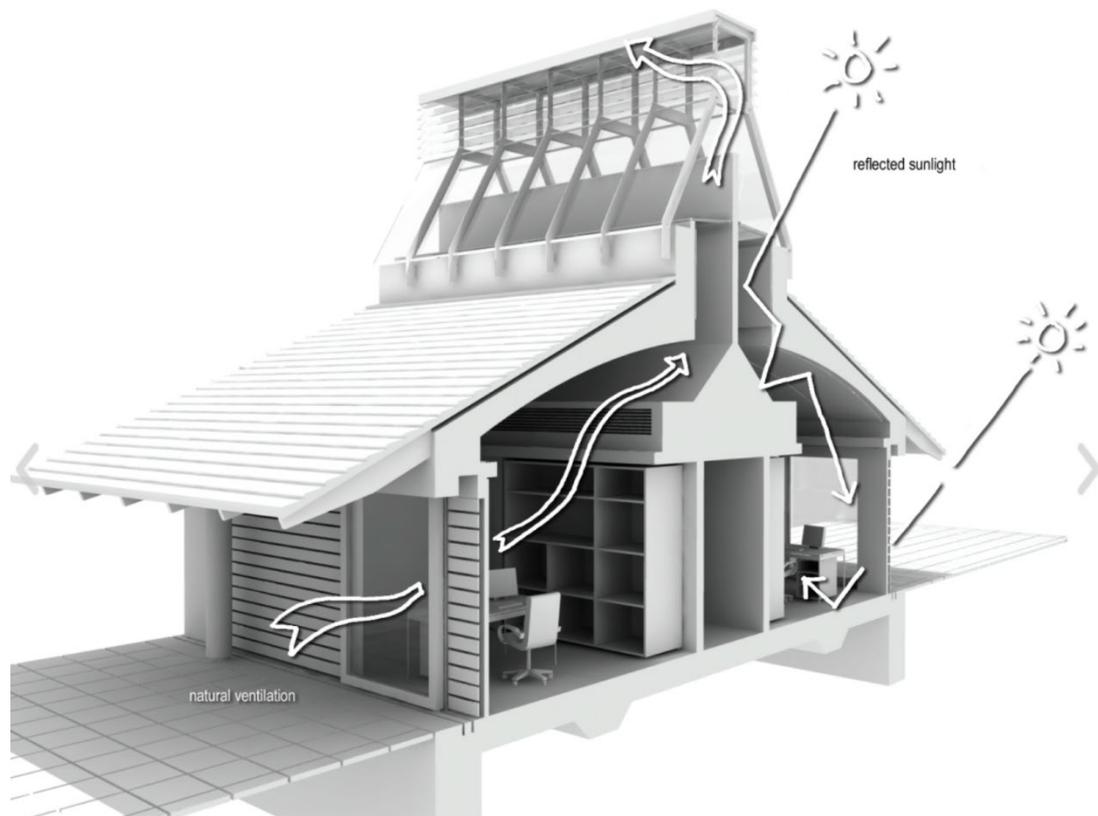




Arquiteto: Angelo Bucci. Fonte: [Galeria da Arquitetura](#)

Ventilação Natural

Diretrizes para dimensionamento das Áreas de Entrada e Saída



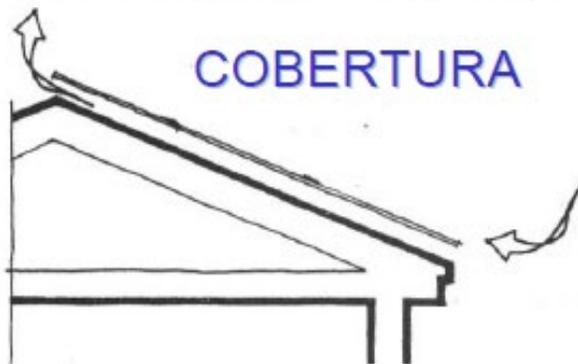
Distância entre as aberturas de entrada e saída

Edifícios residenciais: $\geq 3,00\text{m}$

Edifícios comerciais: $\geq 4,60\text{m}$

Fonte: 2030 Palette

Ventilação Natural *Estratégias*



Fonte: Labcon

Ventilação Natural *Estratégias*



SOB A EDIFICAÇÃO



AMBIENTES DE TRANSIÇÃO



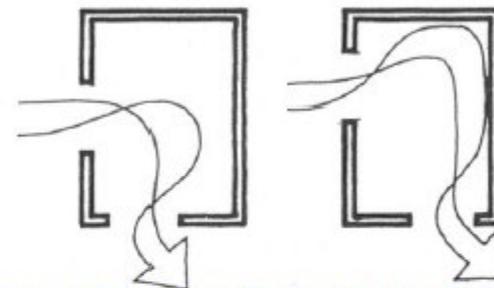
Fonte: Labcon

Ventilação Natural

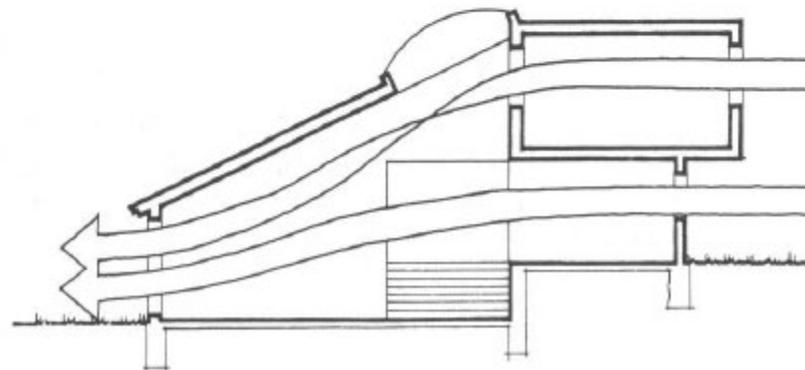
Estratégias



SHEDS



VENTILAÇÃO CRUZADA



Fonte: Labcon

Ventilação Natural

Estratégias



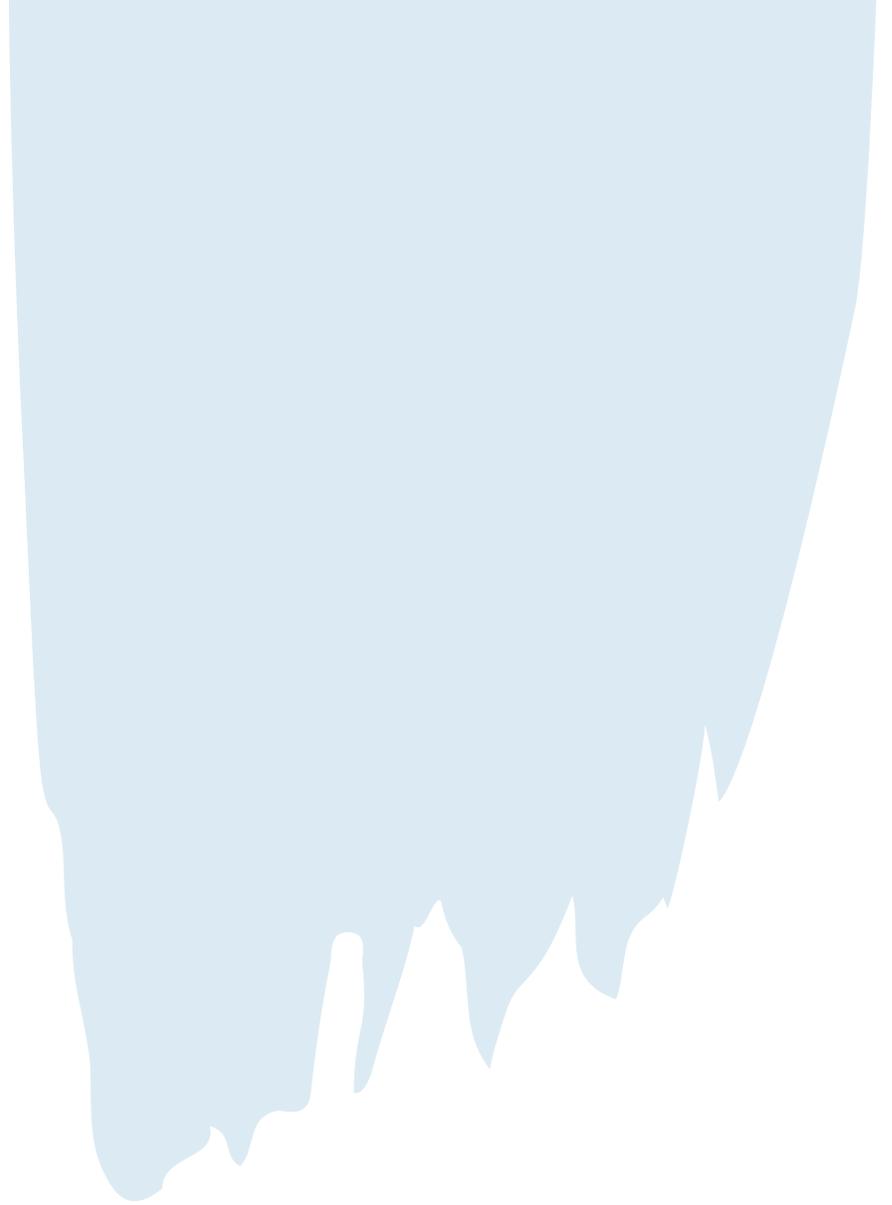
VEGETAÇÃO



Fonte: Labcon

Arquitetura bioclimática

CONFORTO AMBIENTAL NA REDE
SARAH



***Rede Sarah
Kubitschek
Rio de Janeiro***

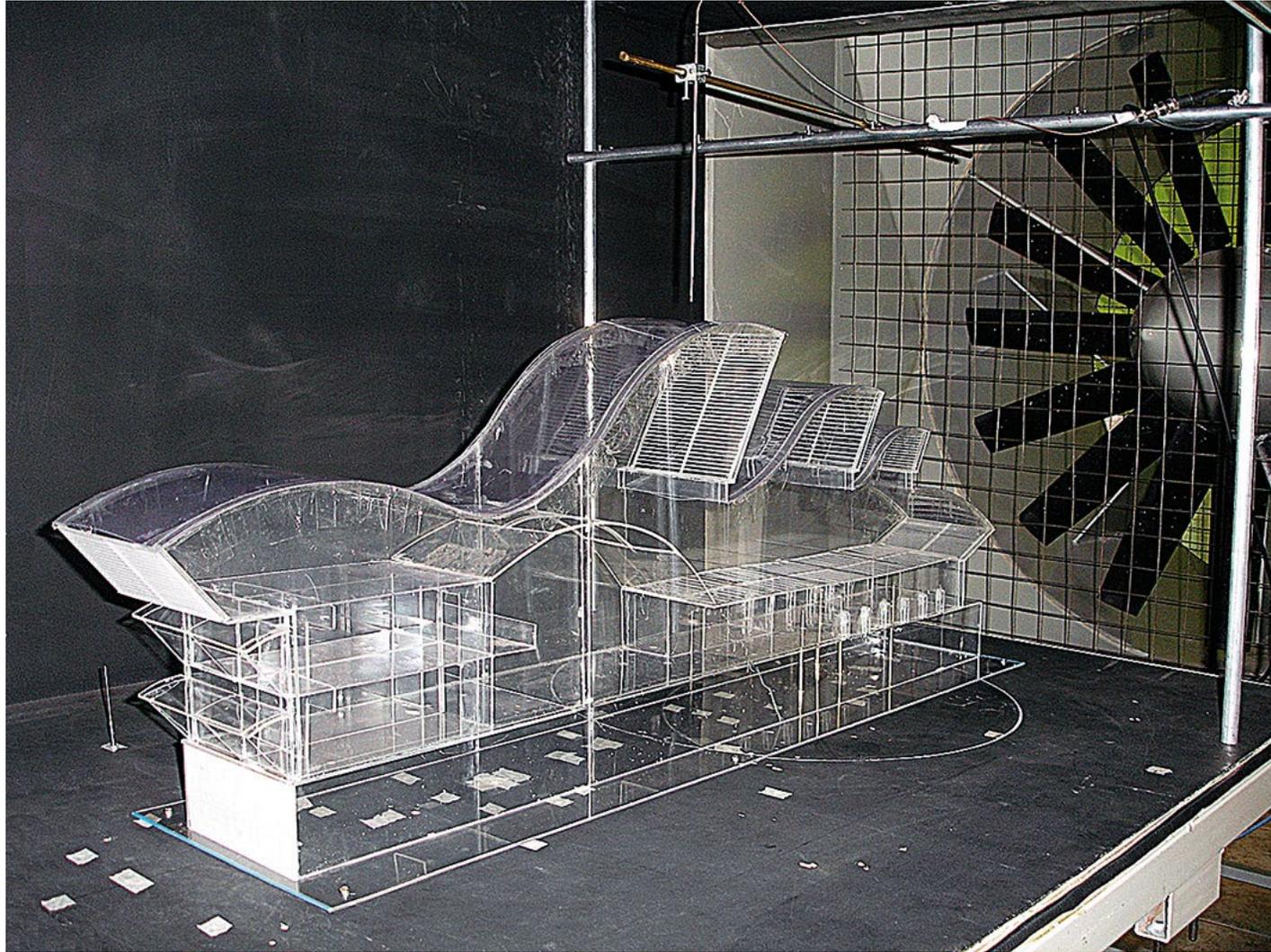
ARQUITETO JOÃO FILGUEIRAS
LIMA “LELÉ”

