

A INFLUÊNCIA DO ENVELOPE NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES OCUPADAS E VENTILADAS NATURALMENTE

Cláudia D. Pereira (1); EneDir Ghisi (2)

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, claudia@labeee.ufsc.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

Este artigo tem como objetivo a investigação da influência das propriedades térmicas do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente, para a cidade de Florianópolis, utilizando simulação computacional. Definiu-se um modelo de referência para simulações, a partir do qual foram realizadas variações nos materiais do envelope, na ocupação e na ventilação. Estes modelos foram simulados no programa EnergyPlus, obtendo-se valores horários de temperatura e umidade relativa do ar nas zonas térmicas da edificação. Inserindo tais dados no programa Analysis Bio, verificou-se a porcentagem de horas de desconforto dos modelos, comparando-os entre si. Foram realizadas análises de correlação das porcentagens de horas de desconforto com os valores de transmitância, capacidade e atraso térmicos equivalentes dos componentes do envelope, para duas zonas térmicas do modelo: quarto de casal e sala. Tais análises permitiram verificar que existe uma influência do envelope sobre o desempenho térmico da edificação ocupada e ventilada naturalmente, sendo que as menores horas de desconforto foram obtidas nos modelos com maiores valores de capacidade e de atraso térmicos no envelope. Observou-se que a propriedade equivalente com maior correlação com as horas de desconforto da edificação, na cidade de Florianópolis, foi a capacidade térmica, e que a transmitância térmica foi a propriedade com mais fraca correlação com o desconforto do modelo, tanto para o caso sem quanto com ventilação e ocupação.

Palavras-chave: simulação computacional, desempenho térmico.

ABSTRACT

The main objective of this article is to investigate the influence of the thermal properties of the envelope on the thermal performance of houses when they are occupied and naturally ventilated, for the city of Florianópolis, using computer simulation. A reference model for simulations was defined, and variations in the materials of the envelope, occupation patterns and ventilation were carried out. These models were simulated by using the EnergyPlus computer program and output data were hourly air temperature and relative air humidity for the thermal zones of the model. Inserting such data in the Analysis Bio computer program, it was verified the percentage of hours of discomfort in the models. Correlation between percentage of discomfort hours and the equivalent values of thermal transmittance, thermal capacity and thermal delay of the components of the envelope, considering two thermal zones of the model (double bedroom and living room) were investigated. Such analysis allowed to verify that there is an influence of the envelope on the thermal performance of the occupied and ventilated house, and the number of hours of discomfort is lower in the models with higher thermal capacity and thermal delay of the envelope. It was observed that thermal capacity was the thermal property with better correlation with hours of discomfort, and thermal transmittance was poorly correlated with discomfort in the model, both for the case without and with ventilation and occupation.

Keywords: computer simulation, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

As crescentes discussões sobre economia de energia e eficiência energética têm levado também ao interesse nas questões ligadas ao desempenho térmico das edificações. Com isso, evidencia-se a aplicação de estratégias passivas de condicionamento, entendidas como a construção e organização de edifícios de forma que as propriedades térmicas de seus componentes contribuam para a criação de ambientes agradáveis e estáveis climaticamente (WONG; LI, 2007), evitando ou diminuindo a necessidade de equipamentos elétricos para esse fim.

Manioglou e Yilmaz (2006) consideram que o envelope do edifício é o principal determinante do clima interno, responsável pelos fluxos de calor em seu interior e, portanto, fator determinante do seu desempenho térmico. Porém, apesar de diversas pesquisas serem realizadas a respeito da melhor especificação dos materiais de construção para obtenção de maior conforto ambiental, verifica-se um número reduzido de estudos que levam em consideração a influência da ventilação natural e da ocupação pelos usuários no desempenho do envelope. Esta é uma questão que deve receber atenção nas pesquisas em regiões de clima tropical ou quente, especialmente no caso das edificações residenciais.

Estudos de bioclimatologia no Brasil apontam que, para habitações unifamiliares, o aproveitamento da ventilação natural é uma das estratégias de resfriamento mais indicadas em seu território, sendo desejável em 7 das 8 zonas bioclimáticas brasileiras (ABNT, 2005b). Além disso, grande parte das edificações residenciais brasileiras não possui condicionamento artificial, e utiliza prioritariamente a ventilação natural.

O presente estudo foi realizado para Florianópolis, capital de Santa Catarina, localizada na latitude $27,7^{\circ}$ S, a uma altitude de aproximadamente 7m. Seu clima é classificado como mesotérmico úmido (Cfa segundo Köppen), com as estações do ano bem definidas: altas temperaturas no verão e baixas no inverno.

Goulart et al. (1998) definiram para Florianópolis um Ano Climático de Referência (Test Reference Year – TRY), através de uma metodologia que analisa uma seqüência histórica (10 anos) de dados climáticos, escolhendo o ano mais representativo do período, sem valores extremos de temperatura. O ano climático de referência (TRY) definido por Goulart et al. (1998) para Florianópolis é 1963, que possui os valores de temperatura média mensal apresentados na Figura 1.

