



## SIMULAÇÕES DE AMBIENTES VENTILADOS E NORMAS

A . M. Osório de B. B. Marques e O. D. Corbella

Universidade Federal do Rio de Janeiro

DTC / PROARQ e PROUEB / FAU

Rua Belfort Roxo, 406/1002 - Copacabana

22020-010 Rio de Janeiro

Fax + 55-21-522.7805

e-mail: [francisco.araujo@infolink.com.br](mailto:francisco.araujo@infolink.com.br), [corbella@acd.ufrj.br](mailto:corbella@acd.ufrj.br)

*RESUMO* Realizou-se uma análise da aplicação das normas sobre áreas de janelas, tomando como base as de várias cidades brasileiras, visando avaliar sua utilidade do ponto de vista da ventilação interior para o conforto térmico. Fizeram-se simulações com células tipo, colocadas em diversas condições urbanas, localizações num edifício, tanto em altura, quanto em situação em fachadas diferentes, comprovando-se que a aplicação das normas não assegura a ventilação requerida. Sugere-se que as normas deveriam usar um número de renovações por tipo de ambiente e ocupação, se usadas para obter conforto térmico.

*ABSTRACT* The paper considered the applicability of the norms about windows areas, on the base of the legislation of Brazilian cities, in order to evaluate their utility from the point of view of thermal comfort ventilation. By the analysis of simulation on patronised cells, located in different urban contexts, windows on different façades, the as well as on different parts of them, it was possible to verify that the norms application does not provide the required ventilation. It is suggested that the norms would use renovations rates for each type of ambient and occupation in order to reach thermal comfort.

### 1 Programas, Ambientes e Simulações Preliminares

Para obter resultados quantitativos sobre ventilação natural, utilizaram-se, neste trabalho, três ferramentas de cálculo. Os programas utilizados foram:

. O CpCalc (O CpCalc foi desenvolvido por Mario Grosso, Dept. of Environmental Science and Technology, Turin Polytechnical University, Italy, 1995). É um programa que calcula os coeficientes de pressão do vento em pontos das fachadas dos edifícios. Aplica-se a edifícios de planta retangular com condições limites compreendidas em

intervalos dados. Os detalhes se apresentam no manual do programa ou em Marques (1999). Os dados de entrada se distribuem em 2 arquivos: o "ENVBUILD", relacionado com os parâmetros do meio ambiente, meteorológicos e da geometria do edifício; e o "FACADE", relacionado com o posicionamento dos pontos requeridos na fachada.

. O Breeze (O BREEZE foi desenvolvido pelo B. R. E., Garston-U.K, 1991). Realiza simulações de ventilação natural em edifícios. Os dados de entrada são: plantas baixas de edifícios, com aberturas e características, parâmetros físicos, temperaturas interna e externa, velocidade do vento, coeficiente de descarga das aberturas, e coeficientes de pressão do vento. Dentro de variados resultados utilizamos no trabalho o número de renovações de ar do ambiente, calculado pelo fluxo de saída de ar.

. O Lesocool (O Lesocool foi desenvolvido por Jacobus Van Der Maas e Claude-Alain Roulet Versão 5.00, 1994). É uma ferramenta que calcula o efeito de resfriamento da ventilação natural, em particular a ventilação noturna. A temperatura interna pode ser comparada para diferentes estratégias de ventilação, tamanhos e posições das aberturas e para diferentes materiais de alvenaria. Para se criar um projeto, os dados de entrada são: altitude, tipo e estratégias de ventilação, aberturas, características térmicas do local, áreas de paredes e piso, temperatura interna inicial, temperatura externa; ganhos de calor. Nos resultados, entre outros temos a temperatura do ar interno.

Foram pesquisadas três regiões no Rio de Janeiro nas que se dispunha de muitos dados climáticos e que têm características urbanas diferentes: a Barra da Tijuca, Bangú e Santa Cruz. Os detalhes são tratados em Marques e Corbella (1999).

