

INFLUÊNCIA DO PERCENTUAL DE ÁREA DE JANELA NA FACHADA E DA ABSORTÂNCIA DE PAREDES EXTERNAS NO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO DA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS-SC

Marina Vasconcelos Santana (1); Enedir Ghisi (2)

(1) Me Eng. Civil, Arquiteta, marina@labeee.ufsc.br

(2) PhD, Engenheiro 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 trabalho avalia a influência de dois parâmetros construtivos no consumo de energia em edifícios de escritório: percentual de área de janela na fachada e a absorptância de paredes externas. Essa avaliação foi realizada através de simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus. Para tal análise, foi modelado um edifício de escritório com características construtivas predominantes levantadas de edificações do centro da cidade de Florianópolis, e simulado com os dados climáticos desta. Dessa forma, foram realizadas alterações desses dois parâmetros construtivos em intervalos de 10%, enquanto as outras características mantiveram-se constantes, assim, pôde-se avaliar a resposta no consumo de energia e os resultados comparados entre si. As simulações computacionais totalizaram em 324 casos e os resultados foram graficamente representados. Para a orientação original, constatou-se uma variação no consumo de energia de 71,0 kWh/m².ano (Abs_{ext} 10%; PJF 10%) a 104,3 kWh/m².ano (Abs_{ext} 90%; PJF 90%). Pôde-se observar que, ao fixar o PJF e variar a absorptância, ocorreram maiores variações no consumo de energia com PJFs menores comparados a PJFs maiores. O que significa, por exemplo, que uma parede com janelas pequenas, ao se variar as cores, pode ocorrer uma variação no consumo de energia em até 21,6%, enquanto uma parede com janelas grandes, ao se variar as cores, pode ocorrer uma variação no consumo de energia em até 3,1%. A simulação dos casos permitiu identificar a influência desses parâmetros no consumo de energia, auxiliando nas decisões com relação à área de aberturas e às cores nas fachadas mais adequadas ao clima em estudo.

ABSTRACT

This work assesses the influence of two constructive parameters on the energy consumption of office buildings: window to wall ratio (WWR) and absorptance of external walls (α). The assessment was performed by using the computer programme EnergyPlus. The model to be simulated comprises the constructive details obtained by surveying office buildings located in the city centre of Florianópolis, southern Brazil. Simulations were performed by using climatic data of Florianópolis. The two constructive parameters were changed at increments of 10% while all the other details were kept the same. In total, 324 simulations were run. For the base case, the energy consumption ranged from 71.0 kWh/m².year ($\alpha=10\%$; WWR=10%) to 104.3 kWh/m².year ($\alpha=90\%$; WWR=90%). It was observed that the greatest differences on the energy consumption occurred for the same WWR and different absorptances. Therefore, by changing absorptances in a wall with small windows, the energy

consumption may increase up to 21.6%, while in a wall with large windows, the energy consumption may increase up to 3.1%. Thus, results obtained from the simulations allowed to identify the influence of absorptance and window to wall ratio on the energy consumption of office buildings located in Florianópolis.

1. INTRODUÇÃO

Países tropicais, como Brasil, estão sujeitos à intensa e abundante insolação durante a maior parte do ano, o que influi diretamente na carga térmica dos edifícios. As trocas de energia entre os meios exterior e interior das edificações dependerão, fundamentalmente, do envelope construtivo e das propriedades termofísicas dos elementos que o compõem (DORNELLES; RORIZ, 2004). Um fator que exerce grande influência sobre os ganhos de calor solar da envoltória é a absorptância solar, definida como a razão entre a energia solar absorvida pela superfície e o total da energia solar incidente (DORNELLES; RORIZ, 2006). As absorptâncias das superfícies expostas ao sol determinam o impacto da radiação solar na edificação, afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas. O estudo de Griggs et al. (1989) demonstra o impacto de coberturas com diferentes absorptâncias no ganho de calor em um ambiente. Com a cobertura branca, o pico de temperatura interna alcançou 45,8°, já com cobertura escura, apresentou um acréscimo de 31% na temperatura interna.