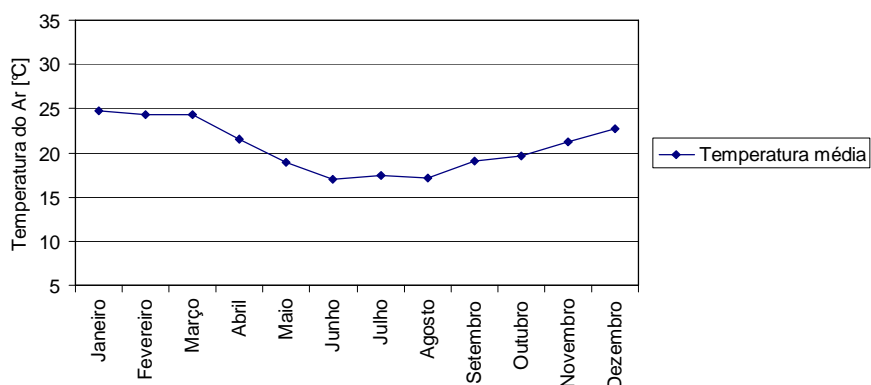


Figura 1 – Temperaturas médias mensais do ano climático de referência (TRY) de Florianópolis.

Com o programa computacional Analysis Bio (LabEEE, 2007), é possível analisar a porcentagem de horas de conforto e desconforto de um determinado arquivo climático, a partir dos parâmetros estabelecidos na carta bioclimática de Givoni (1992). Inserindo os dados do ano climático de referência (TRY) de Florianópolis no programa Analysis Bio, obtém-se a carta bioclimática mostrada na Figura 2. Verifica-se a ocorrência de 21% de horas de conforto e 79% de horas de desconforto, sendo destas, 40,8% por frio e 38,2% por calor. O uso da ventilação é indicado em 35,6% das horas do ano.

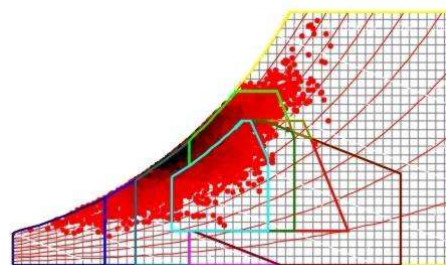


Figura 2 – Carta Bioclimática gerada no Analysis Bio, com dados do TRY de Florianópolis.

Com essas informações, verifica-se a importância da utilização da ventilação natural, bem como da ocupação pelos usuários, nas análises de desempenho térmico de edificações residenciais. Ambos são fatores determinantes no comportamento térmico da edificação, e sua desconsideração é uma simplificação que poderia ocasionar resultados inadequados.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é investigar a influência das propriedades térmicas do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, na cidade de Florianópolis, quando estas são ocupadas e ventiladas naturalmente.

3. MÉTODO

A simulação computacional é indicada como uma ferramenta eficaz para análises de desempenho térmico. O programa computacional EnergyPlus, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, é capaz de estimar trocas térmicas, índices de iluminação e consumo energético de edifícios, a partir da modelagem física do edifício e seus sistemas de ventilação, iluminação, aquecimento e resfriamento.

Nesta pesquisa foram utilizados os programas EnergyPlus (versão 2.2.0) e Analysis Bio. O método utilizado consiste na definição de um modelo de referência para simulações, a partir do qual foram definidas variações nos materiais do envelope, na ocupação e na ventilação. O arquivo climático de Florianópolis utilizado neste trabalho é relativo ao ano climático de referência (TRY) da cidade, que está disponível na página da internet do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC (<http://www.labee.ufsc.br>).

3.1. Definição do Modelo de Referência

O modelo para as simulações computacionais teve sua volumetria e orientação solar baseadas em uma residência unifamiliar construída na cidade de Florianópolis, em uma parceria entre a Eletrosul, a Eletrobrás e o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Denominada como “Casa Eficiente”, sua construção foi resultado de uma pesquisa a respeito de tecnologias e estratégias para obtenção de eficiência energética e conforto ambiental em edificações residenciais.

Para a simulação de edificações no programa computacional EnergyPlus, é necessária a definição de **zonas térmicas** do modelo. A residência foi modelada com nove zonas térmicas, cada uma representando os seguintes ambientes: área de serviços, cozinha, banheiro, salas, corredor, quarto de casal, quarto de solteiro, área das caixas d’água (acima da cozinha) e área do boiler (acima do corredor). A Figura 3 mostra as plantas desse modelo, com suas principais dimensões, e a Figura 4 mostra uma perspectiva externa.

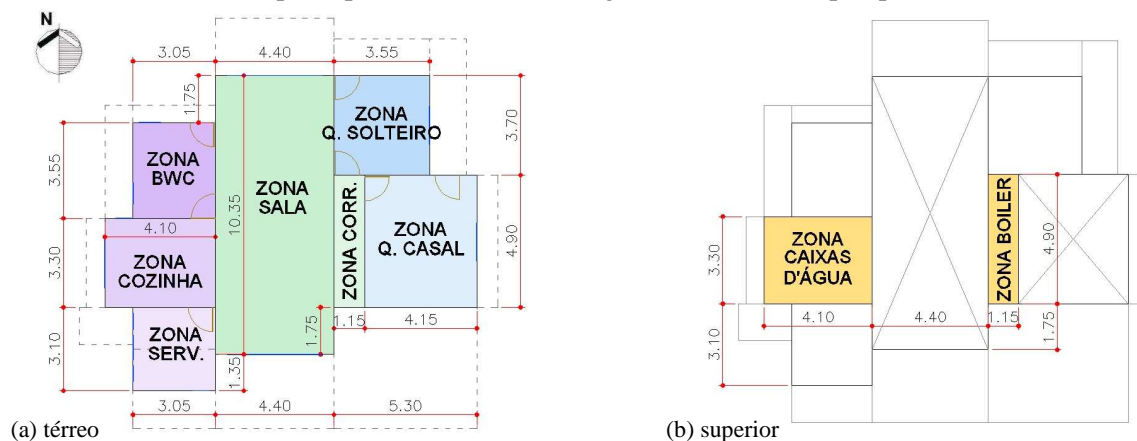


Figura 3 – Plantas do modelo de simulação: térreo (a) e superior (b).