Devido à grande quantidade de combinações possíveis, considerando o grande número de dados climáticos, as diversas posições dos edifícios, seus diferentes tamanhos, o posicionamento das janelas ou dos cômodos estudados, etc., como primeiro passo foi estudada a sensibilidade dos programas através de simulações variando alguns dos parâmetros. Os resultados indicaram qual a seleção das variáveis mais importantes. No CpCalc foi estudada a variação dos coeficientes de pressão do vento em relação ao: ângulo de incidência do vento; edifícios de altura igual, mais baixos e mais altos do que o entorno; forma do edifício; densidade do entorno; perfil da velocidade do vento relativo à rugosidade do terreno. O estudo foi realizado para nove pontos das quatro fachadas, três em cada pavimento, localizados nas duas extremidades e no centro e um exemplo dos resultados nas 4 variáveis estudadas mantendo as outras variáveis fixas se apresentam na tabela 1.

Tabela 1 Exemplos de Coeficientes de Pressão do Vento.

	Edifícios de 30m – Entorno de 30m						Edifícios de 30m – Entorno de 60m					
	VeExp = 0.33						VeExp = 0.33					
	PAD = 4			PAD = 12			PAD = 4			PAD = 12		
	180°	225°	45°	180°	225°	45°	180°	225°	45°	180°	225°	45°
1.1	0.13	0.10	-0.10	0.03	0.02	-0.06	0.17	0.14	-0.11	0.04	0.03	-0.02
1.2	0.24	0.08	-0.10	0.05	0.02	-0.06	0.32	0.10	-0.10	0.07	0.02	-0.02
1.3	0.13	-0.02	-0.08	0.03	0.00	-0.05	0.17	-0.02	-0.08	0.04	0.00	-0.02
2.1	0.13	0.10	-0.12	0.02	0.02	-0.07	0.14	0.12	-0.14	0.01	0.01	-0.07
2.2	0.24	0.08	-0.11	0.04	0.01	-0.07	0.27	0.09	-0.13	0.02	0.01	-0.06
2.3	0.13	-0.02	-0.09	0.02	0.00	-0.05	0.14	-0.02	-0.11	0.01	0.00	-0.05
3.1	0.35	0.23	-0.13	0.18	0.12	-0.06	0.30	0.20	-0.14	0.07	0.04	-0.03
3.2	0.55	0.18	-0.07	0.29	0.09	-0.03	0.47	0.15	-0.08	0.10	0.03	-0.02
3.3	0.35	-0.02	-0.08	0.18	-0.01	-0.04	0.30	-0.02	-0.09	0.07	0.00	-0.02

	Edifícios de 30m – Entorno de 15m						Edifícios de 60m – Entorno de 15m					
	VeExp = 0.33						VeExp = 0.33					
	PAD = 4			PAD = 12			PAD = 4			PAD = 12		
	180°	225°	45°	180°	225°	45°	180°	225°	45°	180°	225°	45°
1.1	0.10	0.08	-0.10	0.03	0.03	-0.11	0.07	0.07	-0.12	0.03	0.03	-0.16
1.2	0.19	0.06	-0.09	0.06	0.02	-0.10	0.17	0.05	-0.11	0.07	0.02	-0.14
1.3	0.10	-0.01	-0.08	0.03	0.00	-0.08	0.07	-0.02	-0.08	0.03	-0.01	-0.11
2.1	0.12	0.10	-0.11	0.03	0.03	-0.09	0.10	0.11	-0.12	0.04	0.04	-0.15
2.2	0.23	0.08	-0.10	0.07	0.02	-0.08	0.25	0.08	-0.11	0.09	0.03	-0.13
2.3	0.12	-0.02	-0.08	0.03	0.00	-0.07	0.10	-0.03	-0.09	0.04	-0.01	-0.10
3.1	0.43	0.28	-0.13	0.31	0.21	-0.10	0.36	0.28	-0.17	0.28	0.21	-0.19
3.2	0.68	0.22	-0.07	0.49	0.16	-0.06	0.67	0.22	-0.08	0.52	0.17	-0.09
3.3	0.43	-0.03	-0.08	0.31	-0.02	-0.07	0.36	-0.07	-0.10	0.28	-0.05	-0.11

Pode-se verificar que o mesmo ponto chega a trocar de valor positivo para negativo, caso a fachada esteja ou não virada ao vento, e que nos edifícios com altura igual à do entorno os pontos centrais da fachada mantêm a pressão constante.