A absorptância é um fator determinante nas temperaturas que ocorrem em qualquer superfície exposta ao sol, como as faces externas das fachadas e coberturas de uma edificação, os revestimentos de pisos em espaços abertos ou as placas receptoras de um coletor de energia solar (DORNELLES; RORIZ, 2006). A maioria dos autores oferece somente uma pequena relação de absorptâncias, apresentadas em função das cores das superfícies, sendo esses dados bastante genéricos, imprecisos e desatualizados. Em Lamberts et al. (1997), a absorptância solar está dividida em apenas três grupos: cores escuras, médias e claras, sem especificar a cor ou acabamento considerados. Da mesma forma, os fabricantes de tintas e revestimentos não divulgam essa informação. Embora equivocada, esta simplificação ainda é adotada mesmo em importantes documentos considerados como referência internacional, como é o caso, por exemplo, dos Fundamentos da ASHRAE (2001).

Os estudos de Dornelles e Roriz (2005; 2006) apresentam a importância que a absorptância solar exerce sobre o desempenho térmico de edificações. Nestes, demonstraram ainda que, a percepção visual humana não é um instrumento adequado para identificar essa propriedade. Os autores apresentam uma caracterização ótica de pinturas e revestimentos usados na construção civil através da digitalização, e também através de um espectrômetro de baixo custo (ALTA II), servindo como alternativa às técnicas usuais para se obter valores de refletâncias e absorptâncias.

O estudo das características do envelope de um edifício de apartamentos energeticamente eficiente, de Cheung et al. (2005), apresenta que, com uma redução de 30% da absorptância solar, pôde-se alcançar uma economia de 12,6% da carga de resfriamento. Um trabalho realizado em Hong Kong, de Cheung et al. (2005), apresentou que temperaturas internas em um ambiente alcançaram uma significativa variação de acordo com a absorptância utilizada. Os autores testaram dois modelos em escala reduzida de 1m³, com uma pequena abertura não ventilada, variando a absorptância, 0,25 e 0,8. Observaram que a máxima variação da temperatura interna durante o dia, do modelo com absorptância equivalente a 0,25, foi de 3°C com relação à temperatura externa, já o modelo com absorptância equivalente a 0,8, foi de 12°C.

Além de ser uma propriedade determinante nas temperaturas superficiais, a absorptância é uma alternativa de economia de energia relativamente simples de ser executada, pois na maioria das vezes, basta alterar a tonalidade da pintura do acabamento externo do edifício. Esta medida pode ter seu custo quase nulo se for implementada no período de execução ou reforma da edificação. Desta forma, a economia alcançada pode ser bem significativa. Segundo o estudo de Santana (2006), observou-se que o consumo de energia aumentou em função do aumento da absorptância das paredes. No caso de um edifício de escritório localizado em Florianópolis, a cada aumento de 10% da absorptância, ocorreu aproximadamente um aumento de 1,9% no consumo de energia.

Outra variável arquitetônica que exerce grande influência sobre os ganhos de calor solar da envoltória é o tamanho das aberturas. Quanto maior uma abertura, maior a quantidade de calor que pode entrar ou sair do ambiente (LAMBERTS et al., 1997). Segundo Ghisi et al. (2005), é essencial na fase de projeto o correto dimensionamento da área de janela, com o objetivo de otimizar a eficiência energética.

As aberturas são elementos nos quais permitem ao ambiente o acesso de grande quantidade de calor em forma de radiação solar direta ou difusa. Para um edifício comercial, Lam (2000) verificou que os ganhos de calor através da janela representavam quase 50% dos ganhos através do envelope da edificação. No estudo de Santana (2006), observou-se que ocorreu um acréscimo no consumo de energia conforme o aumento do percentual de área de janela na fachada (PJF). No caso de um edifício de escritório localizado em Florianópolis, a cada aumento de 10% no PJF, houve um acréscimo no consumo de energia de aproximadamente 2,9%.