Com relação aos **materiais**, foi definido um único tipo de parede para toda a casa, possuindo uma camada de tijolo cerâmico, maciço e aparente, com espessura de 10 cm, conforme mostrado na Tabela 1. O piso no interior da casa foi modelado com uma camada de concreto com 10 cm de espessura. A cobertura do modelo foi determinada com três camadas: telha cerâmica, camada de ar e forro de madeira, como mostrado na Tabela 2. Todas as janelas e portas externas modeladas possuem uma camada de vidro incolor de 3,0 mm de espessura. As propriedades do vidro foram obtidas dos modelos de vidro do próprio programa EnergyPlus. As portas internas da casa são de madeira com pintura branca, tendo 3,0 cm de espessura.

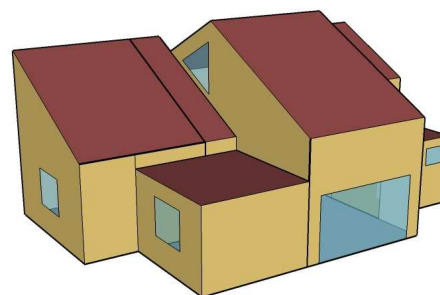


Figura 4 – Perspectiva do modelo de simulação.

Tabela 1 – Características da parede do modelo de referência. Fonte: ABNT (2005b)

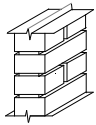
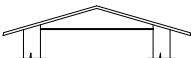
Parede	Descrição	Transmitância térmica - U [W/(m ² .K)]	Capacidade térmica - Ct [kJ/(m ² .K)]	Atraso térmico - φ [horas]
	Parede de tijolos maciços aparentes, assentados na menor dimensão: Dimensões do tijolo: 10x6x22 cm; Argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura total da parede: 10,0 cm.	3,70	149	2,4

Tabela 2 – Características da cobertura do modelo de referência. Fonte: ABNT (2005b)

Cobertura	Descrição	Transmitância térmica - U [W/(m ² .K)]	Capacidade térmica - Ct [kJ/(m ² .K)]	Atraso térmico - φ [horas]
	Cobertura de telha de barro de 1,0 cm com forro de madeira de 1,0 cm.	2,00	32	1,3

As propriedades térmicas da maior parte dos materiais usados nesta pesquisa foram obtidas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005a; 2005b). Apenas as características utilizadas para o tijolo cerâmico maciço foram obtidas em Ordenes et al. (2003), de forma que fosse considerada a influência da argamassa de assentamento, adotando valores para um material equivalente. Estes dados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Características dos materiais utilizados na simulação computacional.

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância	Resistência térmica [m ² .K/W]
Tijolo cerâmico maciço 10 cm, com argamassa de assentamento	0,900	1764	920	0,3	0,107
Argamassa emboço 2,5 cm	1,150	2000	1000	0,3	0,022
Concreto maciço 10,0 cm	1,750	2200	1000	0,3	0,057
Telha cerâmica 1,0 cm	1,050	2000	920	0,4	0,010
Madeira para parede 2,0 cm	0,140	600	2300	0,7	0,143
Madeira para forro 1,0 cm	0,140	600	2300	0,7	0,071
Manta de lã de rocha 2,0 cm	0,045	100	750	-	0,444
Manta de lã de vidro 2,5 cm	0,045	50	700	-	0,556
lâmina de alumínio polido ($\epsilon < 0,2$)	230	2700	880	-	-
Câmara de ar de baixa emissividade, espessura >5,0 cm - fluxo descendente	-	-	-	-	0,61
Câmara de ar de alta emissividade, espessura >5,0 cm - fluxo descendente	-	-	-	-	0,21
Câmara de ar de baixa emissividade, espessura 4 cm - fluxo horizontal	-	-	-	-	0,37

Para a definição dos valores de **temperatura do solo**, o programa Slab foi utilizado. O Slab é um programa auxiliar ao EnergyPlus, ainda não incorporado a este. Ele calcula a temperatura média do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas internas e externas da edificação, para o clima determinado. Esses valores obtidos no Slab são utilizados como dados de entrada na simulação no EnergyPlus.

O modelo de referência foi definido sem **cargas térmicas internas**. Quanto às **trocas de ar**, ele foi modelado permitindo apenas a infiltração. Essa infiltração foi simulada através do sistema “*AirflowNetwork*”, incorporado ao programa EnergyPlus, que calcula as trocas de ar do exterior com as zonas térmicas e entre as zonas. O modelo foi mantido com as janelas e portas externas fechadas todos os dias do ano, e com todas as portas internas abertas 24 horas todos os dias. Posteriormente, nas variações no modelo de referência, foi estudada a alternativa com ganhos internos de calor e também com a ventilação natural (abertura das janelas externas), a fim de estudar a influência do envelope no desempenho da edificação ocupada e naturalmente ventilada.

3.2. Variações no Modelo de Referência

A partir do modelo de referência foram realizadas algumas variações, a fim de comparar a influência do envelope no desempenho do modelo. Em todas as simulações foram mantidas as características da geometria do modelo de referência.

