

ANÁLISE DO IMPACTO DE VARIÁVEIS ARQUITETÔNICAS E CARGAS INTERNAS NO CONSUMO DE ENERGIA EM CONDICIONAMENTO DE AR DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS

Fernando Simon Westphal (1); Roberto Lamberts (2)

Universidade Federal de Santa Catarina, CTC / ECV / LabEEE

Campus Universitário - Caixa Postal 476 - Florianópolis - SC

Fone: (48) 3721-5184 | Fax: (48) 3721-5191

E-mail: (1) fernando@labeee.ufsc.br ; (2) lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise do desempenho energético de edificações comerciais através de simulação computacional. Os modelos virtuais de dois tipos arquitetônicos foram simulados no programa EnergyPlus, com diferentes condições de uso, densidade de carga interna e eficiência do sistema de condicionamento de ar. Variações nos componentes construtivos, cores externas, tipos de vidro, área de janela nas fachadas e proteções solares foram simuladas para avaliar o impacto desses parâmetros no consumo de energia elétrica em condicionamento de ar das edificações. Os testes foram feitos por meio de simulação de modelos com arquivos climáticos TRY de três cidades brasileiras: Curitiba, Florianópolis e Salvador. No total, foram executadas 23.040 simulações paramétricas. Observou-se que, dentro dessa amostra, os fatores carga interna, padrões de uso e eficiência do sistema de condicionamento de ar são preponderantes no desempenho energético da edificação. Em termos de projeto, isso significa que, se o arquiteto ou engenheiro tem pouco controle sobre essas três variáveis, a economia de energia obtida por um projeto arquitetônico mais eficiente pode não ser alcançada após a execução do projeto.

ABSTRACT

This paper presents a building energy performance analysis through computer simulation. Virtual models for two building types were simulated in the EnergyPlus programme, with different patterns of use, internal loads density and efficiency level for the air-conditioning system. Variations on constructions, exterior colours, glass type, window-to-wall ratio, and exterior shading devices were applied to evaluate the impact on electric energy consumption for air-conditioning. Weather files of three Brazilian cities were adopted in the analysis: Curitiba, Florianópolis and Salvador. A total of 23,040 parametric simulations were carried out. It was observed that, in this sample of cases, those parameters internal loads density, patterns of use and coefficient of performance of the air-conditioning system are dominant in the energy behaviour of the building. This scenario means that if the design team has little control over these three variables, the energy savings obtained through a more efficient design may be not achieved after the building construction.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, existem diversos programas computacionais destinados à análise térmica e energética de edificações (DOE, 2006). O uso de ferramentas desse tipo permite que engenheiros e arquitetos simulem o desempenho de alternativas de projeto antes da execução da obra, evitando gastos desnecessários com medidas de pouco impacto no consumo de energia ou no conforto térmico.

Através de simulações paramétricas pode-se fazer a análise do impacto de determinada estratégia arquitetônica no consumo de energia da edificação para diferentes climas. Com esse tipo de exercício, Pedrini e Szokolay (2003) constataram, após a realização de 38.000 simulações, que o projeto arquitetônico adequado ao clima da região pode proporcionar até 70% de economia de energia. Outras 7.168 simulações paramétricas foram adotadas por Signor et al. (2001) para gerar equações de regressão do consumo de energia elétrica de edificações em função de 10 parâmetros arquitetônicos, e do clima de 14 cidades brasileiras. Uma interface gráfica para realização dos cálculos foi desenvolvida por Westphal et al. (2002). Equações desse tipo permitem uma análise rápida do impacto de características do prédio no consumo de energia.