2. OBJETIVO

Avaliar a influência do percentual de área de janela na fachada e da absorvância de paredes externas no consumo de energia em edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC, através de simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus.

3. METODOLOGIA

O método utilizado para se avaliar a influência do percentual de área de janela na fachada (PJF) e da absorvância de paredes externas (Abs_{ext}) no consumo de energia em edifícios de escritório consiste em simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus. Para tal análise, foi modelado um edifício de escritório com características construtivas predominantes obtidas através de levantamentos realizados em edificações desse tipo no centro da cidade de Florianópolis, e simulado com os dados climáticos desta (SANTANA, 2006). Dessa forma, foram realizadas alterações desses dois parâmetros construtivos em intervalos de 10%, enquanto outras características mantiveram-se constantes, assim, pôde-se avaliar a resposta no consumo de energia e os resultados comparados entre si.

3.1 Modelo computacional

O modelo computacional foi obtido de levantamentos reais e, generalizados para serem transformados em indicadores para a simulação. Este possui 8m de largura por 25m de comprimento, apresentando uma área de pavimento de 200m², correspondendo ao valor de área de pavimento mais freqüente no estudo de ocorrência de Santana (2006). Dessa forma, o edifício apresenta uma proporção aproximada de 1x3 das edificações retangulares analisadas. O modelo ainda apresenta 11 pavimentos e a média da altura do pé direito, 2,7m.

A Figura 1 apresenta o modelo genérico que foi reproduzido para o programa simulador. Observa-se que a fachada principal é aquela voltada para orientação nordeste. Nota-se que as janelas foram modeladas contínuas, mesmo que não corresponda à realidade; assim foram feitas com o intuito de simplificar a modelagem para a simulação. A Figura 2 apresenta a planta da edificação, com a área total, indicação da fachada principal e, dados de comprimento e largura.

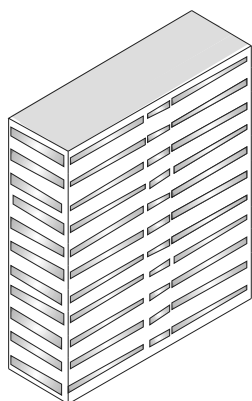


Figura 1: Modelo genérico

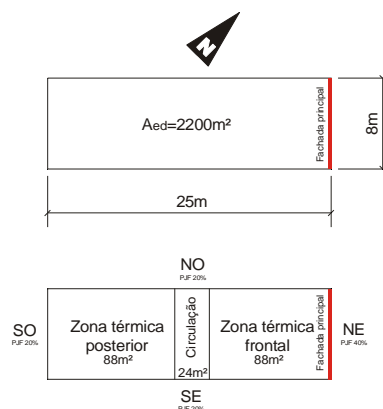


Figura 2: Características do modelo genérico para simulação

Ainda na Figura 2, apresenta-se a planta representando as zonas térmicas adotadas para o modelo (modelo multi-zona). A forma, a proporção, a área do pavimento e a área das zonas foram retiradas do estudo de frequência de ocorrência de cada item disposto, assim como os materiais utilizados, dispostos na Tabela 1 (SANTANA, 2006). Observa-se que o modelo possui 3 zonas térmicas, sendo a frontal e a posterior (88m² cada) condicionadas, e por fim, a zona denominada circulação (24m²), não condicionada. O padrão de ocupação e o padrão de uso de equipamentos foram obtidos dos levantamentos das edificações (SANTANA, 2006). Para o período da manhã de 8h às 12h, e para o período da tarde de 14h às 18h. O arquivo climático utilizado foi o desenvolvido no estudo de Goulart (1993), revisto, tratados e compilado com estimativa de dados de radiação solar no estudo de Carlo (2005).

