

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO NATURAL E DA INÉRCIA TÉRMICA DO ENVELOPE CONSTRUTIVO EM EDIFICAÇÃO VERTICAL MULTIFAMILIAR

Tiago Arent Longo (1); Luiz César de Castro (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) tiago-arent@hotmail.com (2) luz@unesc.net

RESUMO

Atualmente existe um grande número de pesquisas relacionadas ao desempenho térmico do envelope construtivo e sobre o efeito da ventilação natural no conforto térmico dos ocupantes. No entanto, é baixo o número de pesquisas que relacionam a envoltória e a ventilação natural simultaneamente com o intuito de se chegar a uma condição de conforto térmico mais adequada. O objetivo principal deste trabalho é investigar a influência de envelopes construtivos de alta inércia térmica no desempenho térmico de edificações verticais multifamiliares ocupadas e naturalmente ventiladas. O método utilizado compreende o estudo do desempenho térmico da envoltória e da ventilação natural de uma edificação, através de simulação computacional, utilizando o programa *EnergyPlus*. Um modelo computacional foi desenvolvido baseando-se em uma edificação real, de onde foi possível obter valores de temperatura do ar interno. A partir desse modelo de referência foram simuladas variações de envoltória com alta inércia térmica e diferentes porcentagens de abertura de ventilação. Em seguida foram simulados modelos com variações do nível de inércia térmica e da área de ventilação simultaneamente. Obteve-se nessas simulações os valores de temperatura do ar interno e das temperaturas externas como relatórios de saída. Com isso foi possível analisar graficamente o comportamento dos dormitórios da edificação em relação às temperaturas externas. Em seguida foram analisadas as porcentagens de horas de conforto e desconforto térmico através do método graus-hora. A modificação na área de ventilação aliada a um envelope construtivo de alta inércia proporcionou melhorias no conforto térmico de todos os modelos. O modelo composto por uma inércia térmica média e com uma redução de 2% na área de abertura de ventilação foi o que apresentou os melhores resultados chegando a aumentar em 25.5% as horas de conforto térmico. O aumento da inércia térmica foi o principal responsável pelas melhorias nos modelos, enquanto que a ventilação natural não proporcionou os resultados esperados e ainda contribuiu para um aumento nos ganhos térmicos.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Inércia térmica. Ventilação natural. Envelope construtivo.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da OECD (2012) a inação climática poderá fazer com que o consumo de energia cresça aproximadamente 80% em 40 anos, o que poderá elevar a temperatura ambiental em até 6°C.

De acordo com dados de Almeida et al. (2001) no ano de 1997 a climatização de edificações foi responsável por 3% do consumo total de energia elétrica no setor residencial brasileiro. No entanto a avaliação de Ghisi et al. (2007) mostrou que entre os anos de 1997 e 1999 a climatização de edificações representou 10% do consumo de energia elétrica total no setor residencial brasileiro, numa análise de 12 dos 26 estados brasileiros (70% da população).

Segundo Lamberts et al. (2004) uma edificação é considerada energeticamente mais eficiente que a outra quando propicia as mesmas condições ambientais de conforto ao seu usuário, com menor consumo de energia. Para Chung et al. (2006) eficiência energética é a capacidade de transformar a menor quantidade de energia possível para a geração da máxima quantidade de trabalho possível. No entanto Olesen (2007) diz que a economia de energia não deve sacrificar o conforto e a saúde das pessoas.

A ventilação natural é influenciada diretamente pelo projeto arquitetônico. O tipo de sistema construtivo tem grande influência sobre a infiltração de ar, podendo em algumas épocas do ano levar fluxos de ar maiores do que o necessário, ocasionado desconforto térmico devido ao frio. A identificação dos ventos predominantes da região, bem como o estudo do projeto em relação ao seu entorno, são fatores importantes a serem considerados nos projetos. (MATOS, 2007)

De acordo com Manioglu e Yilmaz (2006, p. 266) o envelope da edificação é o principal determinante do clima interno, responsável pelos fluxos de calor em seu interior e, portanto, fator determinante do seu desempenho térmico. No entanto os pesquisadores Wong e Li (2007, p. 1395) afirmam que a adoção de sistemas passivos de climatização está diretamente associada à construções sustentáveis.

Os autores ainda expõem que a aplicação de estratégias passivas de climatização aliada à adoção de materiais com propriedades térmicas adequadas contribuem para a criação de ambientes agradáveis e estáveis climaticamente.

A velocidade do ar tem um grande efeito sobre as condições de conforto das edificações, alterando as perdas por convecção e evaporação, resultando em uma modificação nas condições de conforto térmico nos ambientes (SANTAMOURIS, 2006). De acordo com Kukreja (apud SANTAMOURIS, 2006), nos climas quentes os ambientes internos deveriam ter uma velocidade ideal do ar na faixa de 1,0 a 1,5 m/s. Hardiman (apud SANTAMOURIS, 2006) também propõe que, para atividades leves, a velocidade ideal do ar seria entre 0,2 e 1,5 m/s.

O objetivo principal deste trabalho é analisar a influência da ventilação natural e da inércia térmica do envelope construtivo no desempenho térmico de uma edificação vertical multifamiliar ventilada naturalmente.

2. MÉTODO

O método utilizado nesta pesquisa compreende o estudo do desempenho térmico do envelope construtivo de uma edificação residencial multifamiliar naturalmente ventilada, através de simulação computacional.