O quinto parâmetro é relativo à forma do edifício, e alguns exemplos dos resultados estão na tabela 2. As simulações foram realizadas com 3 parâmetros constantes: altura do edifício e do entorno e coeficiente referente à rugosidade do terreno. Com vento a 180° e 225°, os pontos situados no primeiro pavimento e no pavimento intermediário, tendem a aumentar os coeficientes à medida que se aumenta um dos lados do edifício. No pavimento superior nem sempre ocorre o mesmo. Com vento a 45° não se estabelece uma tendência.

Quanto à densidade urbana, o que se pode notar é que quando esta é muito alta os coeficientes de pressão invertem seus sinais, como é exemplo o ponto 2.2, da tabela 3, situado no centro da fachada, com ventos a 180° e 225°. Finalmente, alguns resultados do estudo do coeficiente do perfil da velocidade do vento relacionado com a rugosidade do terreno estão na tabela 4. Nota-se que os coeficientes aumentam bastante com a menor rugosidade do terreno. Os dois coeficientes de perfil da velocidade do vento relativos à rugosidade do terreno que foram testados são VeExp=0.33 - que corresponde a áreas de subúrbio de densidade média, e VeExp=0.10 - correspondendo a superfícies de água, relvados e superfícies lisas.

Tabela 2 Coeficientes de Pressão do Vento Relacionados com a Forma do Edifício.

Edifícios de 60m – Entorno de 15m – VeExp = 0,33												
Local	180°						225°					
	PAD = 4			PAD = 12			PAD = 4			PAD = 12		
	30x30	75x30	120x30	30x30	75x30	120x30	30x30	75x30	120x30	30x30	75x30	120x30
1.1	0.07	0.07	0.08	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.03	0.05	0.06
1.2	0.16	0.22	0.25	0.07	0.11	0.15	0.05	0.07	-0.08	0.02	0.03	0.05
1.3	0.07	0.07	0.08	0.03	0.04	0.05	-0.02	-0.04	-0.05	-0.01	-0.02	-0.03
2.1	0.11	0.10	0.10	0.04	0.04	0.05	0.11	0.13	0.13	0.04	0.05	0.07
2.2	0.25	0.30	0.32	0.09	0.12	0.16	0.08	0.10	0.10	0.03	0.04	0.05
2.3	0.11	0.10	0.10	0.04	0.04	0.05	-0.3	-0.05	-0.06	-0.01	-0.02	-0.03
3.1	0.40	0.32	0.33	0.31	0.30	0.35	0.29	0.27	0.29	0.22	0.25	0.31
3.2	0.70	0.67	0.71	0.54	0.62	0.77	0.23	0.22	0.23	0.18	0.20	0.25
3.3	0.40	0.32	0.33	0.31	0.30	0.35	-0.06	-0.09	-0.10	-0.04	-0.08	-0.11

Tabela 3 Coeficientes de Pressão do Vento Relacionados com a Densidade Urbana.

Edifícios de 15m – Entorno de 15m – VeExp = 0,33						
	180°		225°		45°	
	PAD = 45	PAD = 10	PAD = 45	PAD = 10	PAD = 45	PAD = 10
1.1	-0.05	0.08	-0.04	0.06	-0.09	-0.16
1.2	-0.09	0.13	-0.03	0.04	-0.08	-0.15
1.3	-0.05	0.08	0.00	0.00	-0.07	-0.13
2.1	-0.06	0.08	-0.04	0.06	-0.11	-0.14
2.2	-0.10	0.13	-0.03	0.04	-0.10	-0.13
2.3	-0.06	0.08	0.00	0.00	-0.08	-0.11
3.1	0.00	0.22	0.00	0.13	-0.11	-0.12
3.2	0.00	0.32	0.00	0.10	-0.07	-0.07
3.3	0.00	0.22	0.00	0.00	-0.08	-0.08

Tabela 4 Coeficientes de Pressão do Vento em Relação à Rugosidade do Terreno.