Tabela 1: Descrição do modelo genérico

Transmitância Térmica (W/m ² K)	Paredes	2,47
	Cobertura	2,42
Capacidade Térmica [kJ/(m ² .K)]	Paredes	200
	Cobertura	187
Absortância	Cobertura	0,70
Vidro	cor	claro
	espessura	3 mm
Ocupação média (m ² /pessoa)		14,7
Densidade de carga interna (W/m ²)	Iluminação	6,4
	Equipamentos	9,7
Características do sistema de condicionamento de ar	Tipo	Aparelho de janela
	Capacidade de refrigeração (BTU/h)	12.000
	COP (W _{térmico} /W _{elétrico})	2,8

3.2 Parâmetros analisados

O percentual de área de janela na fachada e a absortância de paredes externas foram os parâmetros variados para obter a influência no consumo de energia. Foram realizadas 81 simulações alterando esses dois parâmetros construtivos em intervalos de 10% (Figura 3), enquanto as outras características mantiveram-se constantes, assim, pôde-se avaliar a resposta no consumo de energia.

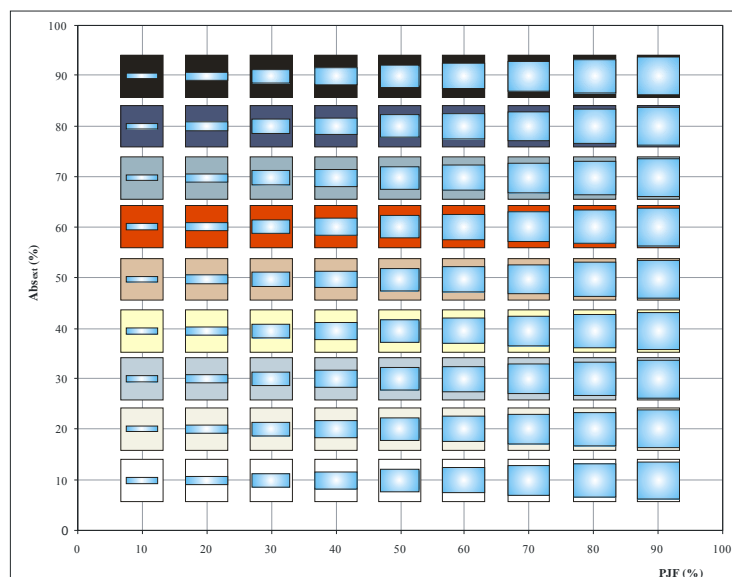










Figura 3: Casos simulados em intervalos de 10% para os parâmetros analisados

As cores e suas respectivas absorções, apresentadas na Figura 3, foram retiradas do estudo de diferenciação de tipos e tonalidades de tintas com relação ao comportamento espectrofotométrica destas, de Dornelles e Roriz (2006). A Tabela 2 apresenta as cores analisadas no estudo com suas absorções que serviram para representar as simulações deste trabalho.

Tabela 2: Absorções médias das tintas analisadas (DORNELLES; RORIZ, 2006)

Cor	Nome da cor	Absorção (%)
	bianco sereno	26,8
	azul angra	33,8
	marfim	40,6
	pêssego	47,8
	vermelho	62,6
	azul imperial	69,5
	azul II	75,4
	preto	93,7

Além dos parâmetros analisados já relacionados neste, também foram realizadas simulações alterando a fachada principal, de nordeste para noroeste (Figura 4), e o tipo de vidro, vidro claro (Fator Solar equivalente a 0,83) para um vidro com fator solar baixo (Fator Solar equivalente a 0,22), totalizando 243 simulações.