A análise do desempenho térmico da edificação foi realizada utilizando o programa de simulação computacional *EnergyPlus* versão 7.0.0. O programa em questão foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA. O desenvolvimento da ferramenta *EnergyPlus* foi fundamental para que atualmente se pudesse realizar análises térmicas e energéticas de edificações e seus respectivos sistemas.

2.1 DEFINIÇÃO DO CLIMA ADOTADO NAS SIMULAÇÕES

Para as simulações computacionais foi utilizado o arquivo climático do tipo TRY, do ano de 1963, da cidade de Florianópolis/SC. Este arquivo contém dados da região em questão e representa um ano climático médio, dentro de uma série de 10 anos (GOULART et al, 1998).

A cidade de Florianópolis é a capital do estado de Santa Catarina e está situada numa região litorânea. Florianópolis localiza-se na longitude 48,5° W e na latitude 27,7° S e está numa altitude de 7,0 m em relação ao nível do mar. O clima é classificado como mesotérmico úmido e as estações do ano são bem definidas: baixas temperaturas no inverno e altas no verão.

2.2 DESCRIÇÃO DA TIPOLOGIA CONSTRUTIVA ANALISADA

A edificação analisada é composta por doze pavimentos, sendo um térreo e onze tipos. Cada pavimento tipo é composto por quatro apartamentos com as respectivas áreas: apartamento 01, 82,96 m², apartamento 02, 102,34 m², apartamento 03, 104,61 m² e apartamento 04, 104,61 m². As janelas são de alumínio com duas folhas de correr, e a área de ventilação representa 12% da área do piso dos cômodos. Foram avaliados os dormitórios da cobertura e do primeiro pavimento tipo, por representarem as principais diferenças existentes na edificação em termos de insolação, e ventilação. Na Figura 1 é apresentada a planta baixa da edificação com os dormitórios analisados destacados em azul.

Figura 1 – Planta baixa da edificação

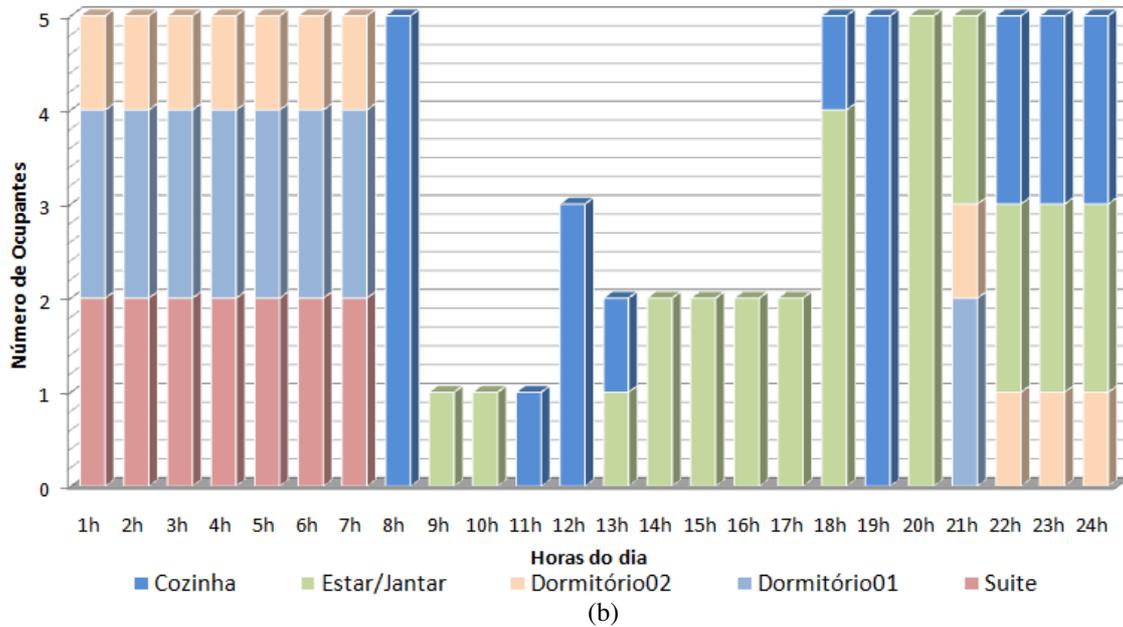
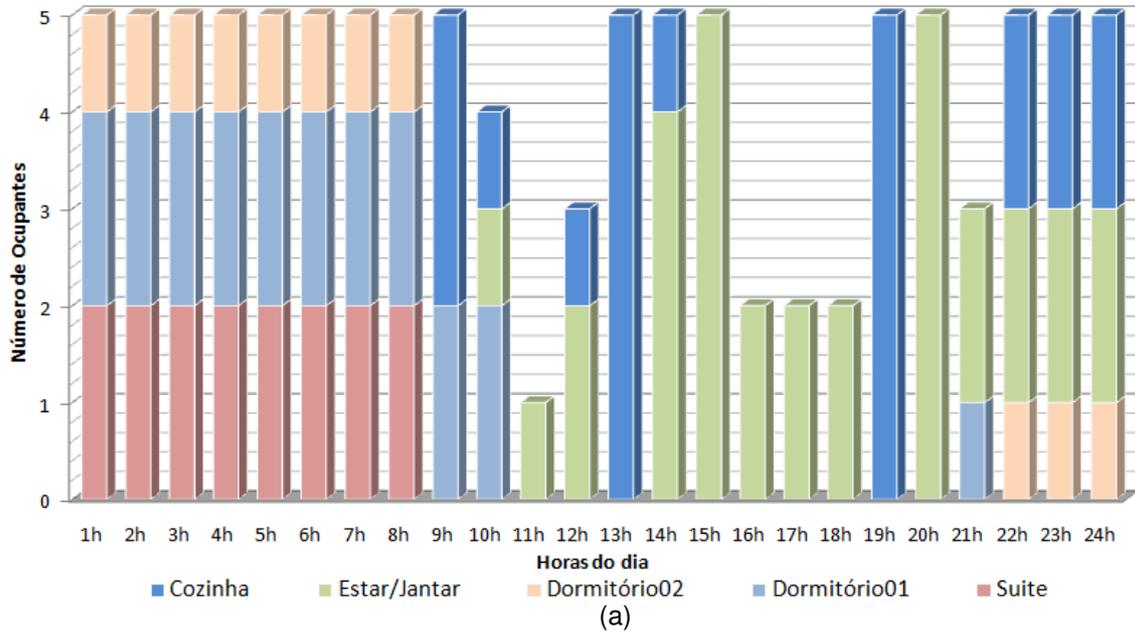