	180°							
	Edifício de 30m e Entorno de 30m				Edifício de 60m e Entorno de 60m			
	PAD = 4		PAD = 12		PAD = 4		PAD = 12	
	VeExp	VeExp	VeExp	VeExp	VeExp	VeExp	VeExp	VeExp
	0.33	0.10	0.33	0.10	0.33	0.10	0.33	0.10
1.1	0.13	0.24	0.03	0.05	0.10	0.18	0.02	0.04
1.2	0.24	0.46	0.05	0.10	0.24	0.46	0.05	0.10
1.3	0.13	0.24	0.03	0.05	0.10	0.18	0.02	0.04
2.1	0.13	0.28	0.02	0.05	0.10	0.21	0.02	0.03
2.2	0.24	0.53	0.04	0.09	0.24	0.53	0.04	0.09
2.3	0.13	0.28	0.02	0.05	0.10	0.21	0.02	0.03
3.1	0.35	0.44	0.18	0.23	0.29	0.38	0.15	0.20
3.2	0.55	0.70	0.29	0.37	0.55	0.70	0.29	0.37
3.3	0.35	0.44	0.18	0.23	0.29	0.38	0.15	0.20

## 2. Simulações e Resultados Finais

As simulações seguintes objetivam o estudo das três regiões, para as quais foram calculados os coeficientes de pressão do vento e número de renovações de ar, exceto para Santa Cruz que foi simulada também no Lesocool num período de 24 horas. Adotou-se um modelo uni-zona a que se chamou de célula-ambiente, com uma planta interna de 10 x 5m e um pé-direito de 2,80m, tendo, portanto uma área de 50,0m<sup>2</sup> e um volume de 140,0m<sup>3</sup>. A célula-ambiente foi analisada dentro de quatro tipos de edifícios, conforme a região: A-edifícios de 60m de altura com entorno também de 60m e B- edifícios de 15m com entorno de 30m, ambas situações encontradas na Barra da Tijuca; C- edifício de 19m

com entorno de 19m, tipologia possível no centro de Bangú e D– edifício de 9m com entorno também de 9m, tipologia considerada para Santa Cruz. Em cada um dos edifícios se estudou uma ou duas posições da célula-ambiente, dependendo do caso. Os pontos nos edifícios tipo A, B, C e D, das respectivas áreas da Barra, Bangú e Santa Cruz, para se calcular os coeficientes de pressão foram os que estariam localizados nas células-ambiente 1 e 2 e estão apresentados na figura 1.

Foi analisado o fluxo para 8 situações diferentes de aberturas dentro da célula-ambiente, na Barra da Tijuca e Bangú, enquanto que para Santa Cruz foram escolhidas as situações de

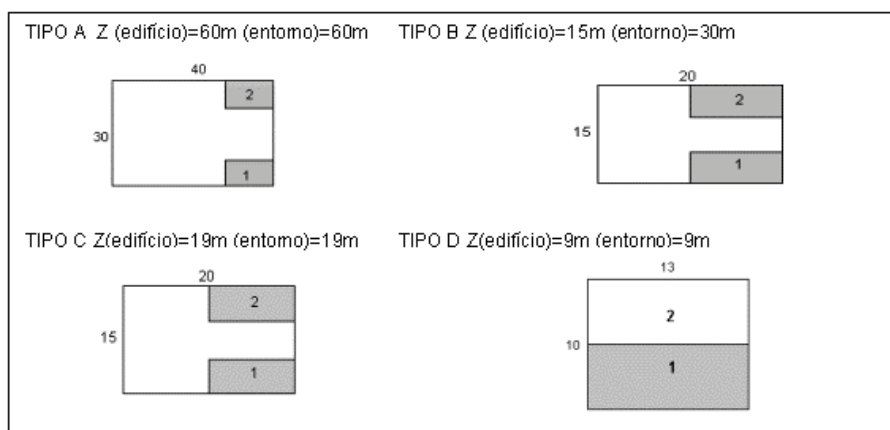


Figura 1 Posicionamento das células-ambiente dentro dos edifícios, em planta baixa.

Janelas que oferecessem maior fluxo, observando-se a diferença dos coeficientes nos pontos então calculados. O tamanho das aberturas pelo código de obras, teria que ser igual ou superior a 1/6 da área do piso, com área efetiva de ventilação metade deste valor. Então, para uma planta de 50m<sup>2</sup> teremos uma área de ventilação igual a 4,00m<sup>2</sup>. Portanto, se tivermos apenas uma janela ela será de 4,00m<sup>2</sup>, e se tivermos duas janelas elas terão 2,00m<sup>2</sup> cada, tendo as seguintes medidas: Altura do peitoril 0,90m; Altura da janela 1,50m.