3.2.1. Variação da Ventilação

Nesta variação foram incluídas as trocas de ar pela ventilação natural, através do sistema “AirflowNetwork”, incorporado ao programa EnergyPlus. Definiu-se um padrão de abertura das janelas e portas externas, para dias úteis e para finais de semana, diferenciado para os meses de verão e inverno. Considerou-se todas as portas internas abertas 24 horas todos os dias. Esses padrões foram definidos buscando reproduzir o uso convencional de uma edificação em Florianópolis. As janelas e portas internas foram mantidas abertas prioritariamente no período diurno, e fechadas no período noturno. Os meses de verão e inverno foram diferenciados tendo como critério a temperatura média mensal do ar registrada no ano climático de referência (TRY). O verão foi considerado nos meses de novembro a abril, e inverno de maio a outubro.

3.2.2. Variação da Ocupação

Nesta variação foram incluídos ganhos internos de calor no modelo, sendo estes por equipamentos elétricos, iluminação e ocupação de usuários. Para cada uma dessas fontes de calor, foram criadas diferentes *schedules* que definem seu padrão de uso, baseadas em um perfil de usuários da residência. Em relação aos usuários foi determinado um modelo ocupado por quatro pessoas, representando uma família com um casal, no qual apenas um deles trabalha fora de casa, e dois filhos, que estudam no período da manhã. Foram definidos padrões de ocupação diferenciados para os dias úteis e para os finais de semana.

3.2.3. Variações de Propriedades Térmicas do Envelope

A fim de estudar a contribuição do tipo de envelope no desempenho térmico da edificação, foram realizadas simulações do modelo de referência com variações nas opções de materiais das paredes e coberturas. Foram escolhidas as sete opções de parede mostradas na Tabela 4, e as cinco opções de cobertura da Tabela 5, além das utilizadas no modelo de referência. Os tipos de parede e cobertura foram variados separadamente, sendo que, nas simulações com variação da parede, manteve-se a cobertura do modelo base e, nas simulações com variação da cobertura, manteve-se a parede do modelo base.

Tabela 4 – Descrição e propriedades térmicas das paredes simuladas. Fonte: ABNT (2005b)








Parede	Descrição	Transmitância térmica - U [W/(m ² .K)]	Capacidade térmica - Ct [kJ/(m ² .K)]	Atraso térmico - ϕ [horas]
1 	Parede de concreto maciço: Espessura total da parede: 5,0 cm.	5,04	110	1,3
2 	Parede de concreto maciço: Espessura total da parede: 10,0 cm.	4,40	220	2,6
3 	Parede de tijolos maciços: Dimensões do tijolo: 10x6x22 cm; Argamassa de assentam.: 1,0 cm; Argamassa de emboço: 2,5 cm; Espessura total da parede: 15,0 cm.	3,13	255	3,8
4 	Parede de madeira: Espessura total da parede: 3,0 cm.	2,60	41	2,2
5 	Parede dupla de tijolos maciços: Dimensões do tijolo: 10x6x22 cm; Argamassa de assentam.: 1,0 cm; Argamassa de emboço: 2,5 cm; Espessura total da parede: 26,0 cm.	2,30	430	6,6
6 	Parede dupla de tijolos maciços: Dimensões do tijolo: 10x6x22 cm; Manta de lã de rocha no interior: 2,0 cm; Argamassa de assentam.: 1,0 cm; Argamassa de emboço: 2,5 cm; Espessura total da parede: 27,0 cm.	1,45	416	9,1
7 	Parede dupla de madeira: Espessura da madeira: 2,0 cm; Câmara de ar não ventilada no interior: 4,0 cm; Espessura total da parede: 8,0 cm.	1,21	55	6,9

Tabela 5 – Descrição e propriedades térmicas das coberturas simuladas. Fonte: ABNT (2005b)

Cobertura	Descrição	Transmitância térmica - U [W/(m².K)]	Capacidade térmica - Ct [kJ/(m².K)]	Atraso térmico - Φ [horas]
1	Cobertura de telha de barro (1,0 cm) sem forro.	4,55	18	0,3
2	Cobertura de telha de barro (1,0 cm) com laje de concreto de 20 cm.	1,84	458	8,0
3	Cobertura de telha de barro (1,0 cm), lâmina de alumínio polido e forro de madeira de 1,0 cm.	1,11	32	2,0
4	Cobertura de telha de barro (1,0 cm), lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20 cm.	1,06	458	11,8
5	Cobertura de telha de barro (1,0 cm) com 2,5 cm de lâ de vidro sobre o forro de madeira de 1,0 cm.	0,95	33	2,3

NOTA: Os atrasos térmicos das coberturas são calculados para condições de verão (fluxo térmico descendente).

3.3. Tratamento dos Dados Finais

A partir do modelo de referência, e incluindo as variações descritas anteriormente, foram realizadas neste trabalho 26 simulações ao todo, conforme apresentado na Figura 5.

Para a realização das análises, a partir das simulações no programa EnergyPlus as variáveis requeridas do ambiente externo foram temperatura de bulbo seco [°C] e umidade relativa do ar [%]; as variáveis requeridas da edificação foram temperatura média do ar no interior da zona [°C], umidade relativa do ar no interior da zona [%], ganho de calor por cargas internas [J], troca de calor por infiltração e ventilação [J], troca de calor pelas janelas e portas de vidro [J], troca de calor por convecção pelas paredes, pisos e coberturas [J]. Tais dados foram obtidos para duas zonas térmicas do modelo: quarto de casal e sala.

