



## **ANÁLISE DE ÁREA DE ABERTURA PARA VENTILAÇÃO NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS UTILIZANDO O PROGRAMA COMIS/ENERGYPLUS**

**Michele Matos; Fernando Simon Westphal; Roberto Lamberts**

Universidade Federal de Santa Catarina

ECV/NPC/LabEEE – Campus Universitário – Trindade

Caixa Postal 476 – CEP 88040-900 – Fone 331-5184

michele@labeee.ufsc.br; fernando@labeee.ufsc.br; lamberts@ecv.ufsc.br

### **RESUMO**

A estratégia bioclimática mais adequada para a cidade de Florianópolis, no verão, indicado pela carta bioclimática de Givoni, é a ventilação, que corresponde a 35,5% das horas do ano. Esse trabalho apresenta a simulação de um modelo hipotético de uma residência situada na cidade de Florianópolis. Os componentes construtivos do modelo seguiram as recomendações do Projeto de Norma de Desempenho Térmico para Habitações de Interesse Social. Para a realização das simulações foi utilizado o programa *EnergyPlus*. O modelo possui sala, cozinha e 2 dormitórios, pé direito de 3m e área de 51m<sup>2</sup>, cobertura de telha de fibro cimento com forro de madeira e paredes de tijolos maciços rebocados. Foram simulados três casos com proteção solar: área de ventilação de 8%, 15% e 25% da área do piso e área de 8% sem proteção solar. Para a sala o número de graus-hora calculado para o horário de ocupação, considerando a área de ventilação de 25%, máximo recomendado pela norma, foi superior aos resultados obtidos para as demais condições, indicando pior resultado. Para a cozinha e para os dormitórios, a hipótese de 25% de abertura para ventilação apresenta o menor valor de graus-hora. O código de obras da cidade de Florianópolis deveria exigir o uso de proteções solares nas aberturas durante o período de verão. A área mínima exigida de 8% para ventilação apresentou os piores resultados. A área de abertura deve levar em consideração a orientação da edificação.

### **ABSTRACT**

Ventilation is the most appropriated bioclimatic strategy for the city of Florianópolis, in the summer, according to Givoni Bioclimatic Chart. This paper presents the simulation of a hypothetical house in the city of Florianópolis. The building components of the model had followed the recommendations of the Proposed Standards of Thermal Performance of Social Interest Habitations. The EnergyPlus program was used to make the simulations. The model has 4 thermal zones, ceiling height of 3m and 51m<sup>2</sup> of area. Four cases had been simulated: ventilation area of 8%, 15% and 25% of the floor area and 8% without solar protection. For the living room the total degree hours considering the ventilation area of 25% was higher than the results obtained for other conditions. For the kitchen and the bedrooms, the hypothesis of 25% of ventilation opening presents the lowest value of degree hours. The Construction Regulations for the city of Florianópolis should adopt the use of solar protections in the openings during the summer period. The minimum ventilation area of 8% presented the worst results. The opening area must take into account the orientation of the façade.

## 1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural promove o controle da qualidade do ar e o conforto térmico. O controle da qualidade do ar é realizado através do fornecimento de ar fresco e diluição dos poluentes. De acordo com Givoni (1994), existem duas maneiras de promover o conforto através da ventilação. Uma é através do efeito direto fisiológico: o conforto devido à ventilação. Por exemplo, abrir as janelas para deixar o vento entrar, e assim prover uma velocidade maior do ar interno, faz com que a pessoa no interior de uma edificação se sinta refrescada, pois as altas velocidades do ar aumentam a taxa de evaporação na superfície da pele e conseqüentemente reforçam a sensação de resfriamento. A outra maneira, a ventilação noturna, é indireta: ventilar a edificação apenas à noite, e assim refrigerar a massa interna da edificação. Durante o dia seguinte a massa refrigerada reduz a taxa de aumento da temperatura interna e assim provê uma refrigeração efetiva. Porém, Allard (1998) chama a atenção para o fato de que a ventilação natural pode deslocar a zona de conforto térmico para regiões de altas temperaturas do ar, o limite de velocidade do ar usualmente recomendado é de 0,8m/s para que os ocupantes estejam em boas condições de conforto térmico a altas temperaturas.