De início apresenta-se alguns exemplos dos resultados finais da Barra da Tijuca e Bangú e os resultados do estudo do tamanho das aberturas em relação à altura do edifício. E, finalmente as simulações e resultados de Santa Cruz.

Alguns resultados das simulações, dados em m<sup>3</sup>/h e número de renovações de ar do ambiente, estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Exemplos de Resultados das Simulações.

Posic. Janela	Tipo A – Edifícios de 60m e entorno de 60m							
	Hipótese A (Ti = Te)				Hipótese B (Ti > Te)			
	Pavimento Médio		Pavimento Superior		Pavimento Médio		Pavimento Superior	
	m <sup>3</sup> /h	N°ren/ar	m <sup>3</sup> /h	N°ren/ar	m <sup>3</sup> /h	N°ren/ar	m <sup>3</sup> /h	N°ren/ar
a	0.0	0	0.0	0	1 550	11	1 550	11
b	0.0	0	0.0	0	1 550	11	1 550	11
c	0.0	0	0.0	0	1 550	11	1 550	11
d	0.0	0	0.0	0	1 550	11	1 550	11
e	10 881	77	13 953	99	10 978	78	14 079	100
f	1 246	8,9	0.0	0	1 628	11	1 550	11
g	4 341	31	6 330	45	4 354	31	6 377	45
h	0.0	0	0.0	0	1 550	11	1 550	11

O estudo do tamanho das aberturas em relação à altura do edifício foi feita em edifícios Tipo A, índice de densidade, PAD=4; ventilação cruzada, vento a 180° e área de janela de 2,0m<sup>2</sup> cada. Como mostra a tabela 6, a vazão em m<sup>3</sup>/h mudou de janela para janela. Para que a vazão permaneça constante nos variados pavimentos as janelas teriam que ter tamanhos diferentes.

Em Santa Cruz, com as listas horárias de temperatura externa em °C, a vazão de fluxo de ar em m<sup>3</sup>/h e o ganho térmico que a célula-ambiente estaria sofrendo durante as 24 horas do dia entraram-se no Lesocool para conhecer o comportamento da célula-ambiente, perante variadas situações de tipo e estratégias de ventilação. A variação paramétrica em todas as simulações é referente ao tipo e às estratégias de ventilação. De todas as simulações realizadas, cerca de 50, se escolheu as 10 mais representativas, descritas na tabela 7.

Tabela 6 Vazões e Tamanhos de Janelas em Diferentes Posições Verticais.

Vazões para uma mesma janela em alturas diferentes:		
Area de cada janela (m <sup>2</sup> )	Posição vertical (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
2,0	54,0	13 751
2,0	30,0	10 163
2,0	6,0	9 518

Áreas diferentes para vazões iguais:		
Area de cada janela (m <sup>2</sup> )	Posição vertical (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
2,0	54,0	13 751
2,7	30,0	13 751
2,9	6,0	13 751

Tabela 7 Estratégias de ventilação das simulações realizadas no Lesocool.

N.º da Simulação	Descrição
Sim1	Ventilação Natural* ou Mecânica** Estratégia: Janelas sempre fechadas (fluxo=0)
Sim2	Ventilação Natural (sem vento) Estratégia: Janelas sempre abertas
Sim3	Ventilação Mecânica (com vento) Estratégia: Janelas sempre abertas com o fluxo calculado hora a hora
Sim4	Ventilação Mecânica Estratégia: Janelas fechadas das 9:00 às 17:00 (fluxo=0) Janelas abertas das 18:00 às 8:00h com fluxo <b>normal</b>
Sim5	Ventilação Mecânica Estratégia: (baseada na sim3) Com o fluxo horário em <b>dobro</b>
Sim6	Ventilação Mecânica Estratégia: (baseada na sim3) Fluxo das 9:00 às 19:00h <b>normal</b> Fluxo das 20:00 às 8:00h em <b>dobro</b>
Sim7	Ventilação Mecânica Estratégia: (baseada na Sim3) Fluxo das 8:00 às 19:00h pela <b>metade</b> Fluxo das 20:00 às 7:00h em <b>dobro</b>
Sim8	Ventilação Mecânica Estratégia: (baseada na Sim3) Fluxo das 8:00 às 19:00h pela <b>metade</b> Fluxo das 20:00 às 7:00h <b>normal</b>
Sim9	Ventilação Mecânica Estratégia: (baseada na Sim3) Fluxo das 8:00 às 19:00h em <b>¼</b> Fluxo das 20:00 às 7:00h <b>normal</b>
Sim10	Ventilação Mecânica Estratégia: (baseada na Sim17) Fluxo das 8:00 às 19:00h em <b>¼</b> Fluxo das 20:00 às 7:00h em <b>dobro</b>