Fonte: Autor

2.3 PADRÃO DE OCUPAÇÃO

O padrão de ocupação adotado é igual para todos os modelos e é representado por uma família composta por cinco membros, sendo um casal e três filhos. A Figura 2a representa a ocupação dos cômodos em finais de semana e a Figura 2b representa a ocupação dos cômodos para os dias de semana.

Figura 2 – Padrão de ocupação dos cômodos ao longo do dia

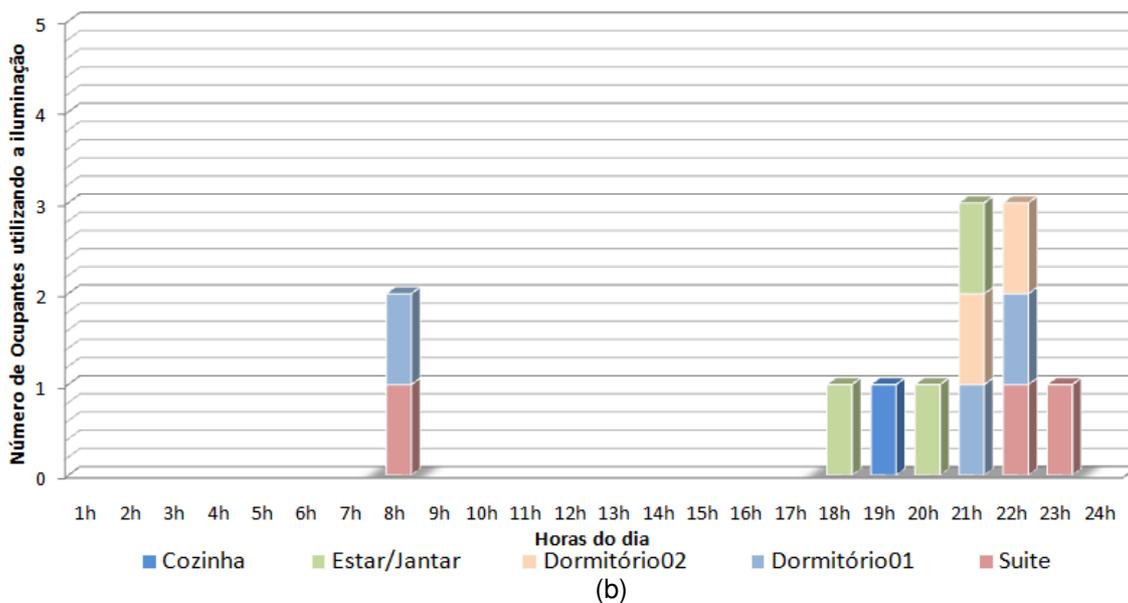
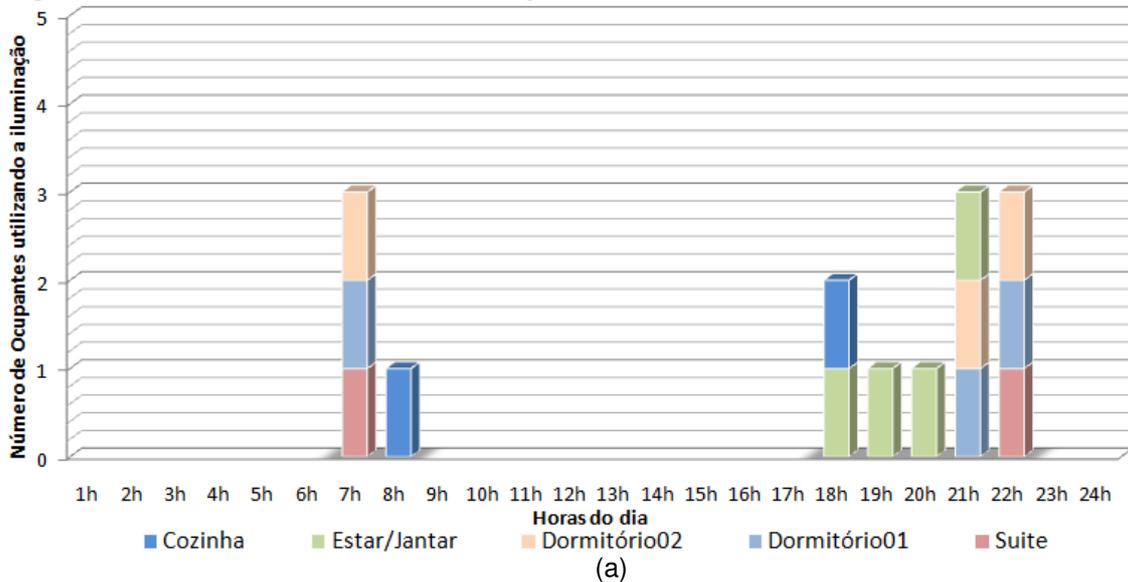


Fonte: Autor

2.4 PADRÃO DE USO DA ILUMINAÇÃO

O padrão de uso da iluminação artificial adotado é igual para todos os modelos. A carga de iluminação foi definida como sendo 25 W para todos os ambientes dos apartamentos. Na Figura 3a é apresentado o padrão de uso do sistema de iluminação para os dias de semana e na Figura 3b é apresentado o padrão de uso dos sistemas de iluminação para os finais de semana.