Uma análise comparativa dos desempenhos de cada modelo proposto foi realizada com base na porcentagem de horas de desconforto, considerando a zona de conforto adaptada de Givoni (1992). Para isso foi utilizado o programa computacional Analysis Bio, inserindo os valores horários de temperatura e umidade relativa do ar obtidos nas duas zonas térmicas analisadas da edificação (quarto de casal e sala), em cada modelo simulado, para o ano inteiro.

Foram realizadas análises de correlação das porcentagens de horas de desconforto com os valores de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico dos componentes do envelope, para as diferentes opções de parede e cobertura. Para isso, foram calculadas as propriedades térmicas equivalentes para cada cômodo, através de uma ponderação, conforme exemplificado na Equação 1. O mesmo cálculo mostrado para a transmitância, foi também realizado para a capacidade e atraso térmicos.

$$U_{eq} = \frac{(U_{pa} \cdot A_{pa}) + (U_c \cdot A_c) + (U_{pi} \cdot A_{pi}) + (U_j \cdot A_j)}{A_{pa} + A_c + A_{pi} + A_j} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- U_{eq} é a transmitância térmica equivalente do cômodo [W/m².K];
- U_{pa} é a transmitância térmica das paredes externas [W/m².K];

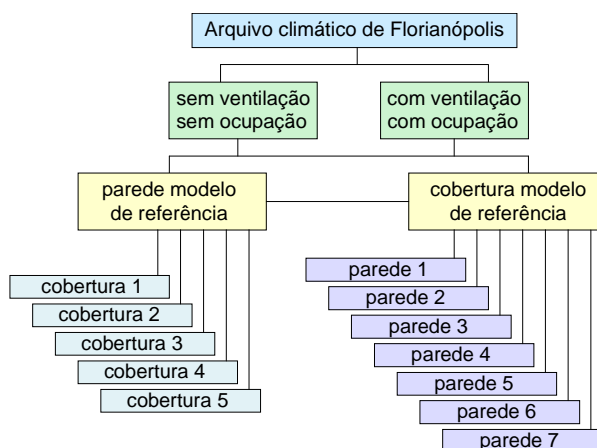


Figura 5 – Esquema das simulações finais realizadas.

- U_c é a transmitância térmica da cobertura [$W/m^2.K$];
- U_{pi} é a transmitância térmica do piso [$W/m^2.K$];
- U_j é a transmitância térmica de janela/porta externa (vidro) [$W/m^2.K$];
- A_{pa} é a área de parede externa [m^2];
- A_c é a área de cobertura [m^2];
- A_{pi} é a área de piso [m^2];
- A_j é a área de janela/porta externa [m^2].

As correlações foram realizadas com o auxílio de planilhas eletrônicas, gerando gráficos e obtendo o valor do coeficiente de determinação (R^2). Esse é um dado que varia de 0,0 a 1,0, sendo que quanto mais próximo do valor 1,0 for o R^2 , melhor a correlação. Neste trabalho adotou-se a seguinte interpretação:

- $R^2 > 0,70$ indica correlação forte;
- $0,40 \leq R^2 \leq 0,70$ indica correlação moderada;
- $R^2 < 0,40$ indica correlação fraca.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir são apresentadas as análises para verificação da influência do envelope no desempenho do modelo simulado. Foram verificadas as horas de desconforto do modelo com diferentes opções de envelope, e realizadas correlações entre a porcentagem de horas de desconforto e as propriedades térmicas equivalentes dos componentes da edificação. Os valores de temperatura interna do ar e umidade relativa do ar obtidas nas simulações com o programa EnergyPlus, foram inseridas no programa Analysis Bio. Com isso, obteve-se a porcentagem de horas de conforto e de desconforto no ano, em cada variação simulada.

A Figura 6 mostra as cartas bioclimáticas, geradas no programa Analysis Bio, para o quarto de casal do modelo de referência com e sem ventilação e ocupação. É possível observar que no caso sem ventilação, os pontos ficam mais organizados, sem ultrapassar determinados valores de umidade. Já no caso com ventilação, os pontos ficam mais dispersos na carta. Apesar dessas diferenças, nos dois casos os pontos se distribuem nas mesmas zonas da carta, estando a maioria dos pontos nas zonas de conforto (1), ventilação (2) e massa térmica/aquecimento solar (7).