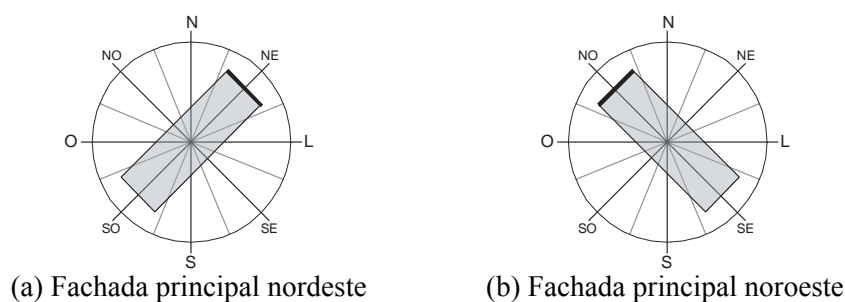


Figura 4: Alteração da fachada principal para simulação computacional

A partir das variações determinadas, as simulações totalizaram em 324 casos e pôde-se avaliar a resposta no consumo de energia e os resultados comparados entre si.

4. RESULTADOS

4.1 Consumo de energia: Abs_{ext} de paredes e PJJ

De acordo com o método descrito para as simulações iniciais, obtiveram-se os resultados do consumo de energia dos casos, bem como a influência deste em edifícios de escritório, diante dos parâmetros construtivos relacionados ao PJJ e à Abs_{ext} . A Figura 5 apresenta o consumo de energia dos casos simulados variando o PJJ e à Abs_{ext} em intervalos de 10%, fachada principal voltada para nordeste e vidro claro. Os outros parâmetros construtivos e demais sistemas mantiveram-se constantes.

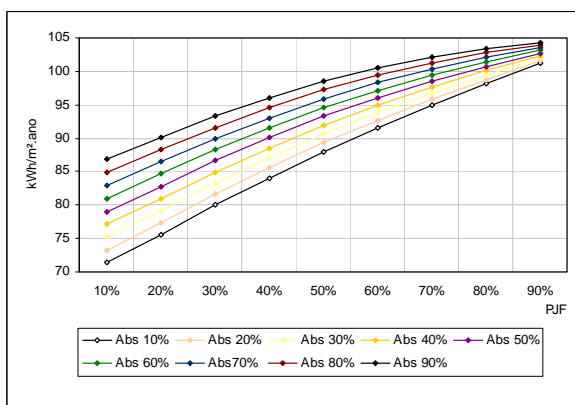


Figura 5: Consumo de energia em função das variações de Abs_{ext} e PJJ, fachada principal nordeste e vidro com FS 0,83

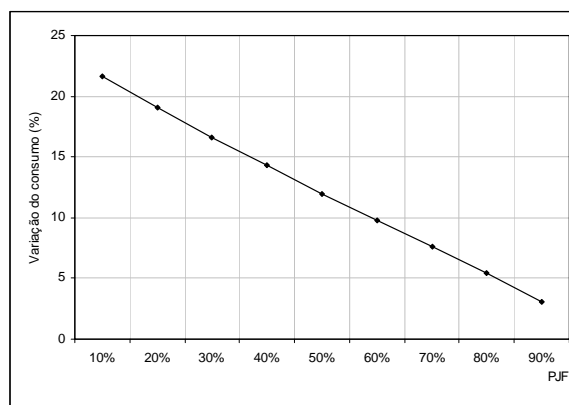


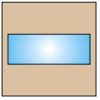
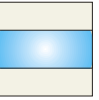
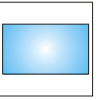


Figura 6: Variação percentual do consumo de energia em função das variações de Abs_{ext} e PJJ