Westphal (2007) propõe a utilização de equações de regressão do consumo como um método expedito para a análise de incertezas e de sensibilidade de modelos de simulação. Em sua tese de doutorado, um total de 23.040 simulações foram realizadas para a obtenção de equações de estimativa de consumo de energia em função de 13 parâmetros que descrevem a edificação. Este artigo apresenta uma síntese da análise do impacto desses parâmetros no desempenho energético de edificações comerciais. Inicialmente, descreve-se a metodologia adotada na composição dos casos para a simulação. Em seguida são apresentados os resultados de alguns casos, adequadamente selecionados para tratar do impacto de cada variável no consumo de energia. Análises desse tipo podem guiar o projetista no desenvolvimento de edificações mais eficientes.

2. METODOLOGIA

Para execução das simulações paramétricas os casos foram montados a partir da análise combinatória de 13 parâmetros relacionados a características da edificação. Dois tipos arquitetônicos foram considerados, com formatos e tamanhos diferentes. Foram simuladas somente edificações artificialmente climatizadas e com padrões de uso semelhantes a atividades comerciais.

O programa de simulação adotado foi o EneqPlus, versão 1.2.3 (DOE, 2005). Rotinas de programação (*scripts*) foram escritas em linguagem BASIC para gerar todos os modelos e iniciar cada simulação automaticamente pelo programa. Os dados de saída foram processados e analisados em planilhas eletrônicas do Excel. O parâmetro de referência para análise do desempenho energético dos modelos foi o consumo anual de energia elétrica, em kWh, estimado por m² de área condicionada. A Tabela 1 apresenta a lista de parâmetros considerados na análise e os valores de entrada adotados. Maiores detalhes sobre cada parâmetro são apresentados a seguir.

Tabela 1 – Lista de parâmetros utilizados e valores de entrada adotados na análise.

| Parâmetro | Siglas | Valores simulados |
|--|----------------|---|
| 1- Tipologias arquitetônicas | - | Um pavimento e cinco pavimentos. |
| 2- Clima | - | Curitiba, Florianópolis e Salvador |
| 3- Coeficiente de performance (W/W) | COP | 1,82 (ineficiente) e 3,19 (eficiente) |
| 4- Densidade de carga interna (W/m ²) | ILD | 20 e 50 |
| 5- Padrão de uso (h/dia) | PU | 8 e 24 |
| 6- Capacidade térmica de paredes e coberturas | CT | Leves (≈ 0 J/m ² .K) e pesadas (>100 J/m ² .K) |
| 7- Transmitância térmica das paredes e cobertura (W/m ² .K) | U | Leves: 0,50; 4,50 / Pesadas: 1,00; 2,50 e 4,50 |
| 8- Absortância das paredes à rad. solar | α_{par} | 0,20 (cor clara) e 0,90 (cor escura) |
| 9- Absortância da cobertura à rad. solar | α_{cob} | 0,20 (cor clara) e 0,90 (cor escura) |
| 10- Percentual de janela nas fachadas | WWR | 10% e 90% |
| 11- Fator de projeção do brise horizontal | BriseH | 0,0 (sem proteção) e 1,0 (proteção igual à altura da janela) |
| 12- Fator de projeção do brise vertical | BriseV | 0,0 (sem proteção) e 1,0 (proteção igual à largura da janela) |
| 13- Solar Heat Gain Coefficient - vidros | SHGC | 0,49 (reflexivo); 0,59 (verde) e 0,81 (claro) |

2.1 Tipos Arquitetônicos

O comportamento energético da edificação em função dos parâmetros listados na Tabela 1 depende da forma e tamanho do prédio. Por exemplo, uma edificação com apenas um pavimento sofrerá maior influência das propriedades térmicas da cobertura do que uma edificação com dez pavimentos. Dois tipos de edificações foram simulados para avaliar esse comportamento: o primeiro (Tipo 1) representando uma edificação de cinco pavimentos, de planta retangular; e o segundo (Tipo 2) representando uma edificação de um pavimento, com planta quadrada.