De acordo com Gratia et al. (2004), em muitos casos a ventilação natural pode ser suficiente para assegurar bons níveis de conforto em prédios ocupados, com algum esforço em reduzir os ganhos de calor internos através de equipamentos bem escolhidos e proteções solares. Para Lamberts et al. (1997), a arquitetura residencial tem certamente o maior potencial de utilização de recursos naturais de condicionamento e iluminação. Trabalhos desenvolvidos no curso de Engenharia Civil da UFSC, Leite et al. (2003) e Massignani (2004), mostraram que é necessário um aumento na área de ventilação dos edifícios da cidade de Florianópolis. O código de obras da cidade de Florianópolis (Lei Complementar Nº 060/2000), prevê uma área mínima de abertura para iluminação de 1/6 da área do piso. A área destinada à ventilação deve ser no mínimo a metade da área destinada à iluminação, ou seja, 1/12 da área do ambiente. Segundo ABNT (2003) a cidade de Florianópolis está na Zona Bioclimática 3 do zoneamento bioclimático brasileiro, que compreende oito diferentes zonas. As estratégias bioclimáticas mais adequadas para esta cidade, através da carta bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992), são ventilação, em 35,5% das horas do ano, nos períodos quentes e massa térmica para aquecimento e aquecimento solar em 35,4% das horas do ano, nos períodos frios. Sendo que há conforto térmico em 20,8% das horas do ano.

Esse trabalho apresenta a simulação de um modelo hipotético de uma residência situada na cidade de Florianópolis, onde foi analisada principalmente a área de abertura para ventilação. Para a realização das simulações foi utilizado o programa *EnergyPlus*, desenvolvido sob coordenação do DOE, Departamento de Energia dos Estados Unidos. O módulo de balanço de massas de ar do programa trabalha com ventilação, exaustão, e infiltração. Estabelece a zona de ar térmica e avalia o ganho de calor convectivo direto. À este módulo foi incorporado o algoritmo COMIS (*Conjunction Of Multizone Infiltration Specialists*) para simular o fluxo de ar entre várias zonas, infiltração e cálculos de ventilação a partir da geometria da edificação e condições climáticas locais (CRAWLEY et al., 2001).

## 2. OBJETIVO

O objetivo principal desse trabalho é analisar a área de abertura para ventilação recomendada no Projeto de Norma de Desempenho Térmico para Habitações de Interesse Social, para o período de verão, na cidade de Florianópolis e a área de ventilação prevista no código de obras da cidade; através de simulação computacional no programa *EnergyPlus*, utilizando o algoritmo COMIS.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 Recomendações do projeto de norma

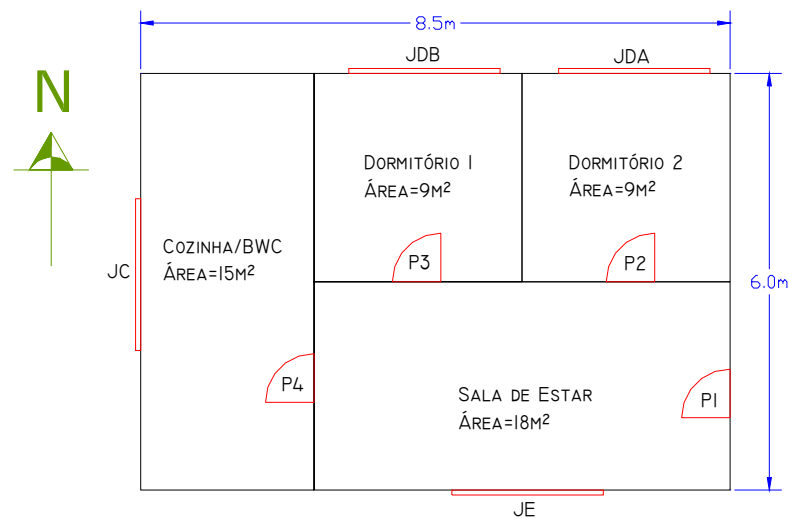
As estratégias bioclimáticas adotadas para o período de desconforto em Florianópolis são: ventilação no verão e massa térmica de aquecimento e aquecimento solar no inverno. Para promover ventilação

adequada, as aberturas devem ser de tamanho médio: a área de abertura deve variar entre 15% e 25% da área do piso. Deve-se sombrear as aberturas no verão e permitir entrada de sol durante o inverno.