Fonte: [Finestra](#)





Forro basculante aberto e fechado



Maquete túnel de viento - Sarah Salvador





Enfermarías ventiladas naturalmente







Cúpula do auditório aberta

Rede Sarah Kubitschek Salvador

ARQUITETO JOÃO FILGUEIRAS
LIMA “LELÉ”

Fonte: [Finestra](#)



Sarah Salvador



Sistema de aspersão do hospital





Maquete túnel de viento - Sarah Salvador

Rede Sarah Kubitschek *Brasília*

ARQUITETO JOÃO FILGUEIRAS
LIMA “LELÉ”

Fonte: [Finestra](#)



*Aerodinâmica
das Construções*

Coeficientes Aerodinâmicos Fundamentais

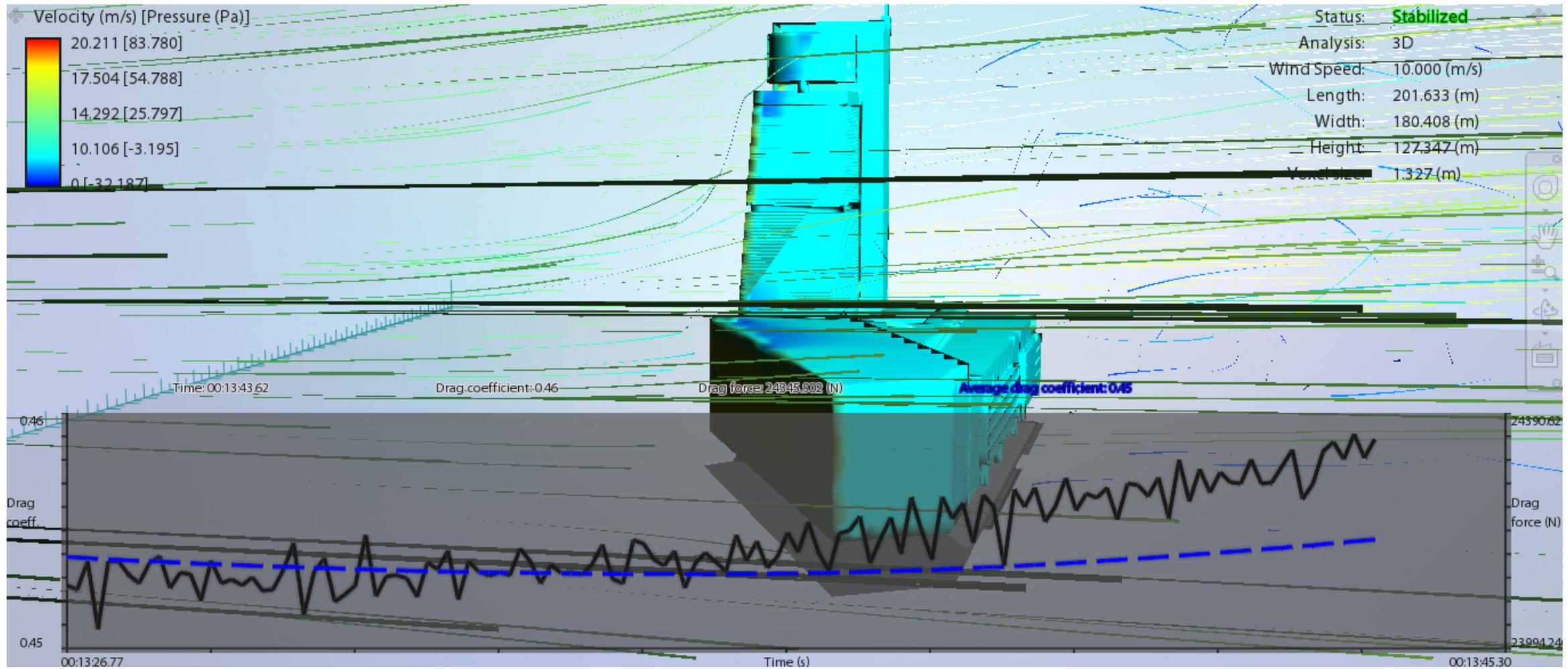
- A ação estática do vento é determinada a partir dos coeficientes aerodinâmicos. Os coeficientes mais importantes são: (BLESSMANN, 1989)
 - Pressão;
 - Forma;
 - Força (coeficiente de arrasto);
 - Torção;
 - Excentricidade.

Coeficiente de Força

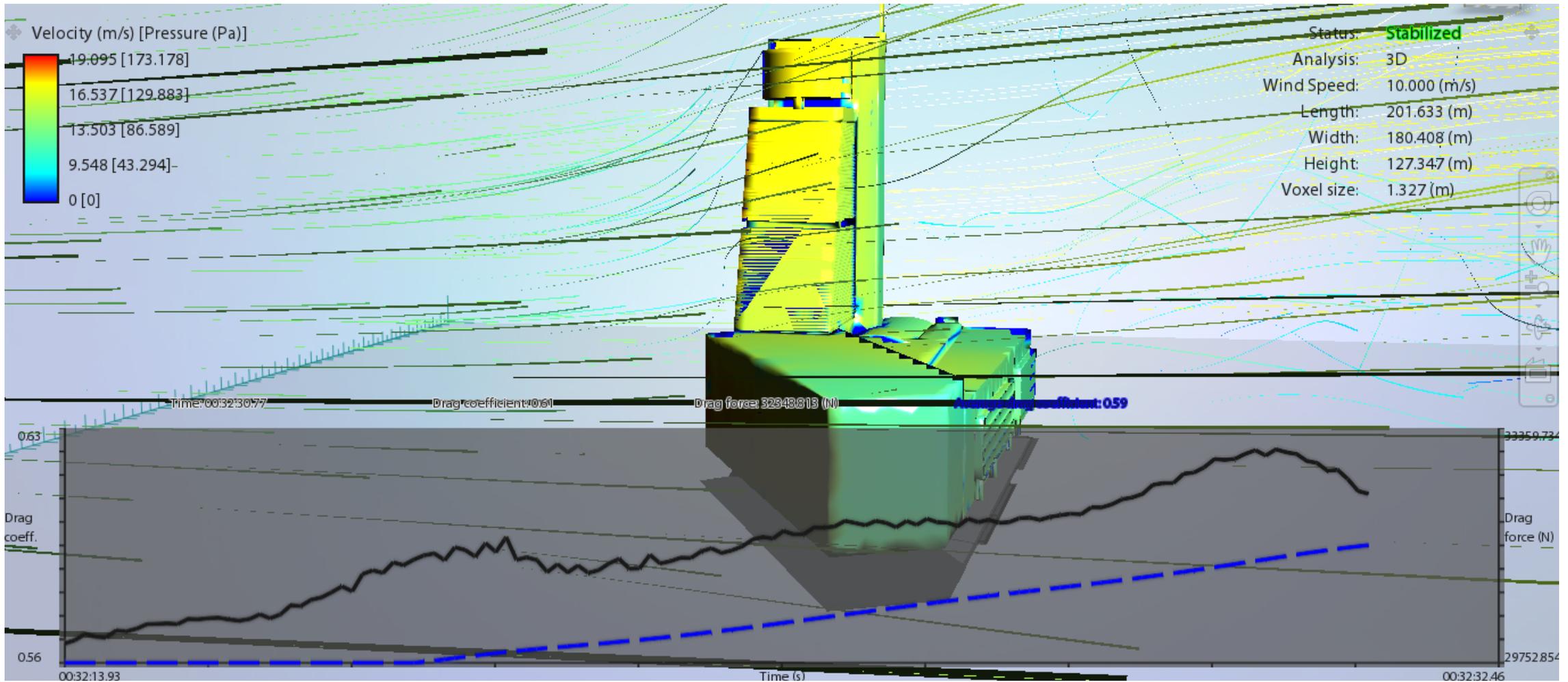
- A força global do vento sobre uma edificação ou parte dela é obtida pela soma vetorial das forças do vento que atuam em todas as suas partes (BLESSMANN, 1989, p.9).
- Coeficiente de arrasto
 - Força de arrasto é a componente da força global na direção do vento

Coeficiente e Força de Arrasto

- É uma quantidade adimensional que representa a quantidade de arrasto aerodinâmico do objeto.
- Valores mais elevados: maior resistência ao fluxo de ar.
- Valores mais baixos: menor resistência do vento (Autodesk, 2016).
- A força de arrasto é a resistência causada por um objeto em um fluido.



Fonte: Acervo próprio, 2016.



Fonte: Acervo próprio, 2016.

Ventilação e o Edifício

- O edifício, como volume, gera fluxos de ar ao redor de si.
- O vento pode ser tratado como um fluxo laminar de ar que, ao chocar-se com um corpo sólido, tende a manter uma trajetória reta depois de ter sido desviado.
- A sotavento – forma-se um vórtice que é denominado sombra de vento ou zona de sucção – zona de baixa pressão.
- A barlavento – pressão elevada.

Ventilação e o Edifício

Pontos fundamentais para a ventilação natural no meio externo das edificações:

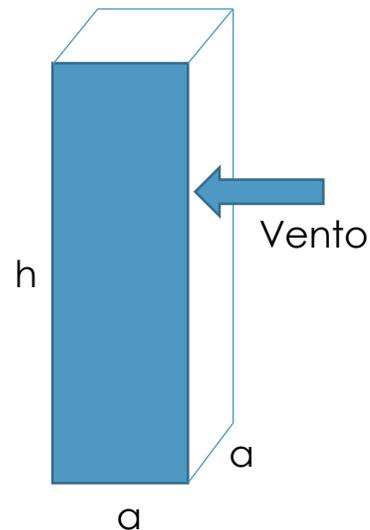
- A localização relativa dos prédios;
- As dimensões: comprimento, largura e altura;
- Orientação do prédio em relação à direção do vento.

Influência das Proporções e da Forma da Edificação

- Definem-se três parâmetros para edificações paralelepipedicas:
 - Alçamento $E \rightarrow E = \text{altura/largura}$;
 - Alargamento $A \rightarrow A = \text{largura/altura} = 1/E$;
 - Profundidade $Pr \rightarrow Pr = \text{profundidade/menor dimensão da secção transversal}$.
- O termo largura refere-se à direção perpendicular (exata ou aproximada) ao vento (BLESSMANN, 1989).

Influência do Alçamento

- “... de duas edificações com a mesma área de fachada exposta perpendicularmente ao vento, será maior a força do vento sobre a edificação mais alteada” (BLESSMANN, 1989, p. 11).