Figura 3 – Padrão de uso da iluminação artificial



Fonte: Autor

2.5 PROPRIEDADES TÉRMICAS DO ENVELOPE CONSTRUTIVO DOS MODELOS SIMULADOS

As propriedades térmicas dos componentes do envelope construtivo foram adotadas segundo as recomendações da NBR-15220-3 (2005). Foi definido um modelo de referência para ser utilizado como parâmetro de comparação em relação aos outros modelos simulados. Nos modelos propostos foram utilizados diferentes níveis de inércia térmica, de modo que os valores de transmitância térmica e capacidade térmica variaram para cada caso.

2.5.1 CASO BASE

No caso base adotou-se um envelope construtivo de alvenaria comum e laje pré-moldada entre pavimentos e cobertura (por ser o sistema de vedação mais utilizado no Brasil). As vedações são compostas por tijolo cerâmicos de oito furos redondos com dimensões de (0,10 m x 0,20 m x 0,20 m) e assentados sobre a menor dimensão. A espessura total da parede é de 0,15 m, pois foi adotado um reboco de 2,50 cm em ambos os lados. Foi utilizada uma junta de assentamento de 1,00 cm de espessura. A cobertura e as lajes entre pavimentos são compostas por uma laje pré-moldada com utilização de blocos cerâmicos e camada de 5,00 cm de concreto, totalizando uma espessura de 0,12 m. Na Figura 4 é apresentado um desenho esquemático do envelope construtivo e da laje utilizados no caso base com os respectivos valores das propriedades térmicas.

2.5.2 CARACTERÍSTICAS DO CASO A

Para o caso A foi adotado um sistema composto por uma parede de tijolos maciços de 0,10 m, uma parede com tijolos cerâmicos de 6 furos redondos de 0,09 m e uma camada de reboco interno de 2,00 cm, totalizando 0,21 m de espessura. Para as lajes de cobertura e lajes entre pavimentos foram utilizadas as mesmas propriedades térmicas do envelope construtivo. Na Figura 4 é mostrado o desenho esquemático do envelope construtivo do caso A, com as suas respectivas propriedades térmicas.