2.1.1 Tipo 1

O modelo virtual correspondente ao Tipo 1 representa um edifício típico de escritórios com características estabelecidas por uma pesquisa de campo (LABEEE, 2005a). O modelo possui um formato retangular de 27,00 m x 7,50 m, com 5 pavimentos, e pé-direito de 2,50 m em cada pavimento. A área total construída compreende 1.001 m², sendo 874 m² de área artificialmente climatizada. A Figura 1 apresenta o desenho em 3D do modelo geométrico simulado. Cada pavimento foi dividido em três zonas, conforme mostra a figura. As zonas frontal e posterior representam os espaços de escritório e são artificialmente climatizadas. A zona central não é climatizada e representa a área de circulação e o espaço ocupado por escadas e elevadores. Para reduzir o tempo de processamento das simulações, o pavimento tipo é representado no modelo apenas uma vez e os seus dados de carga térmica e consumo de energia são multiplicados por três pela ferramenta de simulação. Visando representar uma condição média para os coeficientes de convecção externa nas fachadas, esse pavimento foi posicionado em uma altura média entre o térreo e a cobertura.

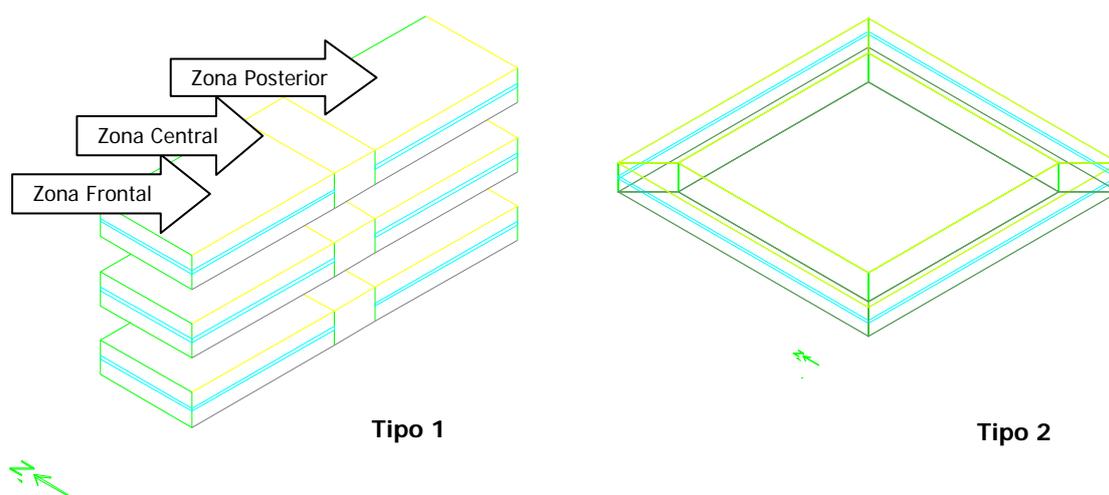


Figura 1 – Vista em 3D do modelo geométrico dos dois tipos de edificações considerados.

2.1.2 Tipo 2

O Tipo 2 corresponde a um prédio de um único pavimento, com área total construída de 2.500 m², totalmente condicionada. O desenho geométrico em perspectiva é apresentado no lado direito da Figura 1. O modelo possui formato quadrado com 50,00 m de lado e 5,00 m de pé-direito. Um modelo desse tipo pode ser utilizado para representar uma loja de departamentos com poucas divisórias internas. Haveria apenas uma pequena área para sala de gerência e de funcionários, que foi desconsiderada no modelo. Porém, para representar melhor a influência de cada fachada e das janelas no comportamento térmico da região próxima a elas, dividiu-se o modelo em 5 zonas: 1 central e 4 zonas periféricas, com 6 m de profundidade cada uma.

2.2 Clima

Além de variar parâmetros da edificação, as simulações consideraram diferentes climas. Para isso, os arquivos climáticos de três cidades brasileiras foram selecionados com diferentes níveis de graus-hora de resfriamento e aquecimento.