Com relação às vedações externas, a parede deve ser leve e refletora, ou seja, ter uma transmitância ( $U$ )  $\leq 3,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , atraso térmico ( $\phi$ )  $\leq 4,3 \text{ h}$ , e Fator de Calor Solar (FCS)  $\leq 4,0$ . A cobertura deve ser leve e isolada, para isso deve ter transmitância ( $U$ )  $\leq 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , atraso térmico ( $\phi$ )  $\leq 3,3\text{h}$  e Fator de Calor Solar  $FCS \leq 6,5$ .

### 3.2 Características do modelo simulado

O modelo adotado para a realização das simulações possui 4 zonas térmicas, pé direito de 3m e área de 51m<sup>2</sup>. As quatro zonas térmicas estão divididas em: dois quartos, uma sala e uma zona representando a cozinha e o banheiro. Com relação aos ganhos internos, considerou-se 4 pessoas, 360W correspondentes à iluminação e 200W em equipamentos elétricos. O padrão de uso para a iluminação é de 60W das 19h às 23h para cada dormitório, 120W das 21h às 23h para a sala de estar e de 120W, às 8h e das 19h às 20h para a cozinha. Os 200W correspondentes a equipamentos elétricos da cozinha são considerados constantes ao longo do dia. Os quartos foram considerados ocupados entre 22h e 7h, a cozinha às 8h e entre 18h e 20h e a sala de estar entre 21h e 23h. A Figura 1 apresenta a planta baixa do modelo simulado.



**Figura 1. Vista em planta do modelo simulado.**

As vedações externas possuem as exigências mínimas do projeto de norma, cobertura de telha de fibro cimento com forro de madeira e paredes de tijolos maciços rebocados. Na Tabela 1 pode-se observar as propriedades térmicas das vedações adotadas no modelo.

**Tabela 1. Transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e absorvidade das vedações externas.**

Vedações	U (W/m <sup>2</sup> .K)	Ct (kJ/m <sup>2</sup> .K)	φ (horas)	α
Cobertura de telha de fibro cimento (0,7cm) com forro de madeira (1cm).	2,00	25	1,3	0,8
Paredes de tijolos maciços, assentados na menor dimensão, com duas camadas de emboço, interna e externa. Espessura total da parede = 15cm.	3,13	255	3,8	0,3

No estudo em questão foi considerado um modelo com um único tipo de envelope, ou seja, as propriedades térmicas dos materiais não foram consideradas uma variável nas simulações. O entorno foi considerado como sendo o centro da cidade e a orientação das zonas térmicas também foi considerada fixa.

### 3.3 Condições simuladas

Foram considerados dois padrões de operação para a abertura das janelas durante o verão. O primeiro representa a ventilação diurna (das 8h às 18h), que é o mais comum entre a população; o segundo trata da ventilação noturna: as janelas permanecem fechadas durante o dia (a partir das 7h até às 20h) e são abertas durante a noite (das 20h às 7h). As duas hipóteses consideram as janelas sombreadas durante o dia no período do verão, conforme recomenda o projeto de norma. A ventilação noturna considera a existência de venezianas nas janelas.

Nas duas hipóteses as portas dos dormitórios permanecem abertas das 7h às 22h e fechadas nos outros horários. A porta da sala (P1) permanece aberta entre 7h e 8h, 12h e 13h e entre 18h e 19h. A porta de acesso à zona cozinha/bwc (P4) se mantém aberta durante todo o dia.

Foram escolhidas quatro hipóteses de simulação. A primeira hipótese considera uma área de ventilação de 15% da área do piso, o mínimo recomendado pela norma e na segunda hipótese, alterou-se a área de abertura para 25% da área do piso, máximo recomendado em norma. Nas outras duas condições considerou-se a área de abertura para ventilação de 1/12 da área do piso, sem proteção solar e com proteção solar. Esta é a área mínima exigida pelo código de obras da cidade de Florianópolis, que não menciona o uso de proteções solares.