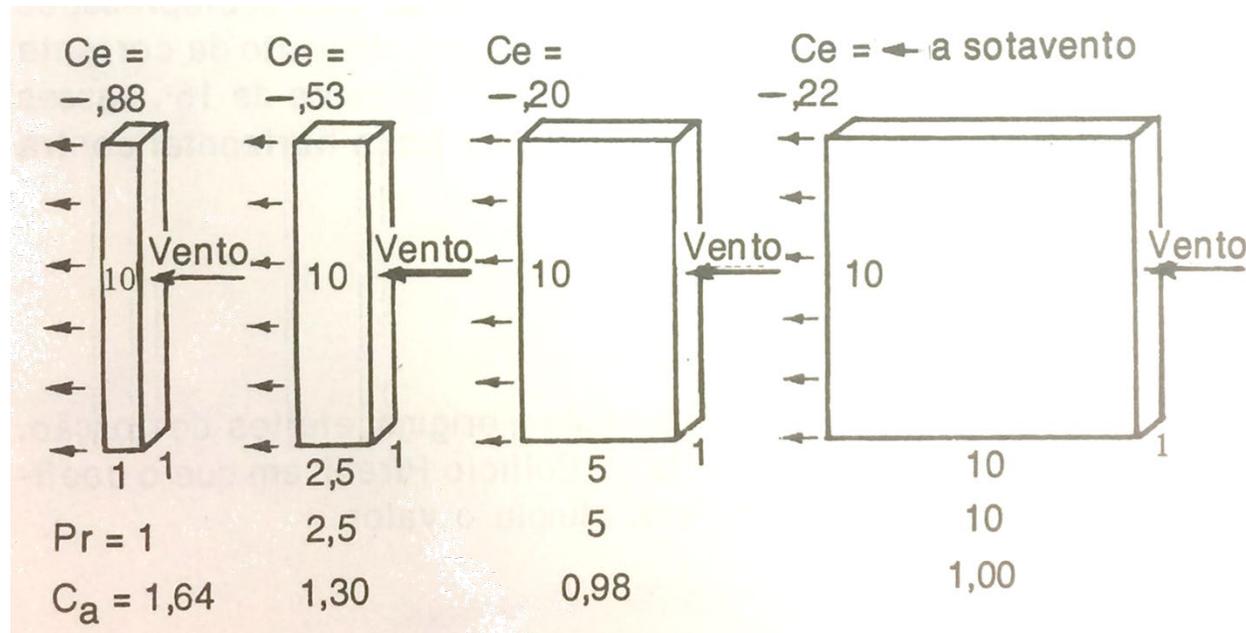


Alçamento E

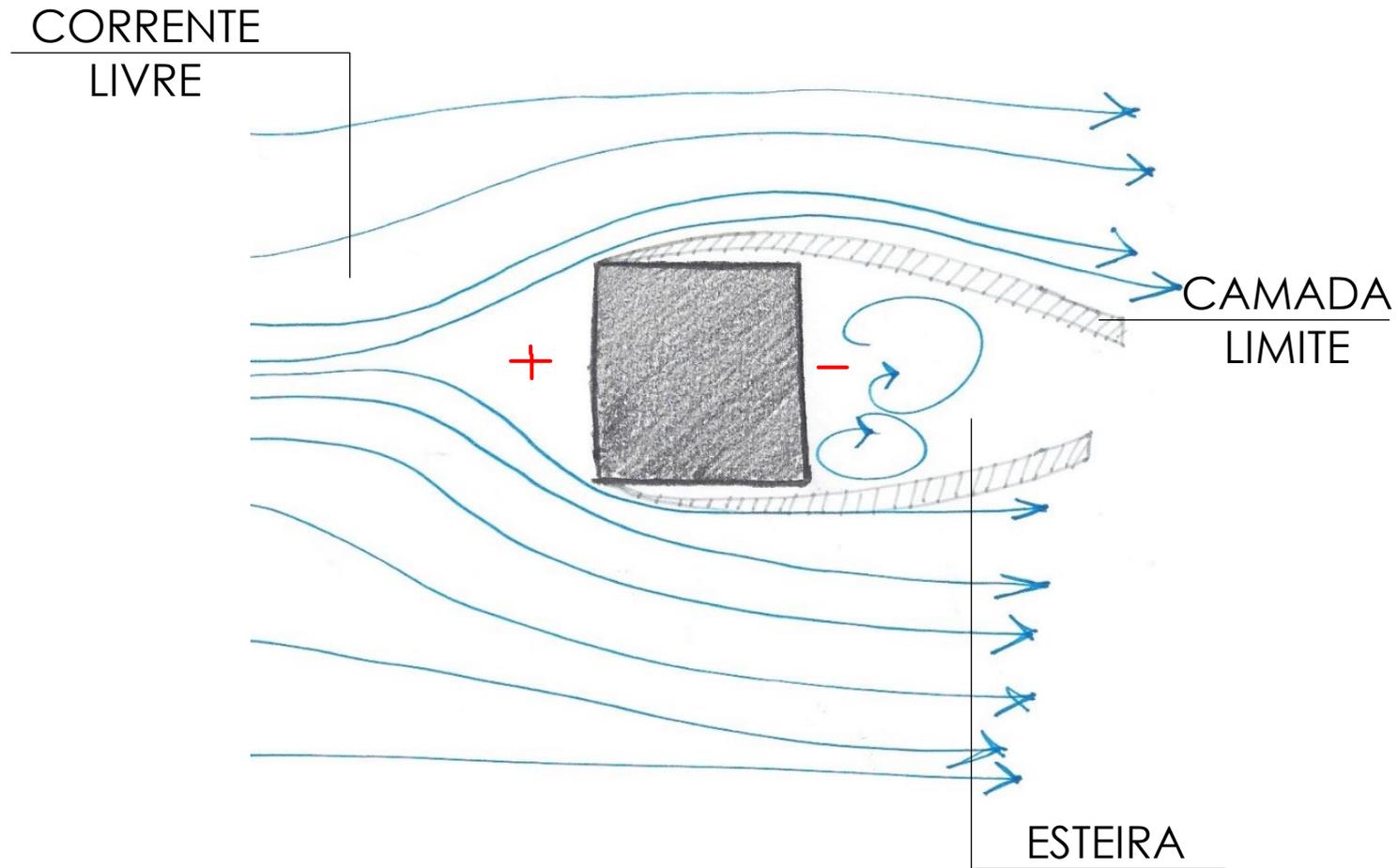
$E = \text{altura/largura}$

Influência da Profundidade

- “O Alargamento possui pouca influência no coeficiente de arrasto”. (BLESSMANN, 1989, p. 11)



Zonas formadas pelo escoamento do vento



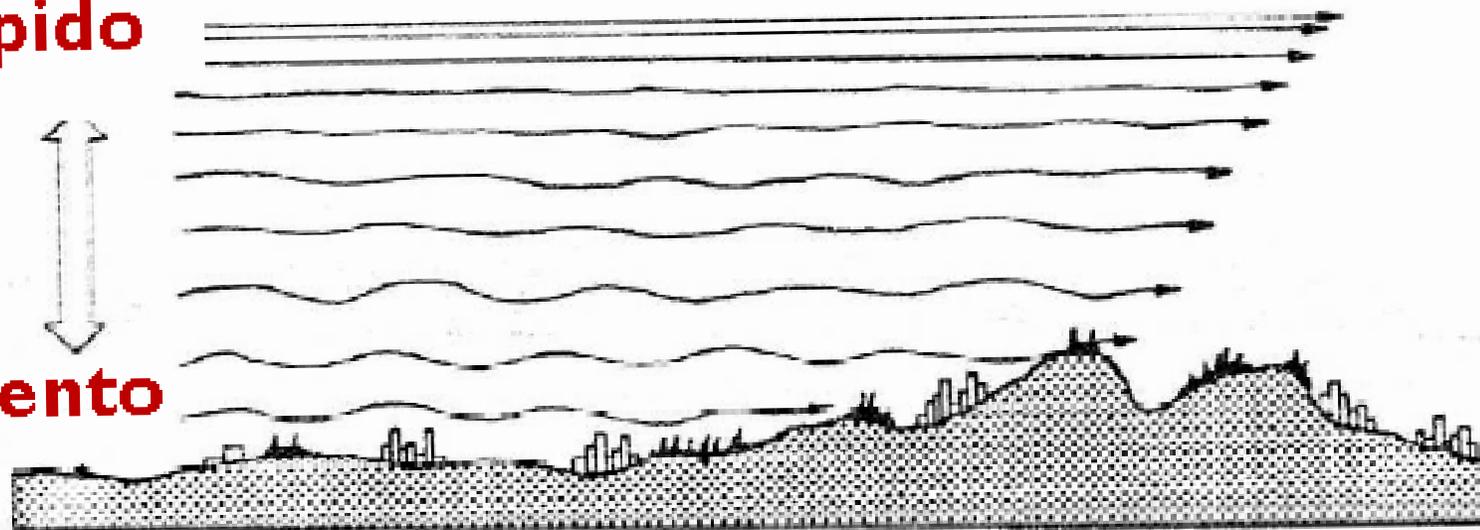
Fonte: A partir de AYNSLEY et al.,1977 apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 19.

Escala Ventilação

+ rápido



+ lento



Fonte: SCALCO, [201-?], p. 26.

Efeitos aerodinâmicos

Efeitos aerodinâmicos, em função da forma do edifício e do seu entorno, que podem favorecer ou prejudicar a ventilação dos mesmos:

- Efeito de Barreira
- Efeito Venturi
- Efeito de união de zonas de pressões diferentes
- Efeito de malha
- Efeito das aberturas sob as edificações
- Efeito de Canto
- Efeito de Canalização
- Efeito de Pirâmide
- Efeito “Wise”
- Efeito de Esteira

EFEITO DE BARREIRA

- **Figura 1** – Quando a distância entre edifícios laminares for entre 1 ou 2 vezes a altura dos edifícios – o vento que incide ortogonalmente às lâminas, ventilará o espaço posterior.
- **Figura 2** – Quando há uma incidência de vento a 45° da fachada – a maior parte do fluxo de ar passa por cima do edifício e cai em parafuso atrás, criando uma zona de turbulência ou redemoinho.

Efeito de Barreira
Fonte: MASCARÓ, 1991, p.72.