Alguns dos resultados, em forma gráfica, para cada situação, se apresentam nas fig. 2 a 7.

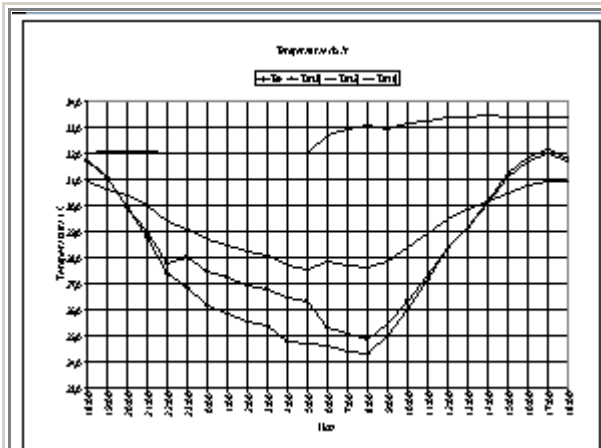


Fig. 2 - Resultados das simulações 1, 2 e 3

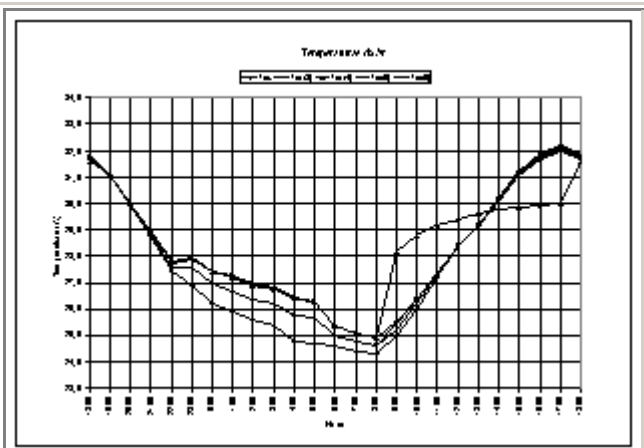


Fig. 3 - Resultados das simulações 3,4,5 e 6.