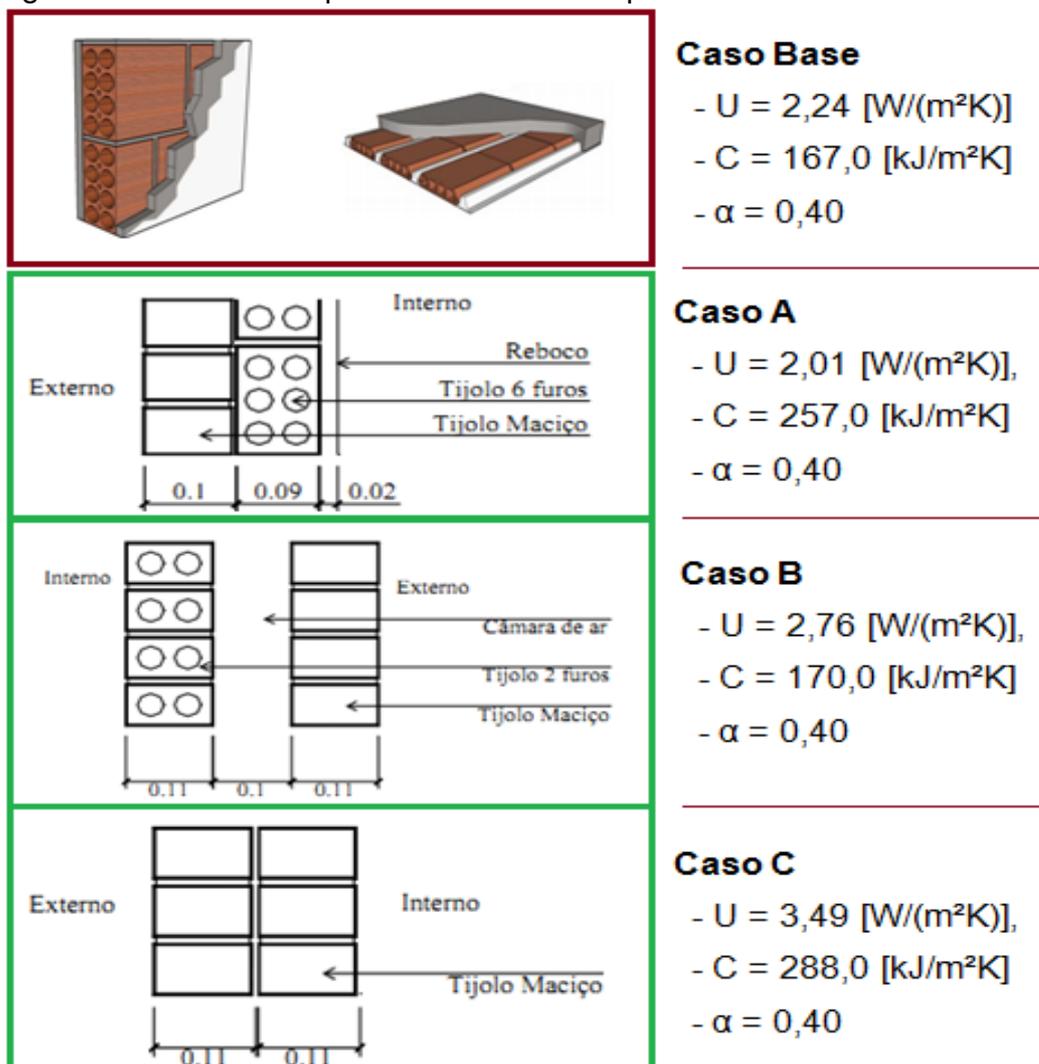
2.5.3 CARACTERÍSTICAS DO CASO B

Para o caso B foi adotado um sistema composto por uma camada de tijolos de dois furos com 0,11 m, uma camada de ar com 0,10 m, e uma camada de tijolos maciços com 0,11 m, sem utilização de reboco em ambos os lados. A parede obteve uma espessura final de 0,32 m. Para as lajes de cobertura e lajes entre pavimentos foram utilizadas as mesmas propriedades térmicas do envelope construtivo. Na Figura 4 é mostrado o desenho esquemático do envelope construtivo do caso B, com as suas respectivas propriedades térmicas.

2.5.4 CARACTERÍSTICAS DO CASO C

No caso C adotou-se um envelope construtivo com uma inércia térmica muito elevada. Foram utilizadas duas camadas de tijolos maciços, coladas uma na outra e sem reboco de ambos os lados. A parede obteve uma espessura total de 0,22 m, apesar de não ser muito espessa esta vedação possui a mais alta inércia de todos os casos, devido a sua massa. Para as lajes de cobertura e lajes entre pavimentos foram utilizadas as mesmas propriedades térmicas do envelope construtivo. Na Figura 4 é mostrado o desenho esquemático do envelope construtivo do caso C com as suas respectivas propriedades térmicas.

Figura 4 - Desenho esquemático dos envelopes construtivo utilizados



Fonte: Autor

2.6 VARIAÇÃO DA ÁREA DE VENTILAÇÃO E MODELOS SIMULADOS

Para a verificação da influência da ventilação natural utilizou-se três diferentes áreas de abertura em relação a área de piso. Foram simulados modelos com variação de 10%, 15% e 20%. Além destas modificações em relação ao modelo de referência foram feitas simulações combinando os casos de alta inércia térmica com as três variações de abertura de janelas. Na Tabela 1 são apresentados os modelos que foram simulados.

Tabela 1 – Resumo dos modelos simulados

Casos	Área de Abertura de Ventilação (%)	Sistema Construtivo
Modelo de Referência	12,0	Caso base
Modelo 01	10,0	Caso base
Modelo 02	15,0	Caso base
Modelo 03	20,0	Caso base
Modelo 04	12,0	Caso A
Modelo 05	12,0	Caso B
Modelo 06	12,0	Caso C
Modelo 07	10,0	Caso A
Modelo 08	10,0	Caso B
Modelo 09	10,0	Caso C
Modelo 10	15,0	Caso A
Modelo 11	15,0	Caso B
Modelo 12	15,0	Caso C
Modelo 13	20,0	Caso A
Modelo 14	20,0	Caso B
Modelo 15	20,0	Caso C

Fonte: Autor

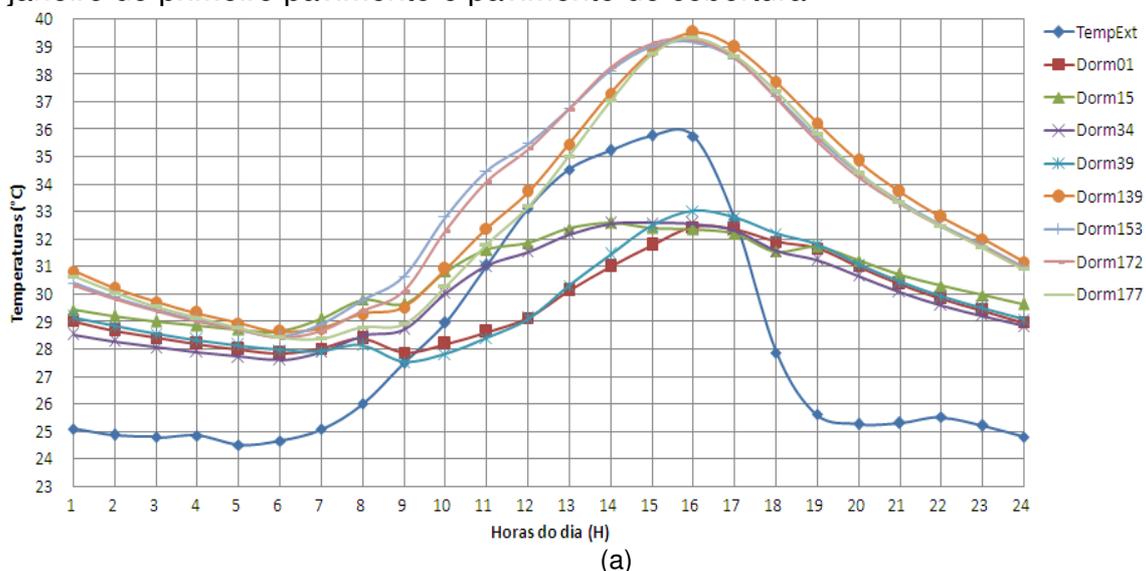
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente serão apresentados os resultados referentes ao modelo de referência, onde foram relacionados os valores de temperatura do ar interno e externo obtidos através das simulações. As temperaturas internas foram avaliadas para o dia mais quente e para o dia mais frio do ano climático, sendo respectivamente representados pelos dias 8 de janeiro e 6 de agosto do arquivo TRY da cidade de Florianópolis.