Com pode-se observar na Figura 5, o aumento no consumo de energia é mais significativo ao se aumentar o PJJ. Mantendo a Abs_{ext} fixa de 10% e variando o PJJ, a variação no consumo de energia aumenta em 41,6%. Com relação à Abs_{ext} , variando de 10% a 90%, e mantendo o PJJ fixo de 10%, a variação no consumo de energia alcança 21,6%. Outro aspecto que se pode observar na Figura 5, é a relação do aumento do PJJ com o aumento da Abs_{ext} . Observou-se que, ao fixar o PJJ e variar a absorvância, ocorreram maiores variações no consumo de energia com PJJs menores comparados a PJJs maiores. Significa, por exemplo, que em uma parede com janelas pequenas, ao se variar as cores, ocorreu uma variação no consumo de energia em até 21,6%, enquanto uma parede com janelas grandes, ao se variar as cores, ocorreu uma variação no consumo de energia em até 3,1%, uma vez que a contribuição de área de parede diminui, o efeito da Abs_{ext} é menos significativo (Figura 6). Destas simulações, também se observou as situações em que ocorreram equivalências nos consumos de energia. O consumo de uma edificação com PJJ de 10% e Abs_{ext} de 90%, é similar ao de uma edificação com PJJ de 50% e Abs_{ext} de 10% (86,9 kWh/m².ano e 88,0 kWh/m².ano, respectivamente).

A Tabela 3 apresenta uma das equivalências de consumo de energia retirada dos 81 casos simulados. Esse tipo de relação pode contribuir nas decisões com relação à área de aberturas e às cores nas fachadas mais adequadas ao clima em estudo.

Tabela 3: Relações de consumo de energia com PJJ e Abs_{ext}

Caso					
PJJ x Abs _{ext}	10% x 90%	20% x 70%	30% x 50%	40% x 20%	50% x 10%
Consumo kWh/m ² .ano	86,9	86,5	86,7	85,6	88,0

4.2 Consumo de energia: Abs_{ext} de paredes e PJJ, tipo de vidro e orientação

A Figura 7 apresenta o consumo de energia dos mesmos casos simulados, variando a fachada principal, orientando-a a nordeste e com vidro com Fator Solar baixo (Fator Solar equivalente a 0,22). Os outros parâmetros construtivos e demais sistemas mantiveram-se constantes.

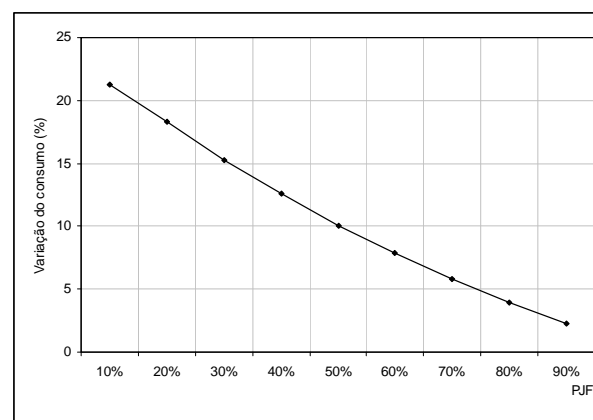
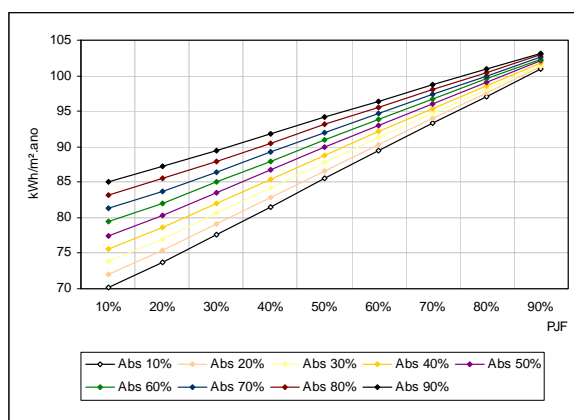


Figura 7: Consumo de energia em função das variações de Abs_{ext} e PJJ, fachada principal nordeste e vidro com FS 0,22

Figura 8: Variação percentual do consumo de energia em função das variações de Abs_{ext} e PJJ