Os resultados obtidos foram analisados através do número de graus-hora para o período de ocupação: durante o dia para a sala e cozinha e durante a noite para os dormitórios, tendo a temperatura de 24°C como temperatura base. Este é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura horária (Equação 1), quando esta se encontra acima de uma temperatura base (T<sub>b</sub>). Pode ser calculado para o ano inteiro, ou no caso específico, para o período entre os meses de dezembro e março (verão).

$$\text{Graus - Hora} = \sum (T - T_b) \quad [\text{Eq.1}]$$

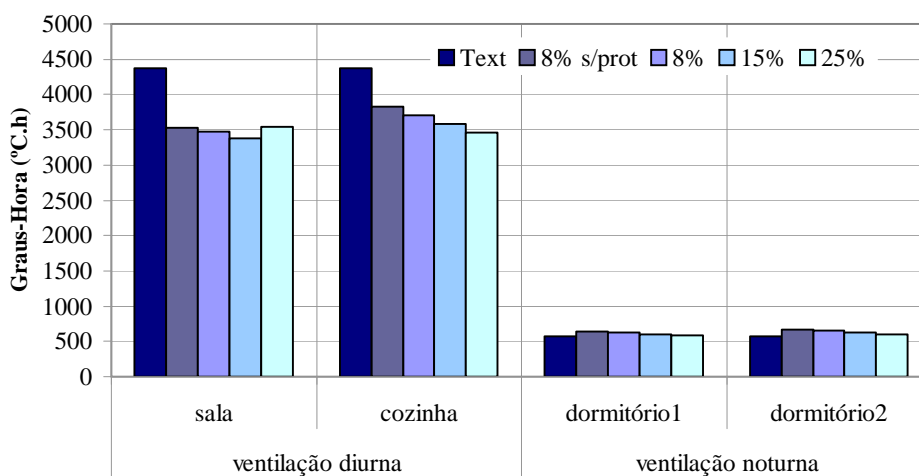
## 4. RESULTADOS

No arquivo climático adotado nas simulações, a temperatura máxima registrada na cidade de Florianópolis é de 35,9°C e ocorre às 14h do dia 8 de janeiro. O dia de pico de temperatura interna ocorreu no dia 8 de janeiro para sala e cozinha e no dia 9 de janeiro nos dormitórios.

Analisando-se o número de graus-hora acima de 24°C durante o período de ocupação de cada zona, entre os meses de dezembro a março, obteve-se os resultados apresentados na Figura 2. Para a sala de estar o número de graus-hora considerando a área de ventilação de 25%, máximo indicado pelo projeto de norma, foi superior aos resultados obtidos para as demais condições. Nesse ambiente a ventilação

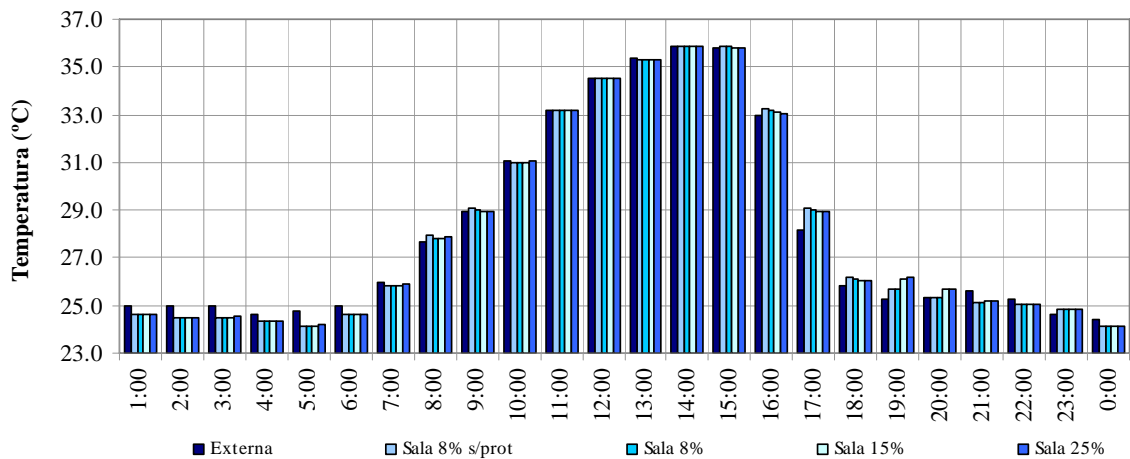
foi considerada diurna, dessa forma uma área maior de abertura promove um fluxo de ar maior, elevando a temperatura interna para níveis próximos à da externa, visto que a sala possui orientação sul. Para esse ambiente, considerando a ventilação diurna, a opção que resulta em um valor de graus-hora menor é a área de abertura de 15%, mínimo recomendado no projeto de norma. Para a cozinha, a hipótese de 8% de abertura para ventilação sem proteção solar, mínimo recomendado pelo código de obras da cidade, apresenta o maior valor de graus-hora. O menor valor se deve à área de abertura de 25%. Na cozinha, que possui orientação oeste, a ventilação age refrescando a estrutura.