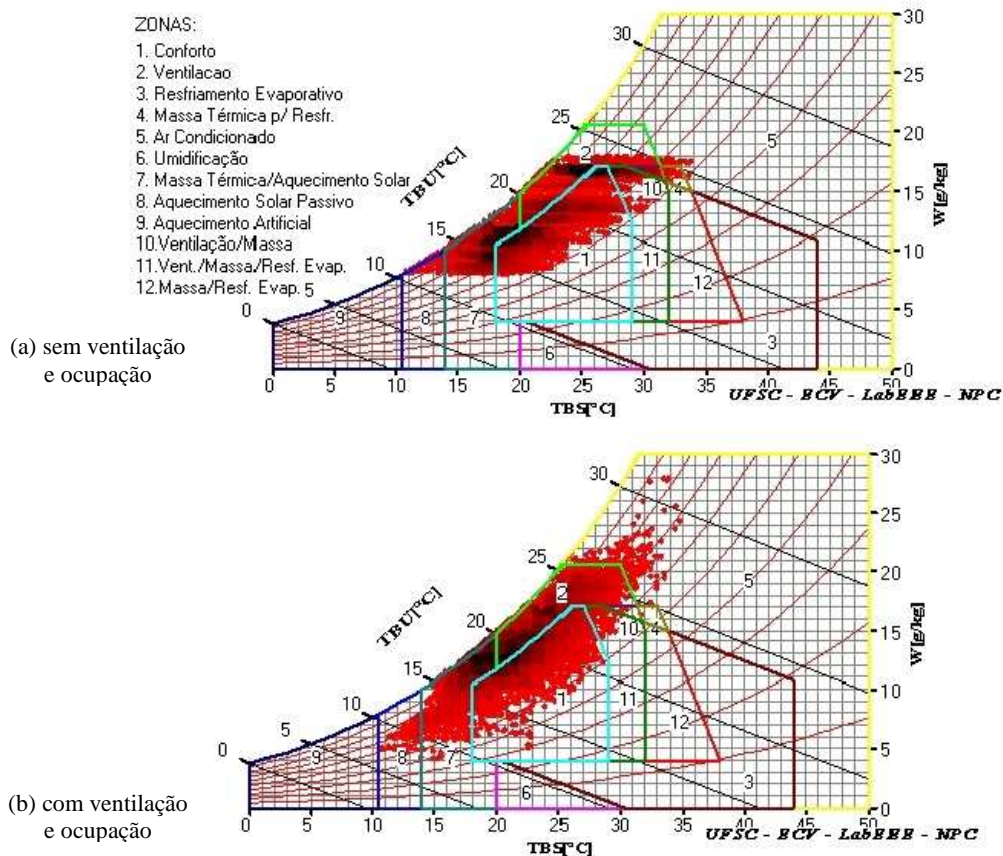


Figura 6 – Carta bioclimática gerada no programa Analysis Bio, para o quarto de casal - Modelo de Referência: sem ventilação e ocupação (a), e com ventilação e ocupação (b).

As porcentagens de horas de conforto e desconforto para as 26 simulações são mostradas na Tabela 6 para o quarto de casal e na Tabela 7 para a sala. Nas simulações com ventilação e ocupação, o quarto de casal teve a janela aberta no período diurno, e teve ocupação principalmente noturna. A sala teve as portas externas abertas durante o dia, e a ocupação foi diurna. Verifica-se que as alterações no envelope provocaram algumas variações nas porcentagens, sendo que, para o quarto de casal, nos modelos sem ventilação e ocupação as horas de desconforto variaram de 43,2% a 57,4%, e nos modelos com ventilação e ocupação as horas de desconforto variaram de 57,4% a 69,0%. No caso da sala, as horas de desconforto variaram de 42,6% a 56,4% nos modelos sem ventilação e ocupação, e de 58,8% a 68,9% nos modelos com ventilação e ocupação.

Comparando os modelos sem e com ventilação e ocupação, é possível perceber que, para todos os tipos de envelope, houve aumento das horas de desconforto por calor com a inclusão de ventilação e ocupação. Isso significa que a ventilação diurna constante durante o verão foi desfavorável ao conforto térmico do ambiente. O ideal para obter conforto seria fazer a ventilação seletiva, abrindo as janelas apenas nos horários em que a temperatura do ar externa estivesse mais baixa que a interna. Observando-se as cartas bioclimáticas, percebe-se que esse aumento de desconforto deve-se principalmente à maior variação dos valores de razão de umidade. Verifica-se ainda que, nos dois ambientes, tanto com quanto sem ventilação e ocupação, o menor desconforto foi obtido no modelo com a parede 6, correspondente à parede dupla de tijolos maciços, com camada de manta de lã de rocha no interior.

Tabela 6 – Porcentagem de horas de conforto e desconforto anuais no **quarto de casal**.

Modelo	Sem Ventilação e Ocupação				Com Ventilação e Ocupação			
	Horas de conforto (%)	Horas de desconforto (%)			Horas de conforto (%)	Horas de desconforto (%)		
		Total	Frio	Calor		Total	Frio	Calor
Modelo Referência	48,3	51,7	23,8	27,9	34,1	65,9	26,2	39,7
Varição Cobertura 1	46,7	53,3	25,1	28,2	31,0	69,0	29,5	39,5
Varição Cobertura 2	50,5	49,5	23,1	26,4	39,1	60,9	22,6	38,3
Varição Cobertura 3	49,2	50,8	23,5	27,3	35,6	64,4	24,7	39,7
Varição Cobertura 4	50,5	49,5	23,3	26,2	38,4	61,6	22,7	38,9
Varição Cobertura 5	49,1	50,9	23,3	27,6	36,0	64,0	24,5	39,5
Varição Parede 1	46,9	53,1	25,3	27,8	31,8	68,2	29,2	39,0
Varição Parede 2	49,6	50,4	23,3	27,1	34,9	65,1	25,7	39,4
Varição Parede 3	50,5	49,5	23,0	26,5	37,6	62,4	23,9	38,5
Varição Parede 4	42,6	57,4	27,0	30,4	31,7	68,2	29,3	38,9
Varição Parede 5	53,0	47,0	22,7	24,3	40,1	59,9	22,0	37,9
Varição Parede 6	56,8	43,2	21,1	22,1	42,6	57,4	20,4	37,0
Varição Parede 7	44,6	55,4	24,9	30,5	35,7	64,3	25,6	38,7

Tabela 7 – Porcentagem de horas de conforto e desconforto anuais na **sala**.