Com pode-se observar na Figura 7, a correlação da Abs_{ext} com o PJJ apresentou uma maior linearidade, devido às propriedades do vidro reflexivo empregado no modelo computacional. Neste caso, apresentou uma alteração não significativa do consumo, uma redução no máximo 1,8%, quando comparado aos casos simulados com vidro claro, devido à absorvância a radiação solar das películas empregadas nesses vidros ser alta, assim a temperatura superficial dos vidros atinge temperaturas elevadas, aumentando a carga térmica interna. Mantendo a Abs_{ext} fixa de 10% e variando o PJJ, a variação no consumo de energia aumenta em 43,7%. Com relação à Abs_{ext}, variando de 10% a 90%, e mantendo o PJJ fixo de 10%, a variação no consumo de energia alcança 21,2%. De acordo com a Figura 8, a variação do consumo é semelhante ao caso apresentado na Figura 6.

Ainda foram simulados outros casos, com as mesmas características dos casos apresentados acima, porém com a fachada principal voltada para noroeste. A Figura 9 apresenta o consumo de energia de casos simulados variando a Abs_{ext} e o PJJ em intervalos de 10%, fachada principal voltada para noroeste e vidro claro (FS 0,83), e a Figura 10 com a fachada principal voltada para noroeste e vidro com Fator Solar Baixo (FS 0,22).

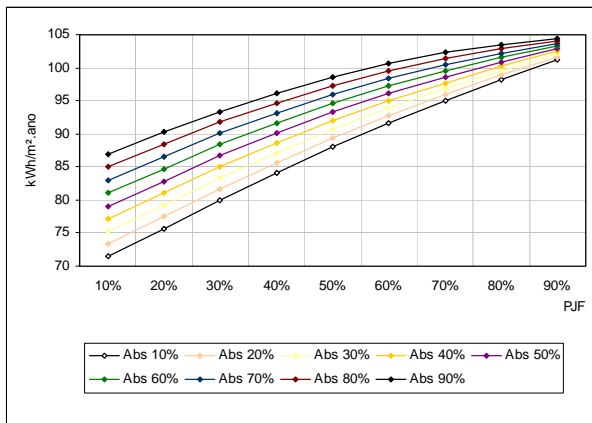


Figura 9: Consumo de energia em função das variações de Abs_{ext} e PJJ, fachada principal noroeste e vidro com FS 0,83

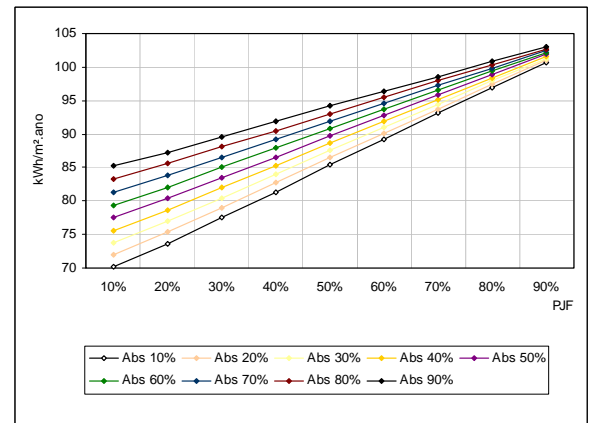


Figura 10: Consumo de energia em função das variações de Abs_{ext} e PJJ, fachada principal noroeste e vidro com FS 0,22

Os casos apresentados na Figura 9 e 10 apresentaram consumo de energia e comportamento muito semelhantes aos casos apresentados na Figura 5 e 7, respectivamente. Sendo assim, as mesmas análises são cabíveis à estes casos. Logo, para os parâmetros construtivos desse modelo, para o tipo de edificação analisada e para os dados climáticos de Florianópolis, a alteração da orientação não foi um fator significativo. Observa-se que as orientações escolhidas para serem analisadas (Figura 4), possuem situações semelhantes com relação à maior área de fachada exposta ao sol, ora exposta ao período da manhã, ora exposta ao período da tarde, determinando assim, um consumo semelhante.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou a influência do consumo de energia em edifícios de escritório para a cidade de Florianópolis diante de dois parâmetros construtivos: o percentual de área de janela na fachada (PJJ) e a absorvância de paredes externas (Abs_{ext}), por meio de simulação computacional utilizando o programa EnergyPlus.