3.1 SIMULAÇÕES DO MODELO DE REFERÊNCIA

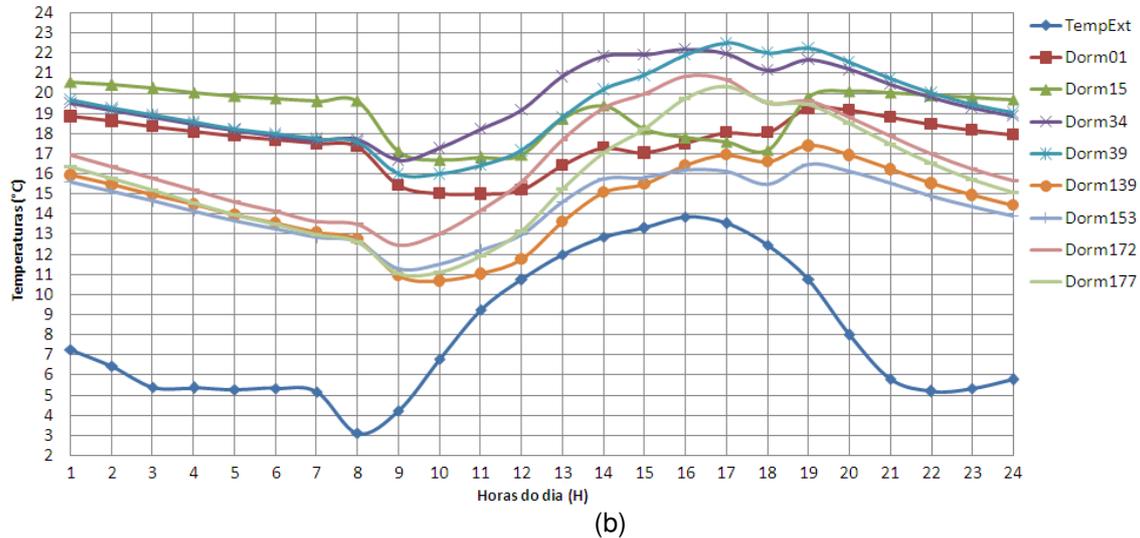
A fachada norte permanece um maior tempo exposta ao sol, desse modo, os dormitórios localizados nesta orientação apresentaram os maiores resultados de temperaturas do ar interno. Os dormitórios localizados na fachada norte possuem as janelas nessa mesma face favorecendo o aumento do fluxo de calor por irradiação. Nas simulações para o dia 8 de janeiro a cobertura mostrou-se responsável pelos maiores ganhos térmicos devido a uma maior área exposta ao sol. Este pavimento apresentou um aumento médio de 6% nos valores de temperaturas do ar interno em relação ao primeiro pavimento. Este aumento na temperatura poderia ser amenizado pela utilização da estratégia de ventilação cruzada, no entanto, a geometria da edificação não proporciona condições adequadas para a utilização dessa estratégia. Nas simulações feitas para o dia 6 de agosto, percebeu-se no caso base que o envelope construtivo apresenta a mesma facilidade em ganhar calor como em perder. A baixa inércia térmica do sistema construtivo demonstra ser pouco eficaz para os dias de clima frio. Na Figura 5 é apresentado um gráfico com os valores de temperaturas para o primeiro e para o último pavimento do dia 8 de janeiro. Na Figura 6 é apresentado um gráfico com os valores de temperaturas para o primeiro e para o último pavimento do dia 6 de agosto.

Figura 5 - Valores de temperatura horária do ar interno e externo para o dia 8 de janeiro do primeiro pavimento e pavimento de cobertura



Fonte: Autor

Figura 6 - Valores de temperatura horária do ar interno e externo para o dia 6 de agosto do primeiro pavimento e pavimento de cobertura