Modelo	Sem Ventilação e Ocupação				Com Ventilação e Ocupação			
	Horas de conforto (%)	Horas de desconforto (%)			Horas de conforto (%)	Horas de desconforto (%)		
		Total	Frio	Calor		Total	Frio	Calor
Modelo Referência	49,6	50,4	22,8	27,6	34,4	65,6	26,5	39,1
Varição Cobertura 1	47,5	52,5	24,6	27,9	31,1	68,9	30,1	38,8
Varição Cobertura 2	52,8	47,2	21,8	25,4	38,9	61,1	23,1	38
Varição Cobertura 3	50,9	49,1	21,9	27,2	36,5	63,5	24,9	38,6
Varição Cobertura 4	53,6	46,4	21,4	25	39,1	60,9	22,8	38,1
Varição Cobertura 5	51,3	48,7	21,8	26,9	36,8	63,2	24,6	38,6
Varição Parede 1	47,8	52,2	24,1	28,1	32,1	67,9	29	38,9
Varição Parede 2	50,9	49,1	22,3	26,8	35,2	64,8	26	38,8
Varição Parede 3	51,6	48,4	22,2	26,2	37,4	62,6	24,4	38,2
Varição Parede 4	43,6	56,4	25,8	30,6	31,9	68,1	29,6	38,5
Varição Parede 5	54,1	45,9	21,7	24,2	39,4	60,6	23,1	37,5
Varição Parede 6	57,4	42,6	20,1	22,5	41,2	58,8	21,7	37,1
Varição Parede 7	45,4	54,6	23,8	30,8	35,1	64,9	26,4	38,5

Os valores de porcentagens de horas de desconforto foram correlacionados às propriedades térmicas equivalentes dos componentes do envelope, com o auxílio de planilhas eletrônicas, obtendo-se o valor de “R²”, conforme mostra a Figura 7 para o quarto de casal e a Figura 8 para a sala.

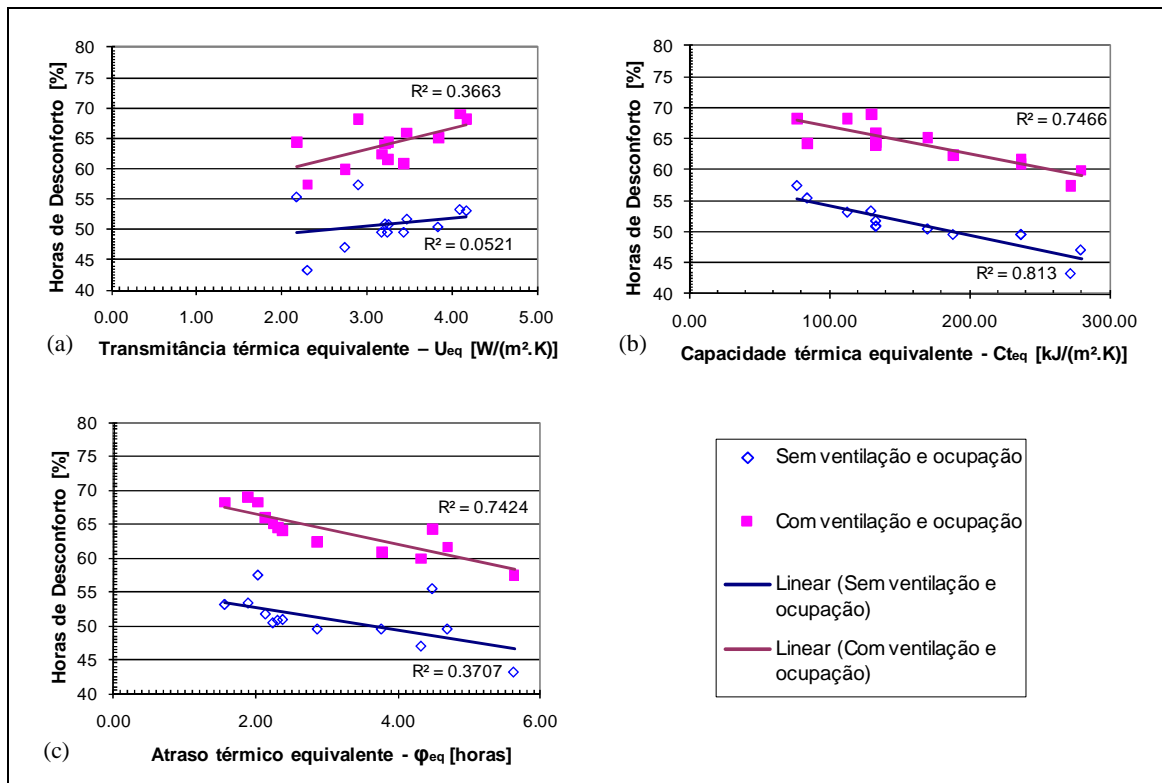


Figura 7 – Correlação entre a porcentagem de horas de desconforto e as propriedades térmicas equivalentes do **quarto de casal**: transmitância térmica (a), capacidade térmica (b), e atraso térmico (c).