Observou-se que o aumento no consumo de energia é mais significativo ao se aumentar o PJJ, chegando a uma variação de até 41,6%. Com relação à Abs_{ext} , mantendo o PJJ fixo, a variação no consumo de energia alcançou até 21,6%. Outro aspecto relevante foi com relação ao aumento do PJJ com o aumento da Abs_{ext} . Observou-se que, ao fixar o PJJ e variar a absorvância, ocorreram maiores variações no consumo de energia com PJJs menores comparados à PJJs maiores. Uma parede com janelas pequenas, ao se variar as cores, ocorreu uma variação no consumo de energia em até 21,6%, enquanto uma parede com janelas grandes, ao se variar as cores, ocorreu uma variação no consumo de energia em até 3,1%, uma vez que a contribuição de área de parede diminui, o efeito da Abs_{ext} é menos significativo.

Destas simulações, também se observou as situações em que ocorreram equivalências nos consumos de energia.

Para o clima de Florianópolis, a análise realizada, permitiu reforçar a importância desses parâmetros construtivos relacionados à envoltória, que influenciam diretamente sobre os ganhos de calor de uma edificação. Os resultados podem auxiliar nas escolhas a serem realizadas na fase de projeto de um edifício, uma vez que apresentaram a significativa variação do consumo de energia diante dos tamanhos das aberturas e das cores nas fachadas.

Esse estudo sugere, que a escolha correta dos parâmetros analisados neste, pode colaborar com arquitetos e profissionais da área de construção civil a produzirem edifícios mais eficientes energeticamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE. Handbook: Fundamentals 2001, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. 2001.
- CARLO, J. C.. AET N° 02/04 Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes. **Processamento de arquivos climáticos para simulação de desempenho energético de edificações**. Florianópolis, UFSC 2005. 28 p. (Relatório Técnico-200504).
- DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Thermal inertia, comfort, and energy consumption in buildings: a case study in Sao Paulo state - Brazil. **International Journal for Housing and its Applications**, v. 28, n. 2, p. 153-162. 2004.
- CHENG, V. K.; Ng, E., GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy**, v. 78, p. 528-534, 2005.
- CHEUNG, C. K.; FULLER, R. J.; LUTHER, M. B. Energy-efficient envelope design for high-rise apartments. **Energy and Building**, v. 37, p. 37-48, 2005.
- GHISI, E.; TINKER, J. A.; IBRAHIM, S. H.. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura *versus* simulação computacional. **Ambiente Construído**, v.5, n. 4, p. 81-93, 2005.
- GOULART, S. **Dados climáticos para a avaliação e desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. Florianópolis, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- GRIGGS, E. I.; SHARP, T. R., MAC DONALD, J. M. Guide for estimating differences in building heating and cooling energy due to changes in solar reflectance of a low-sloped roof. Oak Ridge: **Oak Ridge National Laboratory**, 1989. Disponível em: <http://eber.ed.ornl.gov/commercialproducts/ornl6527.pdf>. Acesso em: jan. 2007.
- LAM, J. C. Energy analysis of commercial buildings in subtropical climates. **Building and Environment**, v. 35, n. 1, p. 19-26, 2000.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, 1997.
- RORIZ, M.; DORNELLES, K. A. Identificação da absorvância solar de superfícies opacas a partir de imagens digitalizadas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005.
- RORIZ, M.; DORNELLES, K. A. Identificação da absorvância solar de superfícies opacas por meio de espectrômetro de baixo custo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006.
- SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC**. Florianópolis, 2006. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.