Com relação à ventilação noturna nos quartos, a hipótese de 8% de área de ventilação sem proteção solar apresentou os valores mais altos de graus-hora. O comportamento das temperaturas nos dois quartos é semelhante, porém o quarto 2 apresentou valores mais elevados de temperatura. Para os dormitórios a área de abertura de 25% apresentou os menores valores de graus-hora. Percebe-se ainda uma variação menos acentuada entre os casos simulados para os dormitórios, pois a temperatura interna da zona varia pouco de um caso para o outro no período noturno.

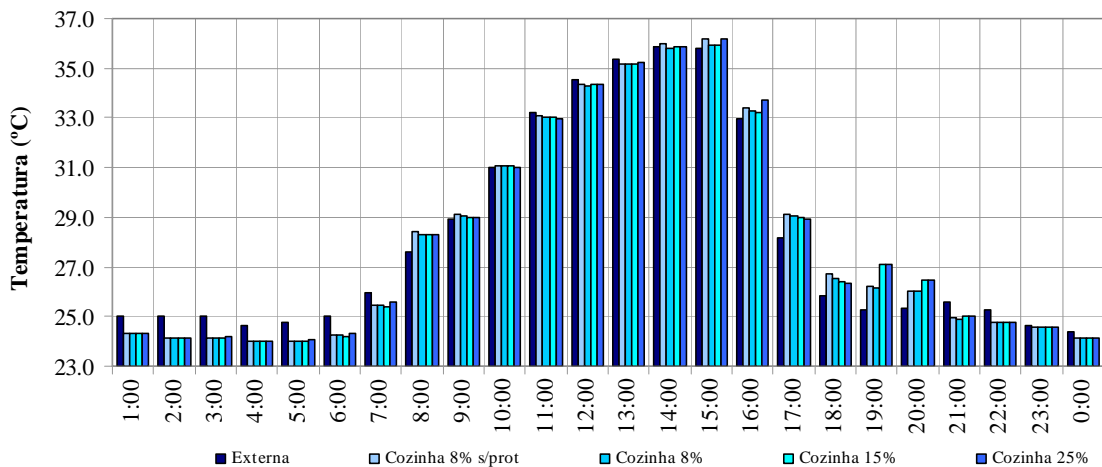


**Figura 2. Quantidade de graus-hora para as quatro zonas térmicas.**

A Figura 3 e a Figura 4 apresentam a temperatura externa horária para o dia 8 de janeiro, bem como a temperatura interna horária na zona térmica. Analisando o período diurno (8h às 18h) na sala de estar, que possui a abertura orientada na direção sul, observa-se que entre 12h e 14h todos os casos de área de abertura apresentam a mesma temperatura interna, acompanhando a temperatura externa. O caso com área de abertura de 8% sem proteção solar, limite mínimo exigido pelo código de obras, apresentou as maiores temperaturas. A área de abertura de 8% com proteção solar e 15% apresentam resultados próximos e a área de abertura de 25% apresenta os menores valores de temperatura à partir das 14h. Para a cozinha, com abertura orientada na direção oeste, em todos os horários no período entre 8h e 18h, a hipótese com área de abertura de 8% sem proteção solar apresenta os maiores valores de temperatura, com exceção das 15h e 16h, quando a área de abertura de 25% apresenta valores superiores de temperatura interna.