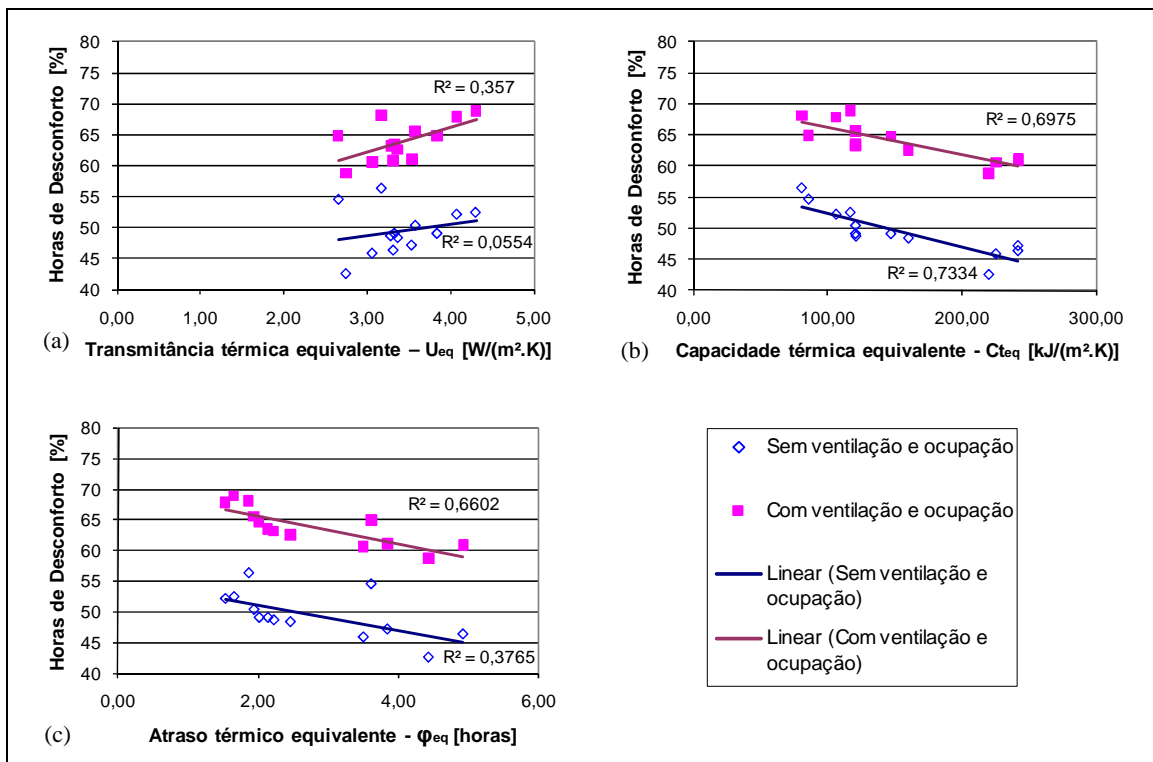


Figura 8 – Correlação entre a porcentagem de horas de desconforto e as propriedades térmicas equivalentes da **sala**: transmitância térmica (a), capacidade térmica (b), e atraso térmico (c).

É possível perceber que houve fraca correlação entre desconforto e transmitância térmica equivalente, com valores de R² menores que 0,4. Para o quarto de casal obtiveram-se fortes correlações entre desconforto e capacidade térmica equivalente: R² = 0,74 para o caso com ventilação e ocupação, e R² = 0,81 para o caso

sem ventilação e ocupação. Na sala, a correlação entre desconforto e capacidade térmica também foi a com maiores coeficientes de determinação: $R^2 = 0,69$ para o caso com ventilação e ocupação, e $R^2 = 0,73$ para o caso sem ventilação e ocupação. O atraso térmico teve maior correlação com desconforto apenas no caso com ventilação e ocupação, e correlação fraca com o desconforto no caso sem ventilação e ocupação.

Esses resultados apontam que o tipo de material do envelope influencia no desempenho térmico da edificação, inclusive quando esta é ventilada e ocupada. Eles indicam também que essa influência parece estar mais diretamente ligada à capacidade térmica dos componentes do envelope, e menos à sua transmitância térmica. Nos dois ambientes estudados, para o modelo com ventilação e ocupação, as propriedades térmicas do envelope com maior influência foram capacidade e atraso térmicos.

5. CONCLUSÕES

A partir da definição de um modelo computacional de referência, representativo de uma residência unifamiliar, foram simuladas variações nos componentes do envelope, utilizando materiais com diferentes propriedades térmicas. As simulações foram ainda realizadas com e sem ventilação e ocupação. Com isso, foram obtidas as porcentagens de horas de desconforto em um ano, para cada caso, através do programa Analysis Bio. Tais dados permitiram a realização de correlações entre as horas de desconforto e as propriedades térmicas equivalentes dos componentes do envelope.

Os resultados, obtidos para duas zonas térmicas do modelo, apontaram que existe uma influência do envelope sobre o desempenho térmico da edificação ocupada e ventilada naturalmente. Verificou-se também que a propriedade equivalente com maior correlação com as horas de desconforto da edificação foi a capacidade térmica. A transmitância térmica foi a propriedade com menor correlação com o desconforto do modelo, tanto para o caso sem quanto com ventilação e ocupação.

Verifica-se que, para as edificações residenciais naturalmente ventiladas, em Florianópolis, o mais indicado seria a adoção de envelopes com maiores valores de capacidade e de atraso térmicos. Isso porque tais características resultaram em menores valores de porcentagem de horas de desconforto.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n.1, p. 11-23, 1992.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2ª edição. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.
- LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. **Programa Computacional Analysis Bio**, Versão: 2.1.3. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/software/analysisBIO.html>>. Acesso em dez. 2007.
- MANIOGLU, G.; YILMAZ, Z. Economic Evaluation of the Building Envelope and Operation Period of Heating System in Terms of Thermal Comfort. **Energy and Buildings**, v.38, n.1, p. 266-272, 2006.
- ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no VisualDOE-3.1**. Relatório Interno – Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2003.
- WONG, N.H.; LI, S. A Study of the Effectiveness of Passive Climate Control in Naturally Ventilated Residential Buildings in Singapore. **Building and Environment**, v.42, n.1, p 1395-1405, 2007.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL e à ELETROSUL pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.