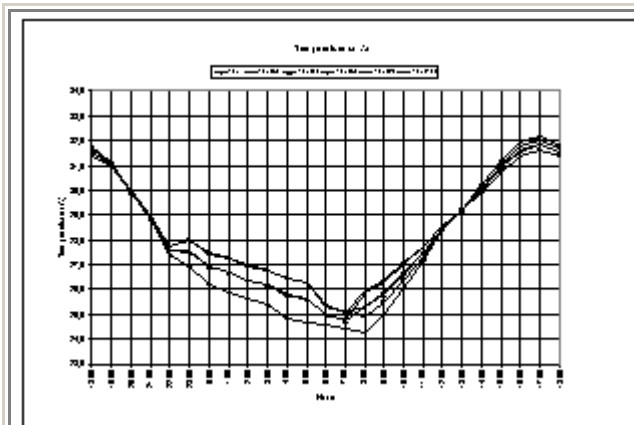


Fig. 4 - Resultados das simulações 3,7,8,9,e,10

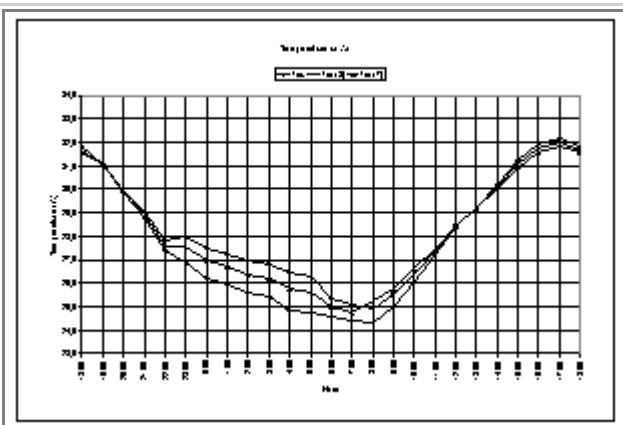


Fig. 5 - Resultados das simulações 3 e 7

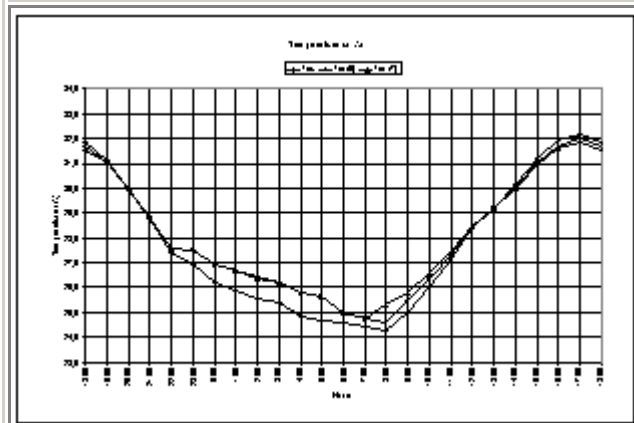


Fig. 6 - Resultados das simulações 6 e 7

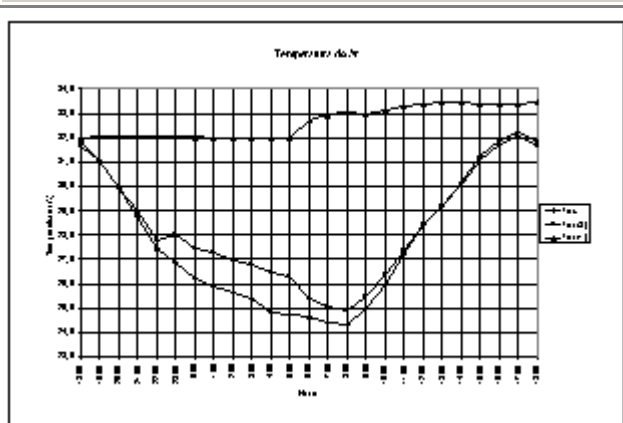


Fig. 7 - Simulações 1 e 3

### **3. Considerações Finais**

O código de obras exige uma metragem fixa de área de ventilação nos compartimentos, mas foi verificado que esta área não implica que se produza uma ventilação adequada do ambiente. Os coeficientes de pressão do vento são diferentes em variados pontos de um mesmo edifício, ou seja, fluxos internos de ar são igualmente diferentes.

A comparação dos resultados das simulações Sim1 (fluxo=0) e a Sim3 (fluxo variável, mas contínuo durante as 24 horas do dia), representada no gráfico da figura 7, mostra que sem dúvida é melhor manter-se as janelas abertas. Por outro lado, a  $T_i$  dada como resultado se refere à temperatura de bulbo seco e não a temperatura de sensação. Então, nos períodos mais quentes do dia, abrindo tem-se uma temperatura de sensação mais baixa do que se o ambiente estiver fechado, além de que se pode alcançar uma temperatura mais baixa dada pela ventilação sem ela (às 8:00h, uma diferença de temperatura do ar de cerca de 8°C).

Conseguiu-se a melhor resposta, no que diz respeito a um resfriamento, quando se aumenta o fluxo de ar no período da noite, ou durante o dia inteiro. Falou-se acima sobre a necessidade de aumentar o fluxo de ar num ambiente e, poderíamos fazê-lo certamente aumentando a área de janelas, mas a quantidade de vidro exposto poderia se tornar crítica. Pode-se aumentar o fluxo localizando as aberturas de entrada e saída, onde maior seja a diferença entre os coeficientes.

### **4 Referências Bibliográficas**

Marques, A. (1999): Análise da Ventilação Natural no Rio de Janeiro: Uma Contribuição à Conservação de Energia. Dissertação de Mestrado. PROARQ/FAU/UFRJ.