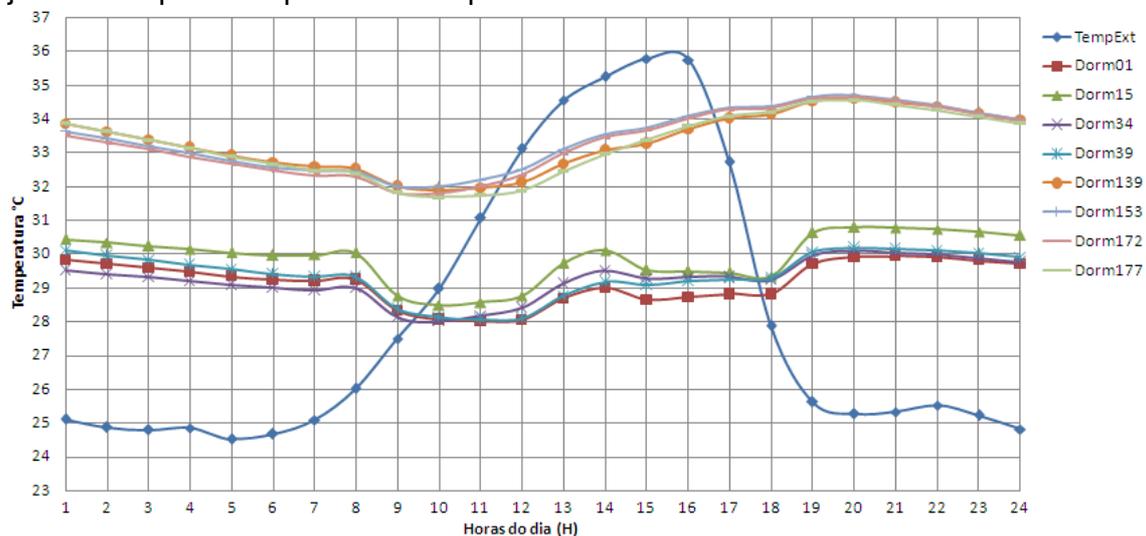


Fonte: Autor

3.2 SIMULAÇÕES DO MODELOS PROPOSTOS

De todos os modelos simulados o que obteve os melhores resultados foi o modelo 8. Nas simulações do dia mais quente do ano (8 de janeiro) a diminuição nas temperaturas internas em relação ao caso base deve-se principalmente a redução da área de janela, pois como visto em outros modelos é a principal responsável pelos ganhos de calor. Na Figura 7 é apresentado um gráfico com os valores de temperaturas para o primeiro e para o último pavimento do dia 8 janeiro.

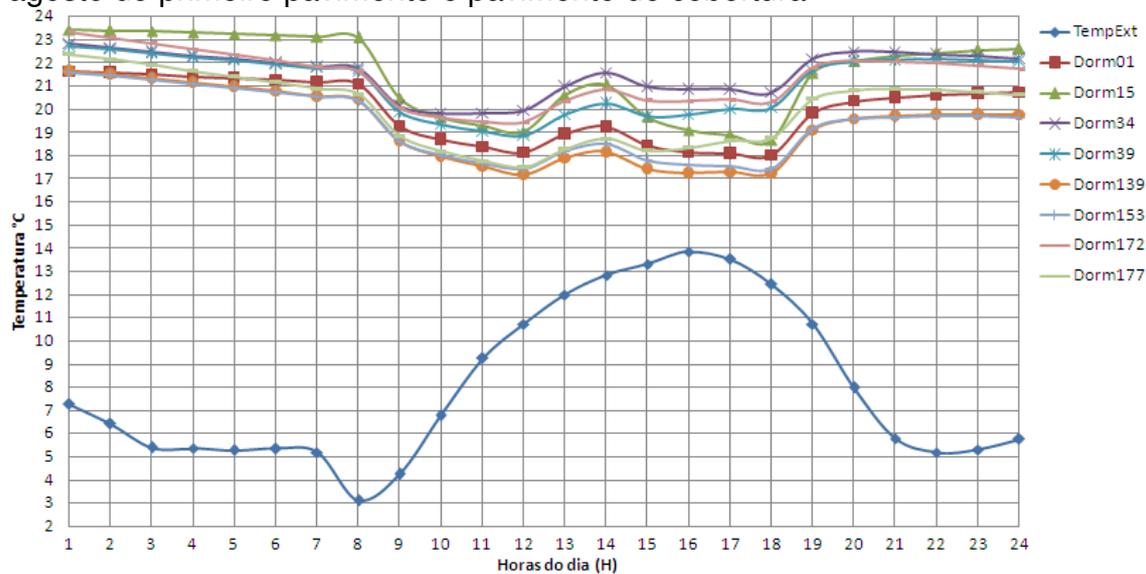
Figura 7 - Valores de temperatura horária do ar interno e externo para o dia 8 de janeiro do primeiro pavimento e pavimento de cobertura



Fonte: Autor

Para as simulações do dia mais frio do ano (6 de agosto) apenas os dormitórios com fachadas voltadas para o norte não mantiveram as temperaturas internas o dia inteiro dentro da zona de conforto térmico, como mostrado na Figura 8. É possível notar ainda que a discrepância entre a cobertura e o primeiro pavimento é acentuada no momento em que a temperatura externa se eleva.

Figura 8 - Valores de temperatura horária do ar interno e externo para o dia 6 de agosto do primeiro pavimento e pavimento de cobertura



Fonte: Autor

3.3 ANÁLISE DAS HORAS DE CONFORTO PELO MÉTODO GRAUS-HORA

Nestas simulações foram avaliadas as horas de desconforto térmico do modelo de referência em relação a 15 modelos propostos, onde foram variadas as áreas de abertura de ventilação, inércia térmica, e ainda os dois parâmetros simultaneamente. Percebe-se que as horas de desconforto por frio e calor para um ano inteiro são semelhantes. A ventilação natural é de fundamental importância para se melhorar o conforto térmico no verão, é também o elemento que causa o maior desconforto no inverno e isso é evidenciado na Tabela 2. O conforto térmico no interior da edificação pode variar em relação ao posicionamento das aberturas, área de abertura e controle seletivo da abertura das janelas. Nota-se que a ocupação causa grande influência nas horas de conforto térmico, sendo que nesse caso a variação para um ano inteiro foi de 13,6%.