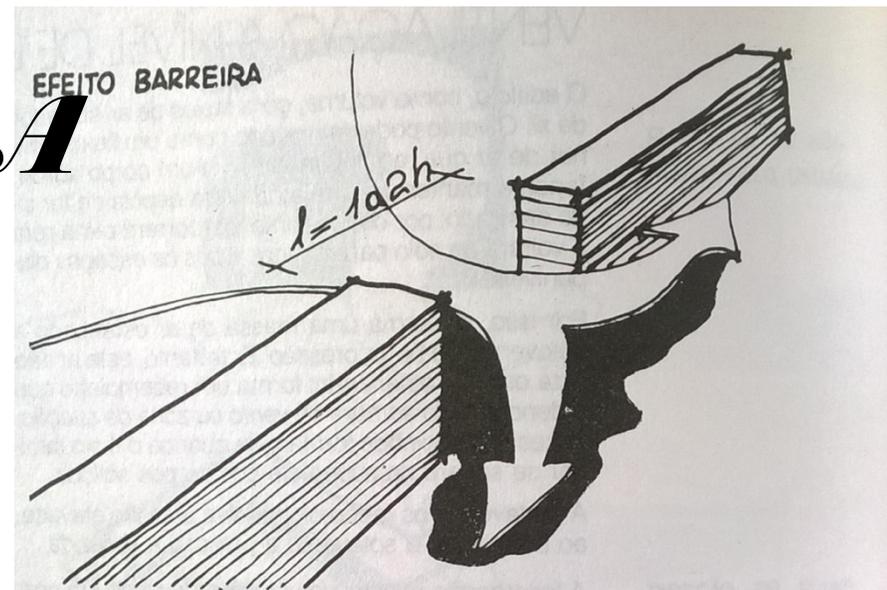


Figura 1

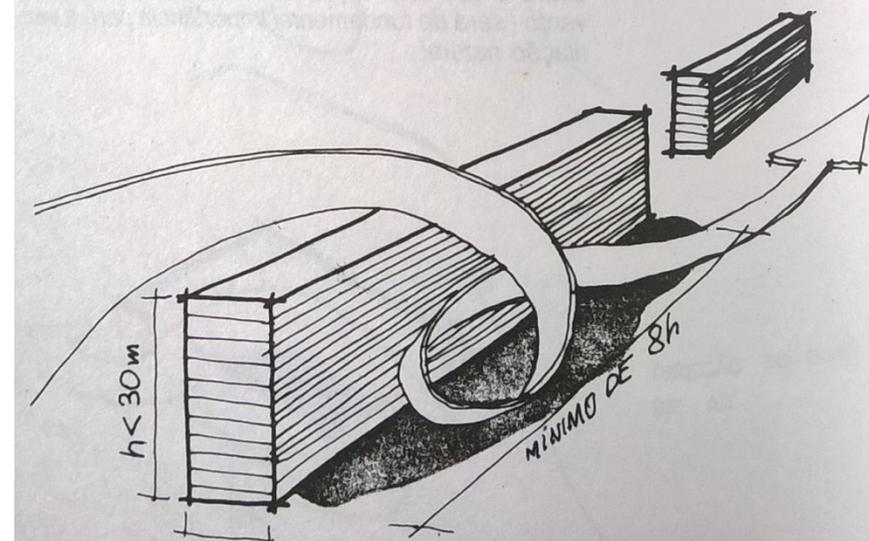


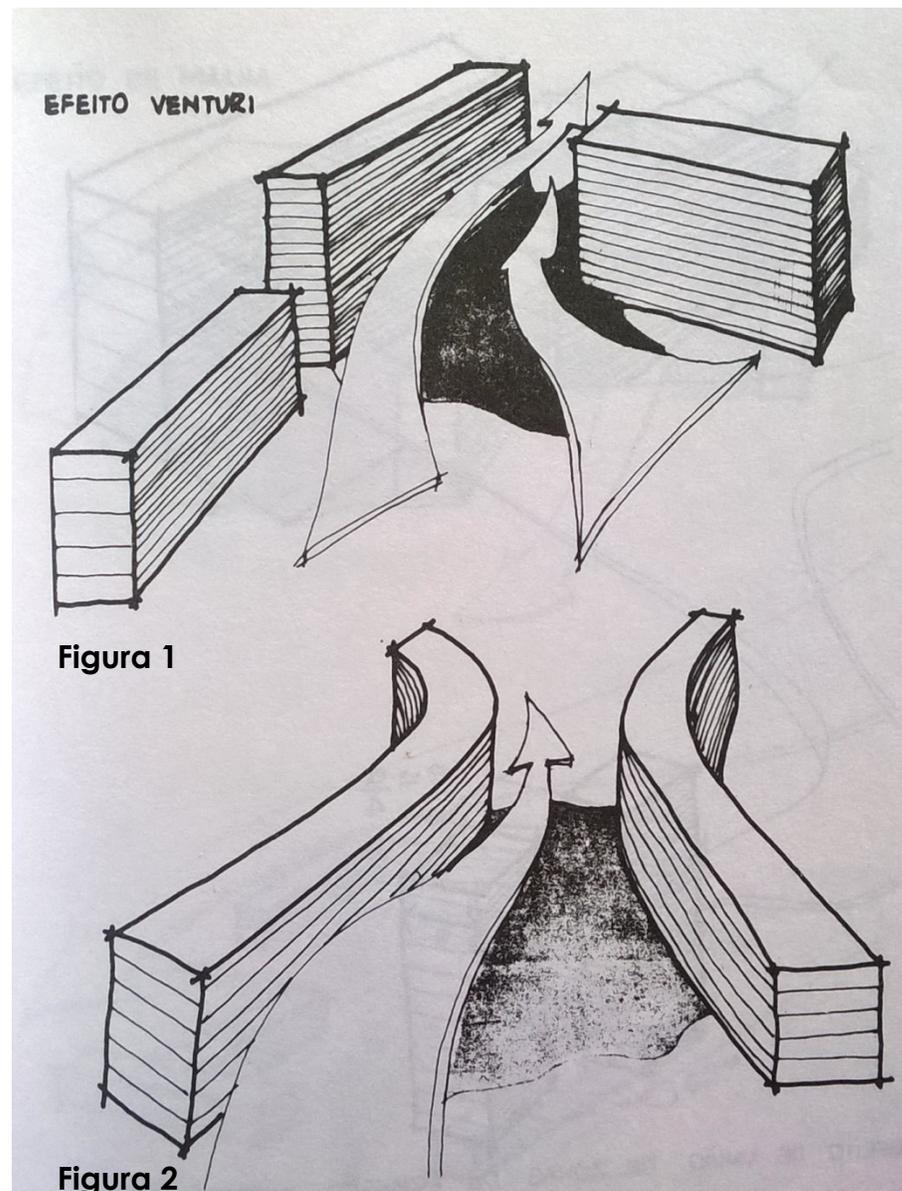
Figura 2

EFEITO VENTURI

- O Efeito Venturi é um fenômeno de funil formado por dois edifícios próximos, cujos eixos formam um ângulo agudo ou reto.
- A zona crítica para o conforto (máxima aceleração) situa-se no estrangulamento ou garganta de Venturi.
- Para que o efeito Venturi ocorra, é necessário que os prédios tenham $H > 15$ m e a soma dos comprimentos dos edifícios tenha ao menos 200m.
- O Efeito Venturi pode ser utilizado para ventilar os espaços urbanos.

Efeito Venturi

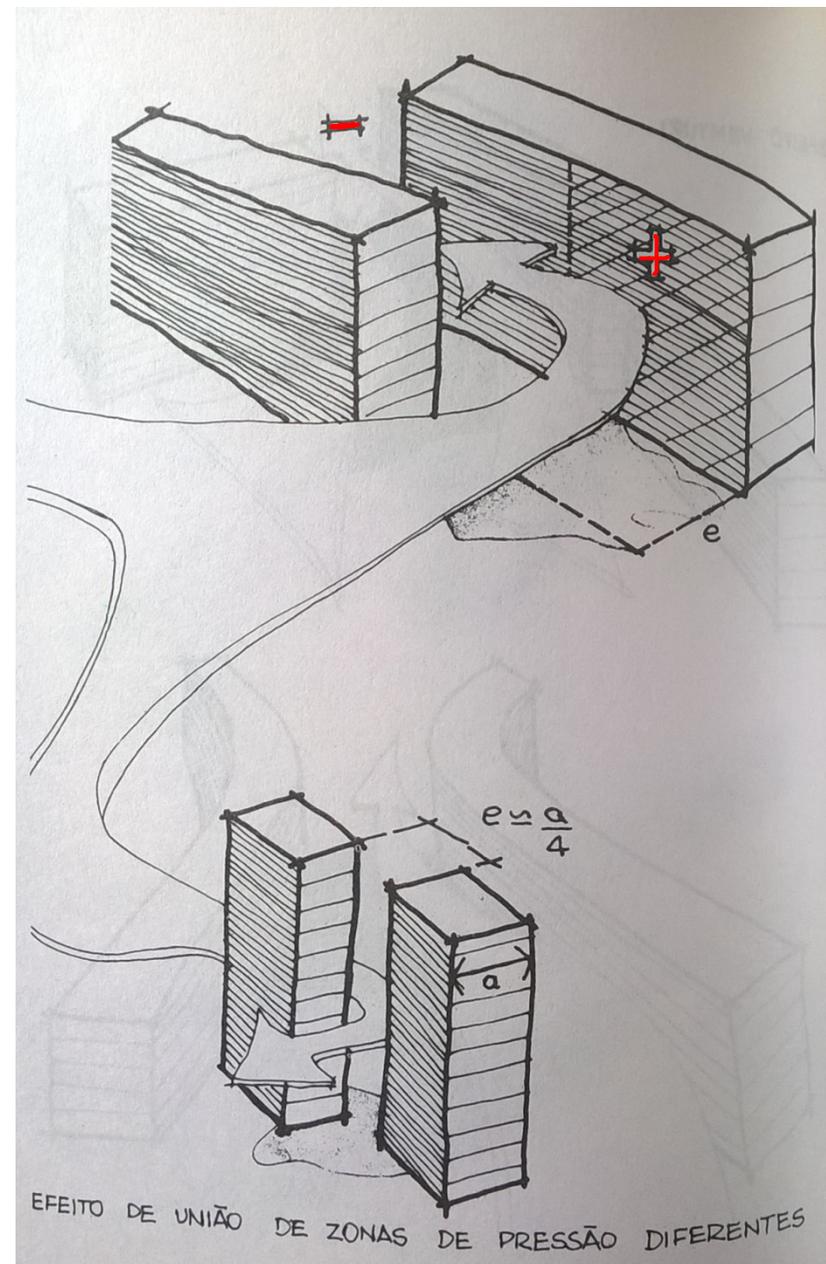
Fonte: MASCARÓ, 1991, p.73.



EFEITO DE UNIÃO DE ZONAS DE PRESSÃO DIFERENTES

- Quando os edifícios estão dispostos ortogonalmente à direção dos ventos, as massas de ar de pressões diferentes se entre ligam transversalmente, surgindo então os fluxos de ar no sentido das pressões decrescentes.

Efeito de união de zonas de pressão diferentes.
Fonte: MASCARÓ, 1991, p.74.



Efeitos de Vizinhança

- Os coeficientes aerodinâmicos variam de acordo com as condições da vizinhança;
- Obstáculo natural ou artificial pode afetar o campo aerodinâmico e os esforços exercidos pelos ventos;
- Alteração pode ou não ser benéfica (BLESSMANN, 1989).

EFEITO DE MALHA

- **Figura 1** - O efeito dos edifícios em malha é o de proteger o espaço formado por eles.
- Nas regiões quentes e úmidas é necessário evitar o efeito malha, que impede a ventilação local.
- **Figura 2** - Assim as aberturas da malha devem ser superiores a 25% do perímetro do edifício e orientadas na direção dos ventos favoráveis

Efeito de Malha
Fonte: MASCARÓ, 1991, p.75.