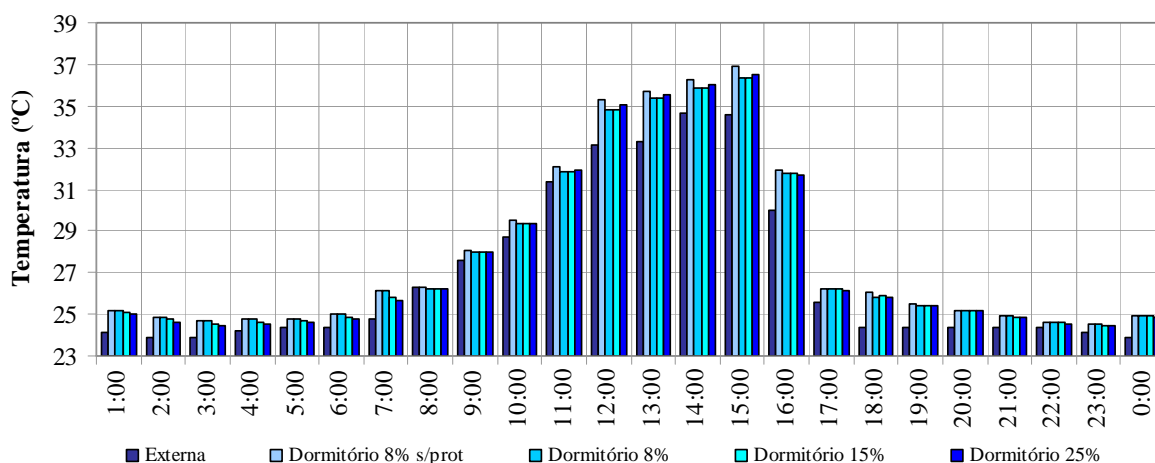


**Figura 3. Temperatura externa horária e temperatura interna horária da sala para o dia 8 de janeiro.**



**Figura 4. Temperatura externa horária e temperatura interna horária da cozinha para o dia 8 de janeiro.**

Foi escolhido um dos dormitórios para apresentar a variação de temperaturas ao longo do dia de pico de temperatura interna, 9 de janeiro. Para esse dia os dois dormitórios apresentaram valores muito próximos. A Figura 5 apresenta a variação da temperatura interna horária para o dormitório 1, considerando-se uma área de abertura de 8% sem proteção e ainda 8%, 15% e 25% de área de abertura sombreada. A orientação da abertura é a norte. Considerando a ocupação do ambiente no período entre 19h e 7h, pode-se observar que às 19h a área de abertura de 8% sem proteção solar apresenta o maior valor de temperatura. A partir desse horário essa condição assume o mesmo comportamento da condição de 8% com proteção solar. A temperatura interna é superior aos 24°C e inferior aos 26°C durante todo o período da noite. Às 20h todas as condições fornecem a mesma temperatura interna. A partir daí acontece uma diminuição da temperatura do caso com a área de abertura de 25%. A partir das 22h acontece também uma diminuição da temperatura do caso com área de abertura de 15% com relação às demais condições. A partir da 1h a hipótese de área de abertura de 25% apresenta as menores temperaturas, seguida por 15% e 8% de área de abertura.



**Figura 5. Temperatura externa horária e temperatura interna horária do dormitório1 para o dia 9 de janeiro.**

## 5. CONCLUSÕES

As simulações foram realizadas considerando um modelo com um único tipo de envelope, ou seja, as propriedades térmicas dos materiais não foram consideradas uma variável nas simulações. O entorno foi considerado como sendo o centro da cidade e a orientação das zonas térmicas também foi considerada fixa. Apesar do programa *EnergyPlus* permitir a modelagem de venezianas e brises, o COMIS não considera a existência destes elementos de sobreamento nos seus cálculos. Dessa forma a veneziana foi modelada de uma maneira simplificada, na tentativa de representar a sua performance com relação ao fluxo de ar. Uma sugestão para um trabalho futuro seria estudar a modelagem da veneziana e como este elemento modifica as características do fluxo de ar.