Tabela 2 – Porcentagem de horas de conforto e desconforto do caso base para o ano inteiro, verão e inverno

Período	Simulação	Horas de conforto (%)	Horas de desconforto (%)		
			Total	Frio	Calor
Ano inteiro	Sem ventilação e ocupação	48.1	51.9	23.4	28.5
	Com ventilação e ocupação	34.5	65.5	26.0	39.5
Verão	Sem ventilação e ocupação	43.2	56.8	2.4	54.4
	Com ventilação e ocupação	38.7	61.3	1.1	60.2
Inverno	Sem ventilação e ocupação	45.0	55.0	44.2	10.8
	Com ventilação e ocupação	33.2	66.8	51.8	15.0

Fonte: Autor

Nas simulações dos modelos propostos percebeu-se que o aumento da inércia térmica aumentou o desconforto por calor, principalmente nos pavimentos de cobertura. O aumento da área de ventilação foi pouco efetivo para a redução das temperaturas internas, isto porque a geometria da edificação não proporciona condições adequadas de se utilizar a ventilação cruzada. O modelo 8 foi o que apresentou os melhores resultados de conforto térmico para três das quatro situações analisadas (8 de janeiro no pavimento de cobertura, 8 de janeiro no primeiro pavimento, 6 de agosto no pavimento de cobertura e 6 de agosto no primeiro pavimento). Este modelo demonstrou ser o mais ideal para melhorar o conforto térmico nas duas estações, e isto fica evidente na Tabela 3, onde a diferença de desconforto por frio e por calor é a menor de todos os modelos. O modelo 1 foi o que demonstrou os melhores resultados para o verão, principalmente no pavimento de cobertura. A redução na área de ventilação para este caso foi eficiente, pois diminuiu a quantidade de ganhos de calor por irradiação nas aberturas. A melhoria no modelo 6, 7 e 8 está ligada à utilização da câmara de ar no interior da parede. Este sistema além de armazenar calor no inverno, através da alta inércia térmica do envelope construtivo, também pode isolar o calor no verão devido a baixa emissividade do ar presente no interior da parede. Percebeu-se nos modelos onde se aumentou a inércia térmica que esta estratégia é mais efetiva para a solução de climas frios do que a ventilação natural para climas quentes.

Tabela 3 – Porcentagem de horas de conforto e desconforto dos modelos propostos

Modelos	Conforto	Desconforto		
		Total	Frio	Calor
Modelo 1	35.9	64.1	37.4	26.7
Modelo 2	36.1	63.9	28.2	35.7
Modelo 3	36.4	63.6	29.3	34.3
Modelo 4	36.9	63.1	26.6	36.5
Modelo 5	36.8	63.2	27.3	35.9
Modelo 6	36.4	63.6	27.4	36.2
Modelo 7	45.1	54.9	27.6	27.3
Modelo 8	46.3	53.7	27.5	26.2
Modelo 9	44.2	55.8	29.0	26.8
Modelo 10	38.7	61.3	21.9	39.4
Modelo 11	37.9	62.1	23.3	38.8
Modelo 12	38.2	61.8	22.7	39.1
Modelo 13	34.4	65.6	22.4	43.2
Modelo 14	34.6	65.4	21.3	44.1
Modelo 15	35.1	64.9	20.9	44.0

Fonte: Autor

4. CONCLUSÕES

Para os dias mais frios do ano o aumento da inércia térmica do envelope construtivo demonstrou ser uma estratégia eficaz para a melhoria do conforto térmico na edificação. A utilização desta estratégia passiva de climatização combinada com uma área de abertura adequada mostrou-se capaz de reduzir o desconforto térmico. O modelo que apresentou os melhores resultados foi o modelo 8, onde se utilizou um sistema construtivo composto por tijolo maciço, tijolo furado, câmara de ar e uma área de ventilação de 10%.

Para os dias mais quentes do ano a variação na área de abertura das janelas não proporcionou o efeito desejado, de modo que as temperaturas pouco variaram devido a estas modificações. A mudança significativa em relação a área de ventilação está ligada aos ganhos térmicos, sendo que a ventilação não reduziu as temperaturas e ainda houve um aumento nos fluxos de calor. Percebeu-se que quanto maior a área de abertura maior foi o ganho térmico. Para os casos onde se utilizou a área de ventilação de 20% com envelopes de alta inércia se obteve os piores resultados de todos os modelos simulados.

Em relação ao modelo de referência todos os modelos propostos melhoraram a porcentagem de horas de conforto térmico para um ano inteiro, considerando a edificação naturalmente ventilada e ocupada.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ALMEIDA, M. A.; SCHAEFFER, R.; LA ROVERE, E. L. The Potential for Electricity Conservation and Peak Load Reduction in the Residential Sector of Brazil. **Energy**, v.26, n.1, p.413-429, 2001
- CHUNG, W.; HUI, Y. V.; MIU LAM, Y. Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings. **Applied Energy**, v. 83, n. 1, p. 1-14, 2006.
- GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity End-Uses in the Residential Sector of Brazil. **Energy Policy**, v.35, n.1, p. 4107-4120, 2007.
- GOULART, S. V.G.; 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 Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. 1998
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- MATOS, M. **Simulação Computacional do Desempenho Térmico de Residências em Florianópolis Utilizando a Ventilação Natural**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 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.
- OLESEN, B. W. The philosophy behind EN15251: Indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings. **Energy and Buildings**. Issue 7, v.39, p.740-749, 2007.
- OECD. Environment: Act now or face costly consequences, warns OECD [Internet]. França: OECD. Acesso em 2012 Mar 23. Disponível em: http://www.oecd.org/document/34/0,3746,en_21571361_44315115_49897570_1_1_1_1,00.html
- SANTAMOURIS, M; WOUTERS, P. **Building Ventilation**: The state of the Art. Londres: Earthscan. 2006.
- 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.