EFEITO DE MALHA

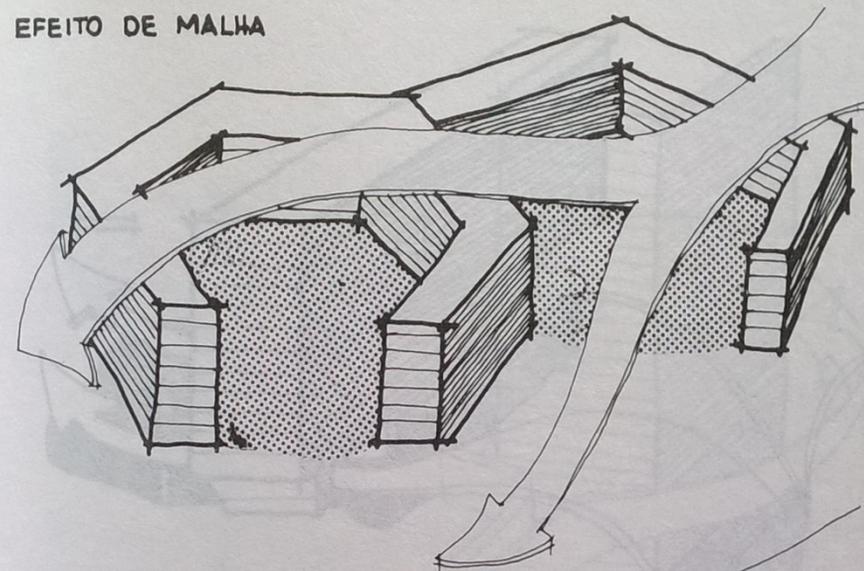


Figura 1

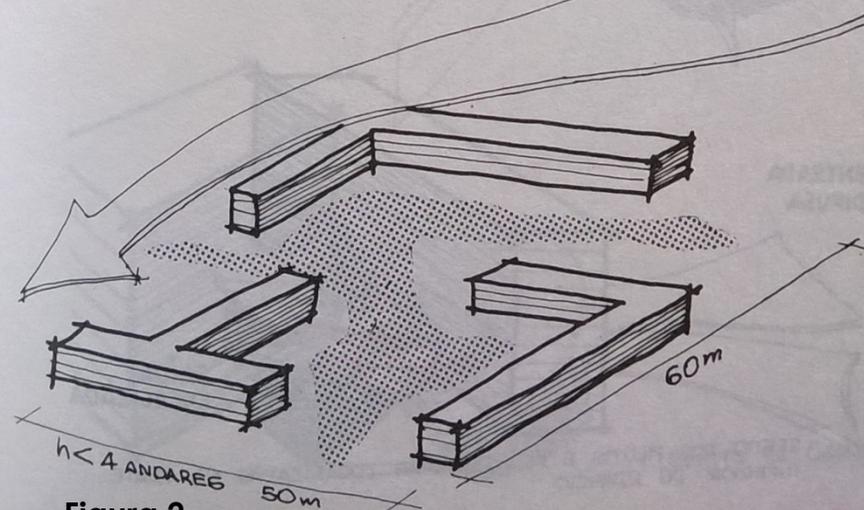
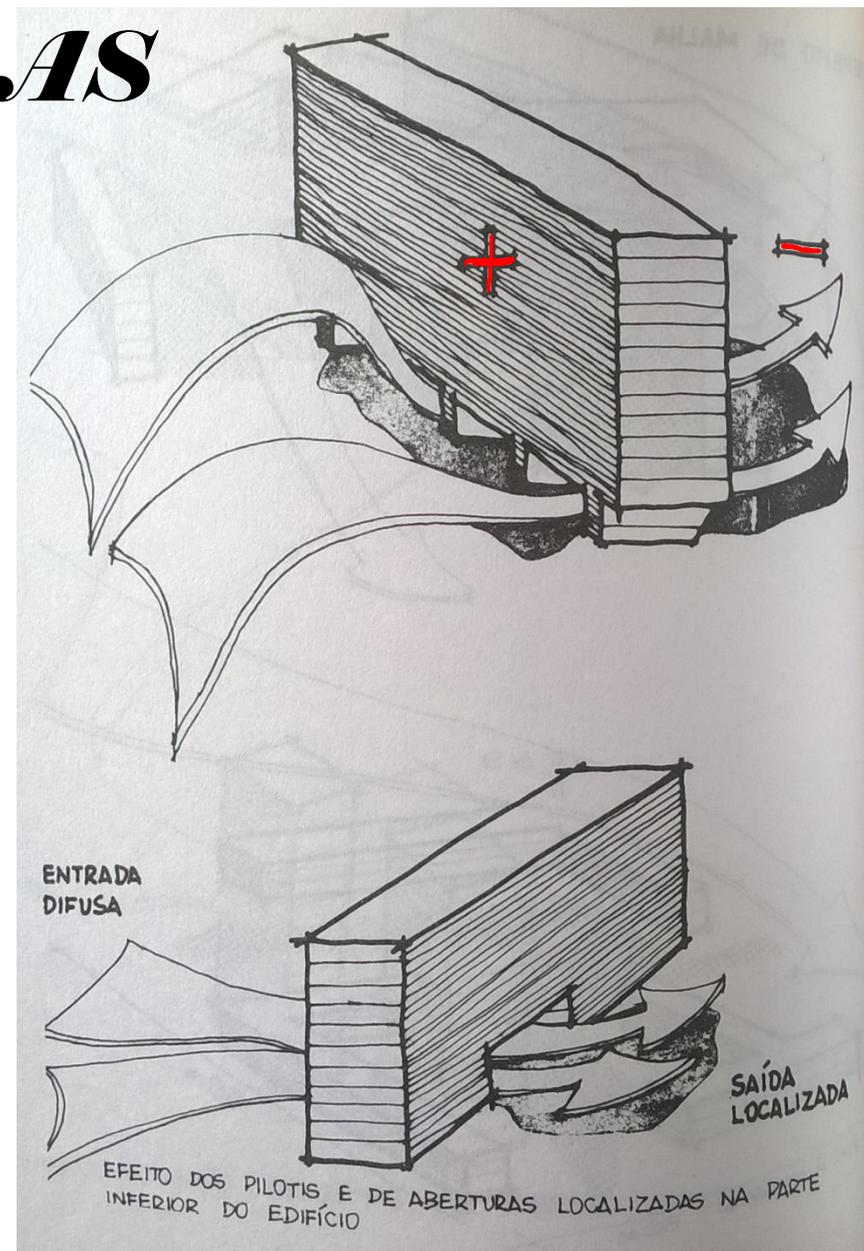


Figura 2

EFEITO DAS ABERTURAS SOB AS EDIFICAÇÕES

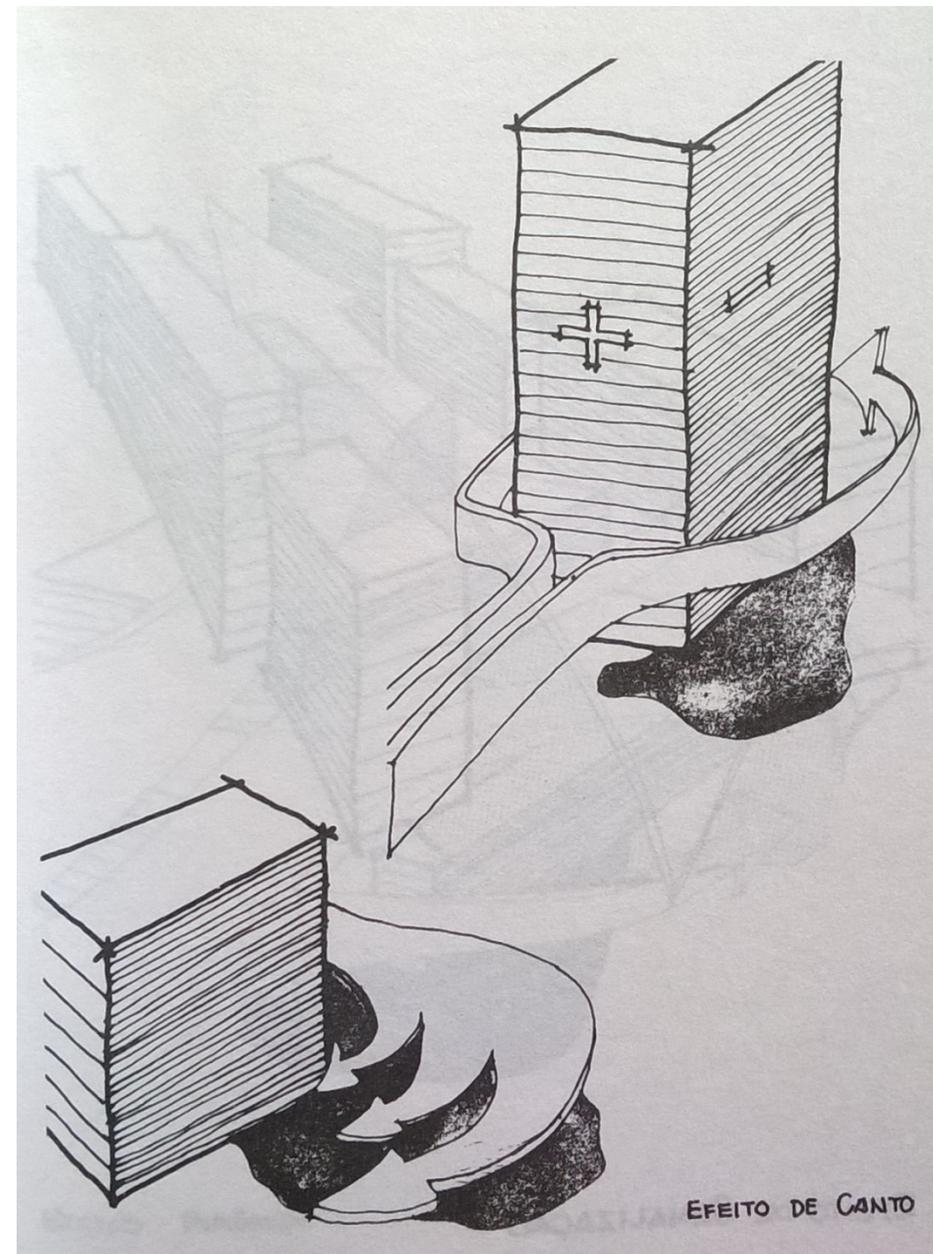
- Efeito das cavidades que fazem a união, sob o edifício, entre a zona de alta pressão (fachada exposta à direção do vento) e a zona de baixa pressão ou sucção (fachada oposta).
- Quanto maior é a altura do pilotis, maior é o efeito da zona de baixa pressão (ou sucção).
- O efeito dos espaços abertos localizados sob o edifício serve para melhorar a ventilação do entorno construído nos climas quente-úmidos. Já nos climas com estação fria, essa solução deve ser usada em combinação com a de barreiras de proteção do vento frio do inverno.



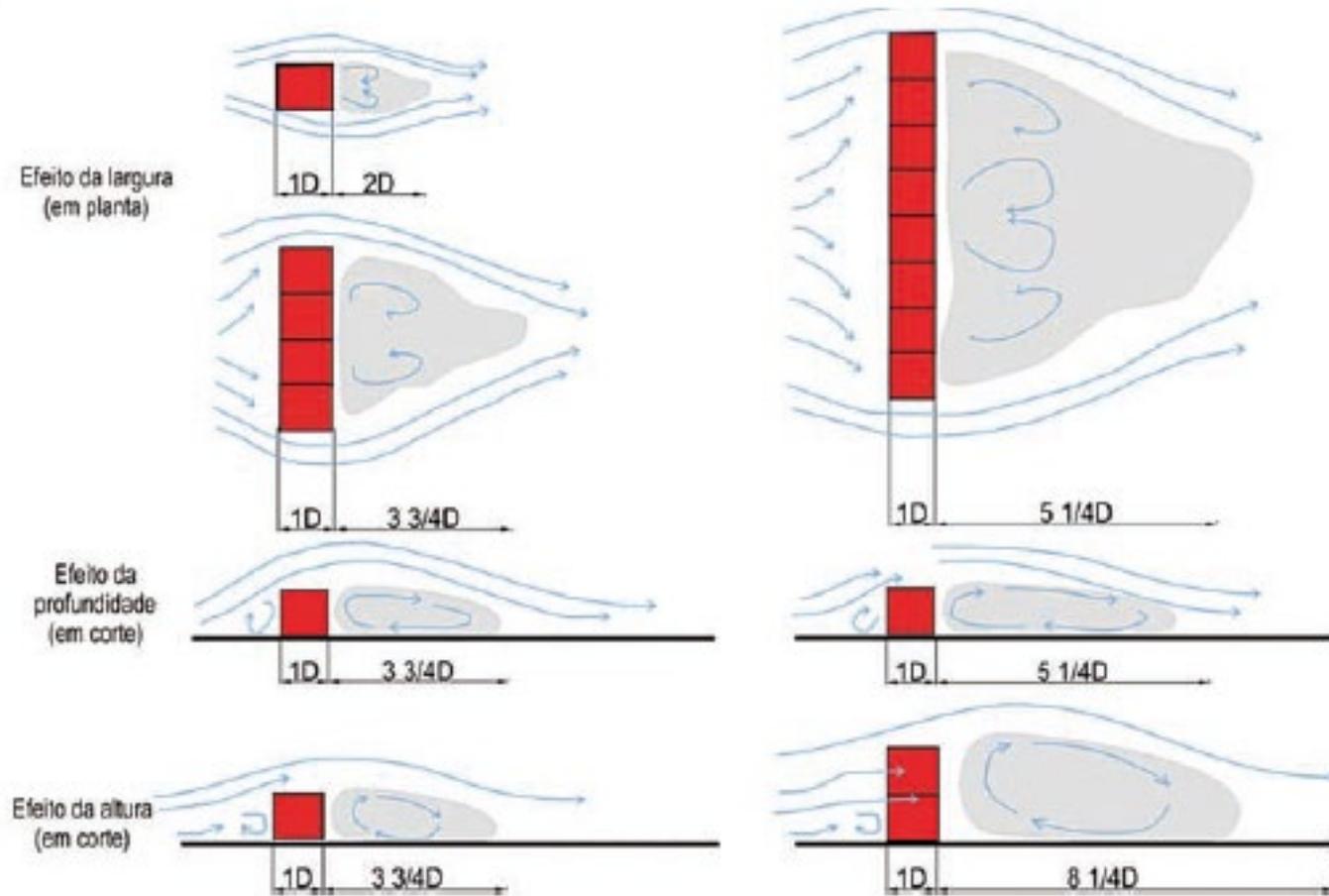
EFEITO DE CANTO

- “Quando uma corrente livre choca-se com a aresta de um obstáculo, a aerodinâmica que governa o escoamento, faz com que este se separe do obstáculo” (PROCEL EDIFICA, 2010, p.18).
- Esse efeito resulta da união dos ângulos do edifício formado por fachadas em pressão e em sucção (pressão menor).
- O efeito aumenta com a altura do edifício e se acentua no caso de conjunto compacto de edificações (edifícios próximos entre si).
- Na estação fria esse efeito pode ser desagradável, pois o vento desenvolve grande velocidade.
- O efeito de canto pode ser aproveitado para ventilar o entorno (construído ou aberto).