Outra dificuldade na construção do modelo é assumir um padrão de uso para a ventilação. A forma de ventilação de uma edificação está intimamente ligada à cultura e à rotina das pessoas. Para um determinado padrão de uso, uma área de janela pode atender às condições de conforto do usuário e para outro não.

A área mínima de 8% de ventilação, sem proteção solar, exigida pelo código de obras da cidade de Florianópolis apresentou os piores resultados entre os casos simulados. O código de obras da cidade nada menciona sobre a utilização proteções solares nas aberturas. Esta postura deveria ser revista e deveria-se passar a exigir o sombreamento das aberturas durante o período de verão.

No projeto de norma a área de abertura não difere de acordo com a orientação do ambiente. Para o modelo em questão, considerando a ventilação diurna na sala de estar e na cozinha, o mais comum entre a população, a área de abertura de 25% aumentou a temperatura interna na sala de estar, de orientação sul. Já na cozinha, de orientação oeste, a área de abertura de 25% resultou em valores mais baixos de temperatura.

Nos dormitórios, considerando o uso da ventilação noturna, a área de abertura de 8% resultou nos maiores valores de temperatura. Considerando a ocupação do ambiente apenas no período entre 19h e 7h, a área de abertura de 8% sombreada apresenta valores de temperaturas em torno de 25°C, próximos à temperatura obtida pelas outras áreas de abertura com proteção solar.

As simulações mostraram que 25% de área de abertura de janela foi a melhor opção para o modelo analisado, porém as diferenças para as outras taxas de área de abertura foram muito pequenas e todas as condições com proteção solar podem ser consideradas satisfatórias. Apenas na sala de estar a alternativa de 25% de área de abertura obteve os maiores valores de temperaturas, muito próximos aos apresentados pela área de 8% de abertura. Analisando-se os dados de trocas de ar por hora, fornecidos

pelo programa para cada caso simulado, verificou-se valores muito elevados mesmo para o caso com 8% de área de janela, em torno de 200 renovações de ar por hora para as zonas cozinha e sala. Há poucas fontes de informação sobre taxas de infiltração e ventilação em edificações no Brasil, e os valores encontrados na literatura internacional tratam de tecnologias construtivas muito diferentes das brasileiras, o que dificulta uma análise quantitativa dos resultados apresentados neste trabalho.

Esse artigo faz parte do início de um trabalho de mestrado, no qual se pretende estudar em detalhes o algoritmo de cálculo adotado no COMIS e se possível desenvolver medições de taxas de infiltração de ar e ventilação natural em edificações residenciais na cidade de Florianópolis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de norma 02:135.07.** Desempenho Térmico para Habitações de Interesse Social. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2003. Disponível para download: <<http://www.labee.ufsc.br>> Acessado em setembro de 2004.
- ALLARD, Francis (Ed.). **Natural ventilation in building: a design handbook** . London: James & James, 1998. 356 p. ISBN 1
- CRAWLEY, D. B. et al. EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. **Energy and Buildings**. 2001, v. 33, p. 319-331.
- ESTADO DE SANTA CATARINA. Lei complementar nº 060/2000, de 11 de maio de 2000. Institui o código de obras e edificações de Florianópolis e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Florianópolis, SC.
- GRATIA, E et al. How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. **Building and Environment**. 2004, v. 39, p. 1157-1170.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**. 1992, v.18, p. 11-23.
- GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of building** . New York: Van Nostrand Reinhold, 1994. 263 p.. ISBN 0-442-01076-1
- FEUSTEL, Helmut E., SMITH Brian V. **Comis 3.0 - User's Guide**. Berkeley, California, 1997.
- LAMBERTS et al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, 1997. Ed. PW. 188 p.
- LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory. **EnergyPlus User's Guide (Input-Output Reference)**. Documentation Version 1.2.0. Abril, 2004.
- LEITE et al. **Desempenho térmico de edificações na região de Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina , Florianópolis, SC. 2003. 77 p.
- MASSIGNANI. R. F. **Comparação do desempenho térmico de dormitórios em diferentes orientações: estudo de caso de um edifício residencial em Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina , Florianópolis, SC. 2004. 98 p.