Fonte: MASCARÓ, 1991, p.77.

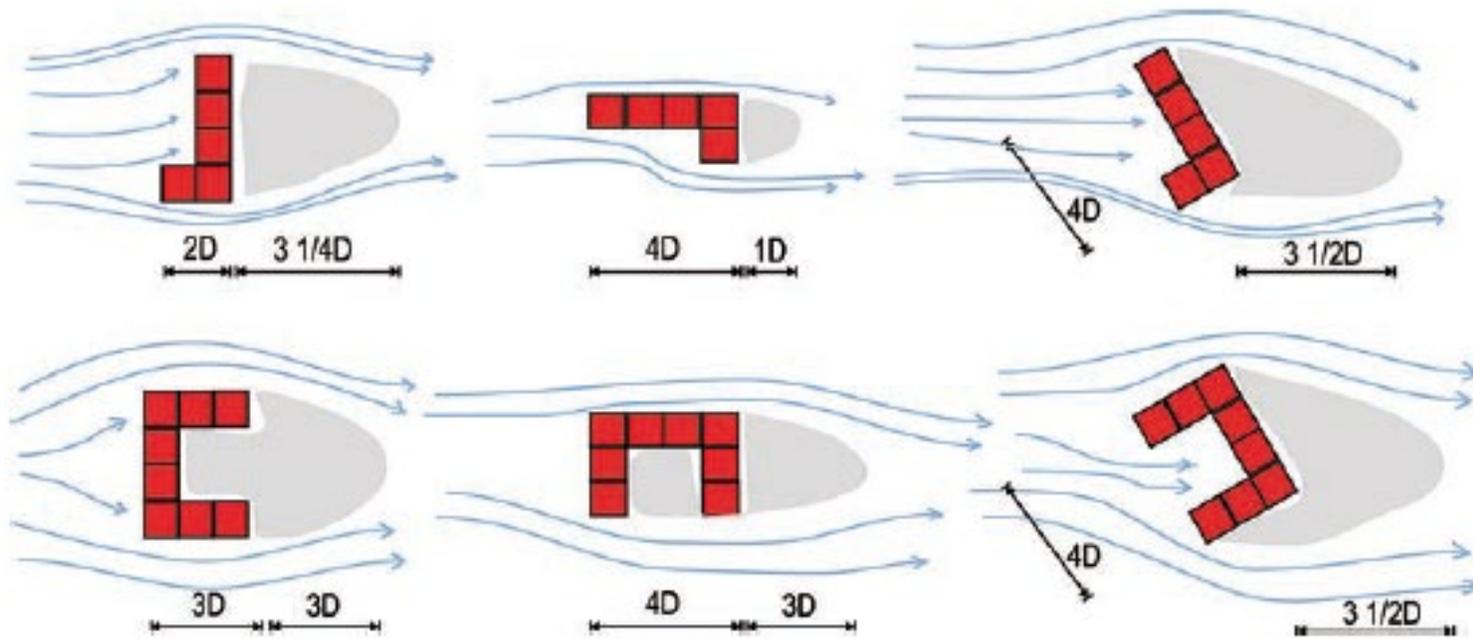


Forma e tipologia dos edificios



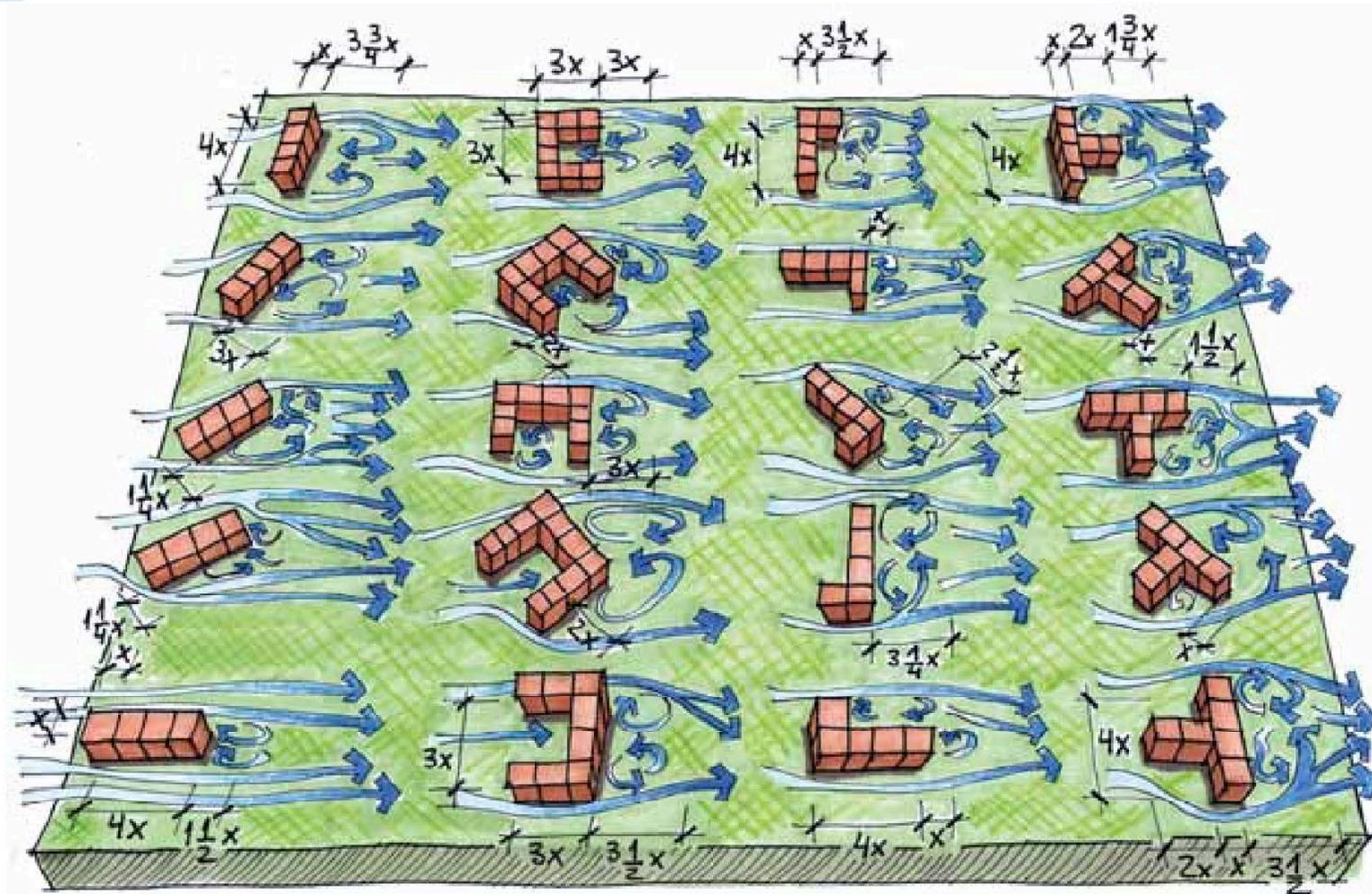
Fonte: EVANS, 1979 apud BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 44

Forma e tipologia dos edificios



Fonte: EVANS, 1979; BOUTET, 1987 apud BITENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 44

Fluxo de ventos ao redor dos edificios

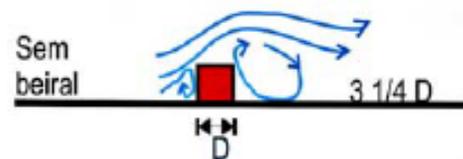


Forma e tipologia dos edifícios

Coberturas Planas

Dimensão do beiral

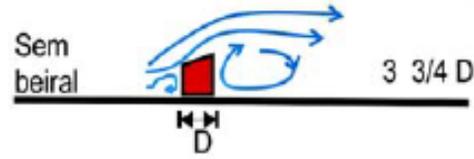
Dimensão da esteira



Coberturas Inclinadas

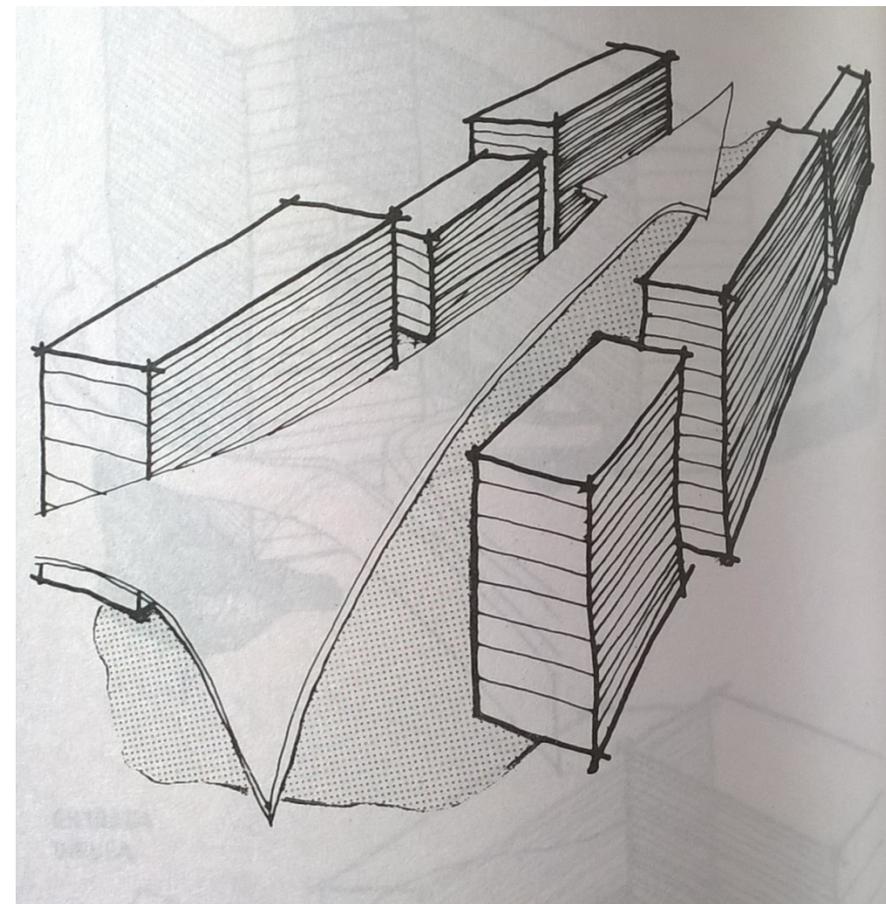
Dimensão do beiral

Dimensão da esteira



EFEITO DE CANALIZAÇÃO

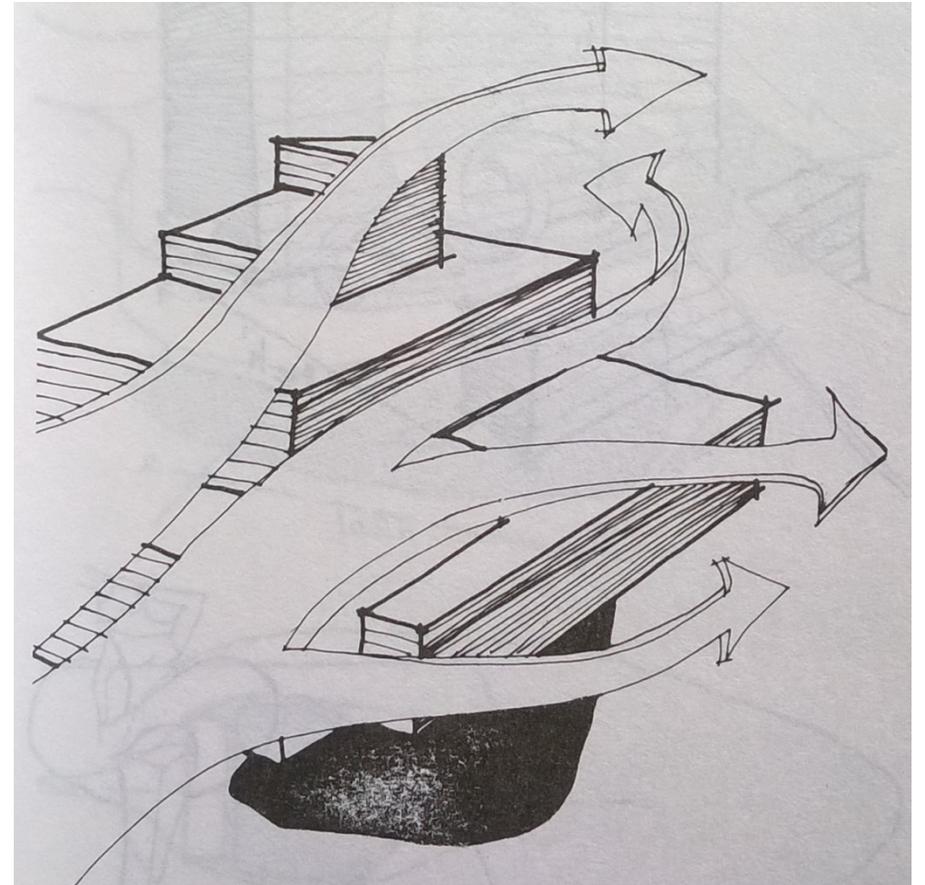
- O fenômeno de canalização do vento, ou de corredor, produz-se de maneira significativa quando o corredor é bem definido e relativamente estreito, ou seja, sua largura é menor que 3 vezes sua altura média.
- Pode ser um efeito desagradável quando está associado ao frio.
- Pode ser utilizado para melhorar as condições de ventilação do entorno nos climas quente-úmidos, quando a velocidade do vento esteja entre 30 e 60m/min.



EFEITO DE PIRÂMIDE

- O edifício de forma piramidal, devido a sua geometria aerodinâmica, não oferece grande resistência à passagem do vento. Suas superfícies irregulares (diferenças de níveis e sacadas) dissipam a energia do vento em todas as direções.
- A formação de redemoinhos ao nível do solo é grande em massas edificadas dessa forma.

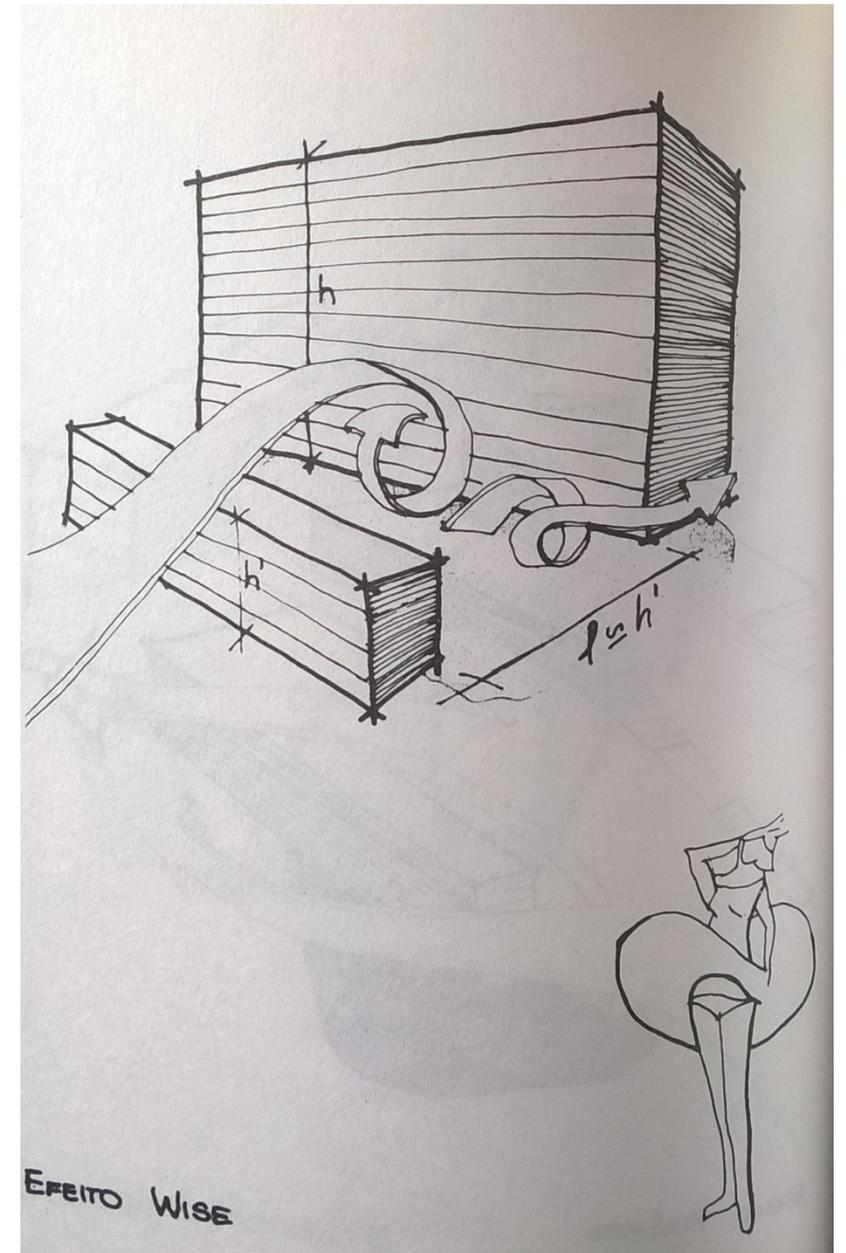
Efeito de Pirâmide
Fonte: MASCARÓ, 1991, p.79.



EFEITO “WISE”

- Em edifícios de mais de 5 pavimentos, o vento que incide frontalmente na fachada exposta produz uma divisão de ação de alta pressão, provocando a formação de um rolo turbulento ao pé do edifício. À maior altura do prédio, corresponde o maior efeito Wise.
- O rolo turbulento, próprio do efeito Wise, é particularmente incômodo pela forma em que circula o fluxo de ar, cuja direção pode ser vertical, por exemplo, levantando os objetos leves.
- A proposta é evitar o efeito Wise.

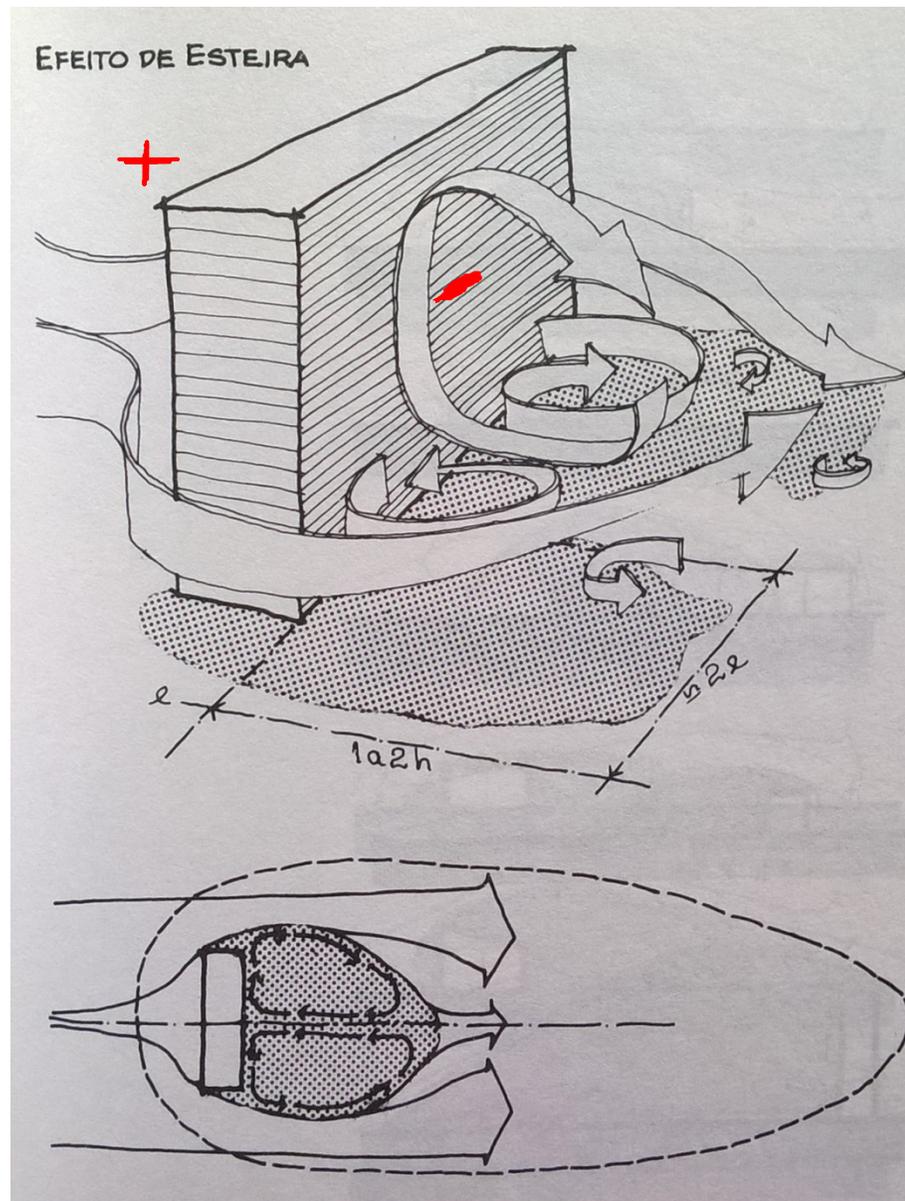
Efeito “Wise”
Fonte: MASCARÓ, 1991, p.80.



EFEITO DE ESTEIRA

- A esteira de um edifício é formada pela circulação do fluxo de ar em redemoinhos na parte posterior, em relação à direção do vento (fachada em zona de baixa pressão ou sucção).
- O Efeito Esteira integra o efeito de canto.
- Nos edifícios com 16 a 30 pavimentos, o tamanho da esteira tem aproximadamente, o comprimento igual à espessura, e a largura equivalente à altura do edifício que a produz.

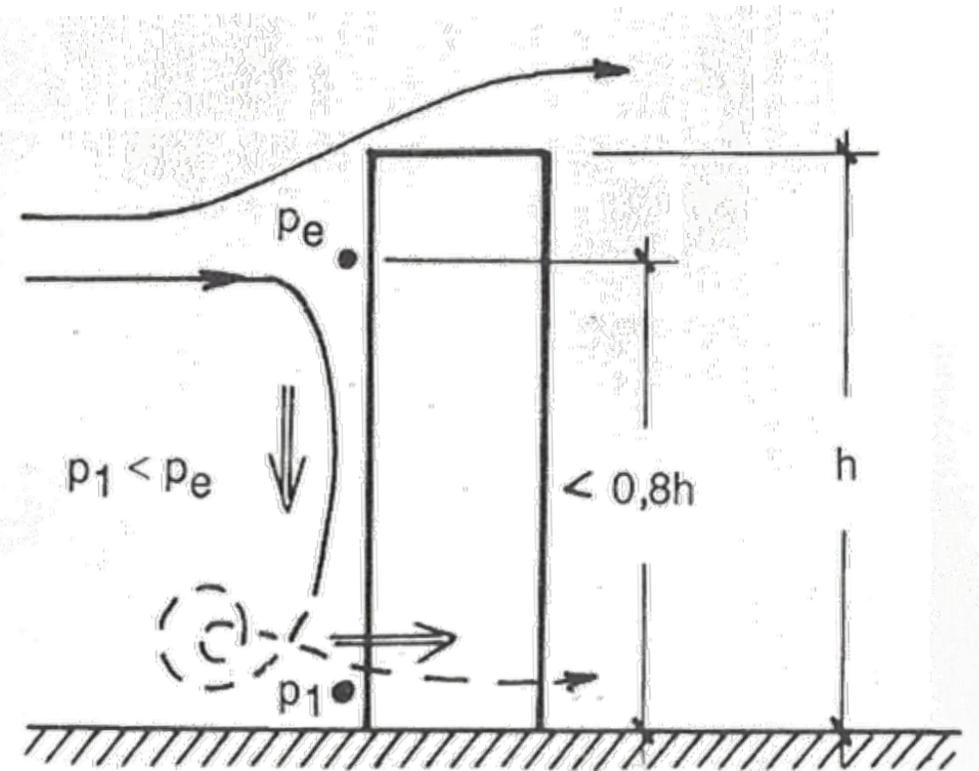
Efeito de Esteira
Fonte: MASCARÓ, 1991, p.81.



Conforto dos Transeuntes

- Problema: edifício exposto ao vento com, no mínimo, **o dobro da altura dos edifícios vizinhos situados a barlavento;**
- Quanto mais alto o edifício, maiores as velocidades e pressões dinâmicas próximas ao ponto de estagnação e maiores velocidades próximo ao solo (gradiente de pressão maior entre essas duas regiões)

(BLESSMANN, 1989).

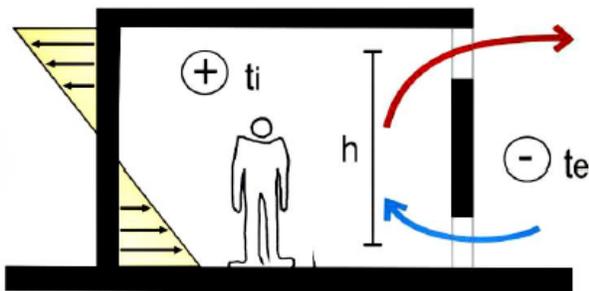


BLESSMANN, 1989, p. 52

Efeitos Aerodinâmicos

Pressões Estáticas

- “(..) a ação da pressão estática é exercida pela atmosfera somada à pressão causada pela diferença de densidade entre o ar interno e externo às edificações (...)” BITENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 36.



Esquema do movimento do ar devido à diferença de pressão estática.
Fonte: BITENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 30.

Pressões Dinâmicas

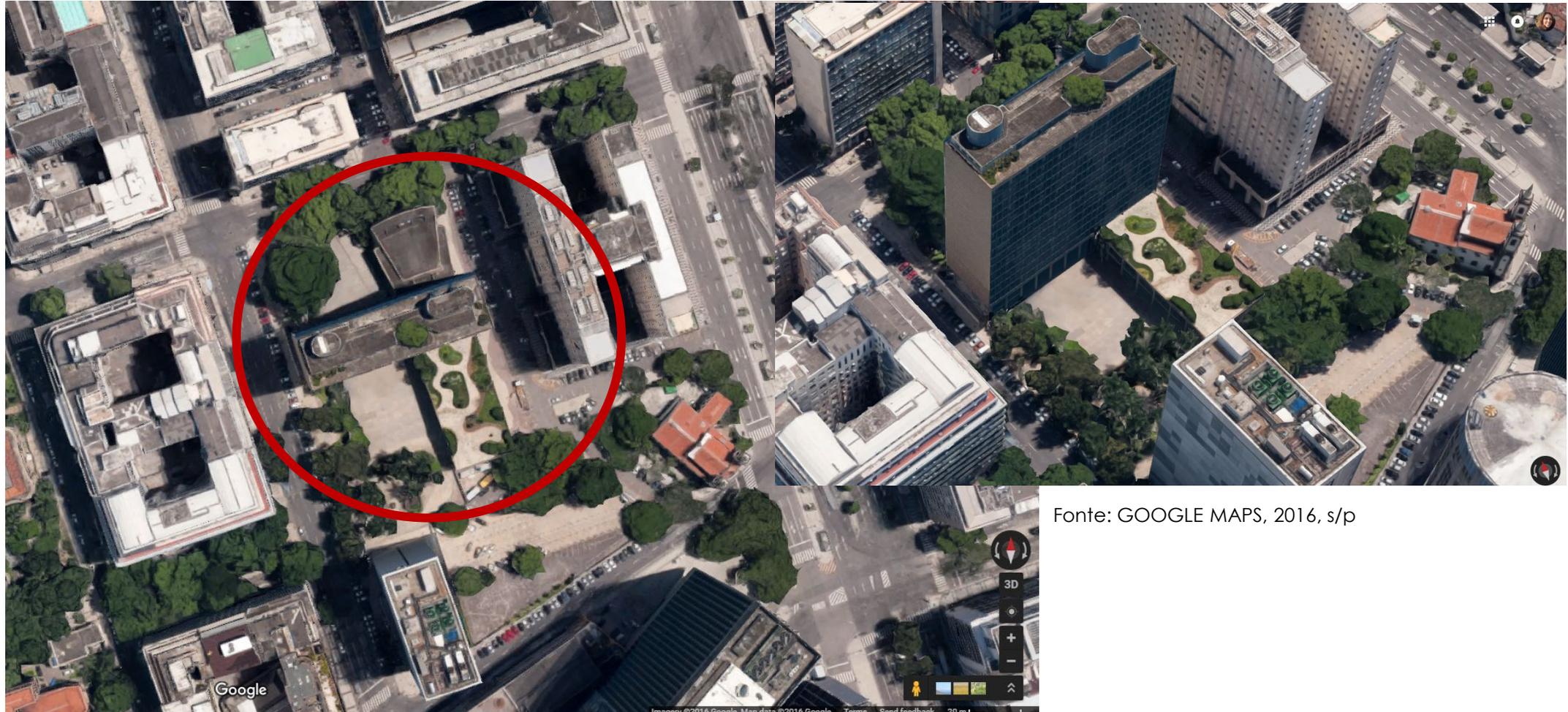
- “A pressão dinâmica é a pressão produzida pela força da velocidade do vento e está associada com a energia cinética do movimento da corrente de ar. Algumas vezes é chamada pressão de estagnação nos pontos onde a velocidade é levada a zero e a energia cinética é transformada em pressão” BITENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 36.

Pressões nas fachadas

- “As zonas do escoamento que apresentam valores da pressão acima da pressão atmosférica e exercem um empuxo nas superfícies do edifício, foram consideradas como zonas de pressão positiva. Aquelas zonas onde a pressão é menor que a pressão atmosférica, e um efeito de sucção é produzido nas superfícies do edifício, são chamadas de zonas de pressão negativa” BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010, p. 36-37.
- Do ponto de vista científico é incorreto utilizar esta terminologia, pois todas as pressões ao redor do edifício possuem valores positivos BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2010.

Conforto dos Transeuntes

Edifício Palácio Gustavo Capanema



Fonte: GOOGLE MAPS, 2016, s/p

Conforto dos Transeuntes

Edifício Palácio Gustavo Capanema



Lucio Costa, Carlos Leão,
Oscar Niemeyer, Affonso
Eduardo Reidy, Ernani
Vasconcellos e Jorge
Machado Moreira.

Consultoria: Le Corbusier.

Finalizado em 1947.

Conforto dos Transeuntes

Edifício Mirante do Vale



- Arquiteto: Waldomiro Zarzur
- 170m de altura
- 51 andares
- Finalizado em 1960
- Foi o edifício mais alto do Brasil

Conforto dos Transeuntes

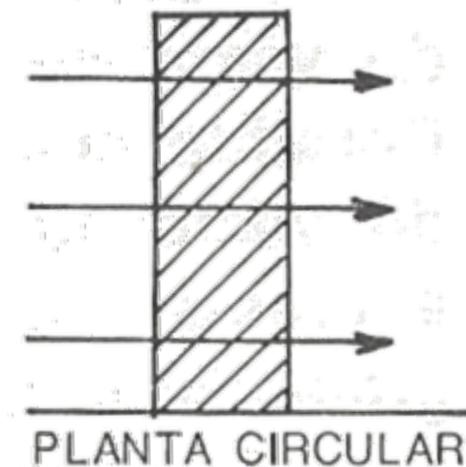
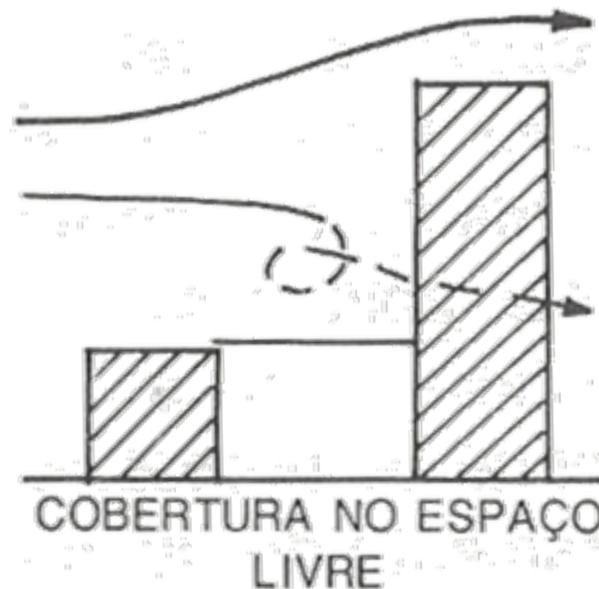
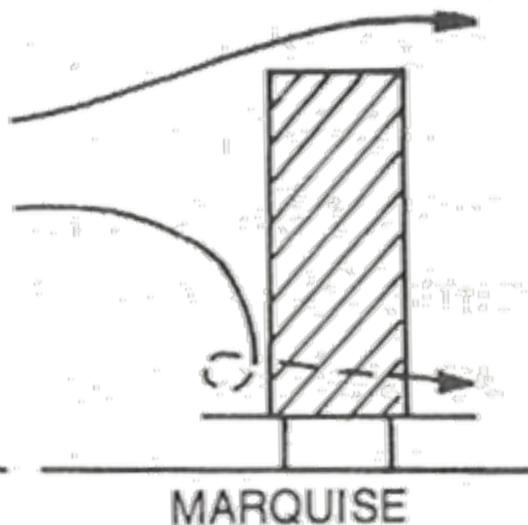
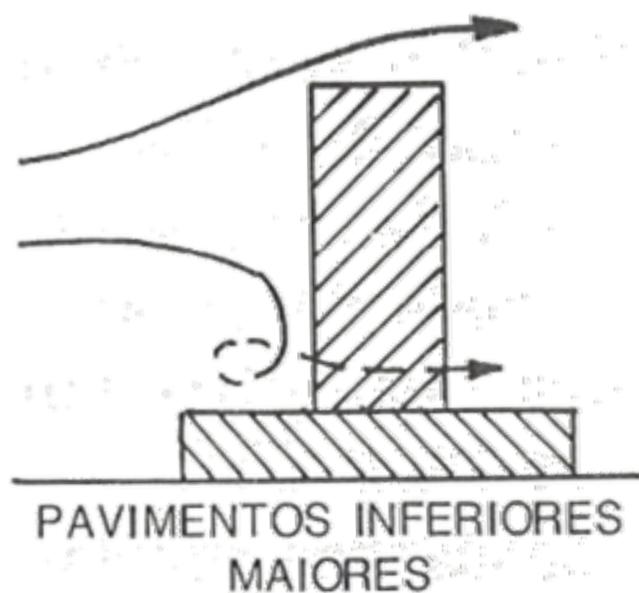
LAC – Laboratório de Aerodinâmica das Construções, UFRGS

Edifício John Hancock, Boston



Estratégias para o conforto do pedestre

Sugestões para evitar altas velocidades próximo ao solo.



Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann

LAC – Laboratório de Aerodinâmica das Construções, UFRGS

- Efeitos estáticos e dinâmicos do vento em edificações: prognóstico de pressões, tensões, deformações, deslocamentos e características das vibrações.
- Efeitos do vento em estruturas especiais: edifícios altos, torres, chaminés, pontes, linhas de transmissão, estádios e estruturas flexíveis.
- Impactos sobre o meio ambiente e estudos climáticos / Poluição atmosférica / Climatização e ventilação / Agricultura / Energia eólica / Transporte.

Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann

LAC – Laboratório de Aerodinâmica das Construções, UFRGS

- 21,38m de comprimento
: 2 câmaras
 - 1,30 metro de largura e 0,90 metro de altura;
 - 2,50 metros de largura e 2,10 metros de altura.
- E-Tower, o Birmann 21, a sede do Citibank, Plaza Centenário, entre outros.
- NBR 6.123: Forças Devidas ao Vento em Edificações

Fonte: PAIVA, 2008, s/p.



Fonte: Labcon