A cidade de Curitiba foi escolhida para representar um clima com alta necessidade de aquecimento artificial. Salvador foi a cidade escolhida para representar o clima com elevado índice de graus-hora de resfriamento e o clima de Florianópolis foi selecionado como o intermediário entre esses dois. A Tabela 2 apresenta as coordenadas geográficas dessas três cidades e as quantidades de graus-hora de resfriamento e aquecimento, para as temperaturas-base de 24°C e 18°C, respectivamente. Essas informações foram extraídas dos arquivos climáticos no padrão TRY, disponíveis na página da internet do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE, 2005b).

Tabela 2 – Cidades adotadas para a realização das simulações.

| Cidade | Coordenadas geográficas | | | Graus-hora | |
|---------------|-------------------------|-----------|----------|------------------|------------------|
| | Latitude | Longitude | Altitude | Aquec. (tb=18°C) | Resfr. (tb=24°C) |
| Curitiba | 25°31'S | 49°10'W | 910 m | 25.965 | 1.491 |
| Florianópolis | 27°40'S | 48°32'W | 7 m | 6.030 | 4.542 |
| Salvador | 12°53'S | 38°19'W | 13 m | 102 | 15.904 |

2.3 Coeficiente de Performance (COP)

O sistema de climatização adotado em todas as simulações corresponde a um modelo de aparelho de expansão direta, com ciclo reverso para aquecimento, representando aparelhos de janela ou *splits*. A capacidade do sistema foi determinada automaticamente para cada caso, a partir da simulação dos dias de projeto referentes a cada clima. Um sistema independente foi adicionado em cada zona condicionada dos modelos simulados. A temperatura de controle adotada foi de 24°C para a função de resfriamento e de 18°C para aquecimento. A eficiência dos aparelhos (COP) foi um dos parâmetros variados nas simulações e os valores apresentados na Tabela 1 representam as categorias “A” e “E” dos aparelhos avaliados pelo INMETRO (2006), com COP igual a 3,19 e 1,82, respectivamente.

2.4 Densidade de carga interna (ILD)

A densidade de carga interna representa a soma das três principais fontes de calor internas: iluminação, equipamentos elétricos e pessoas. Considerou-se atividade metabólica com calor gerado de 130 W por pessoa, representando o desenvolvimento de atividades de escritório. As taxas de ILD iguais a 20 e 50 W/m² foram compostas conforme mostra a Tabela 3. A parcela de calor latente gerado pelas pessoas é calculada pelo programa EnergyPlus, durante a simulação, usando uma equação polinomial em função da taxa metabólica e temperatura do ar interno.

Tabela 3 – Composição das densidades de carga interna adotadas.

| Carga interna | ILD = 20 W/m ² | ILD = 50 W/m ² |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Iluminação | 8 W/m ² | 20 W/m ² |
| Equipamentos | 6 W/m ² | 15 W/m ² |
| Pessoas | 6 W/m ² | 15 W/m ² |
| (m ² /pessoa) | (21,7 m ² /pes) | (8,7 m ² /pes) |

2.5 Padrão de uso

As duas opções de padrão de uso simuladas regem o acionamento dos sistemas de iluminação, equipamentos, condicionamento de ar e a ocupação do prédio. Foi considerada apenas a utilização e ocupação nos dias úteis (de segunda-feira a sexta-feira). Aos sábados e domingos considera-se a edificação desocupada e com seus sistemas desligados.

No padrão de uso de 8 h/dia considerou-se o início das atividades no prédio às 8h da manhã, com intervalo ao meio-dia e reinício das atividades às 14h, com término às 18h. Essa rotina de uso é apresentada esquematicamente na Figura 2. O valor no eixo das ordenadas representa a fração de utilização do sistema no qual o padrão de uso é adotado. Valor igual a 1,0 em uma determinada hora indica que o sistema esteve 100% ligado desde a hora anterior até àquela hora.

No padrão de uso de 24h/dia considerou-se valor igual a 1,0 para todas as horas dos dias úteis.

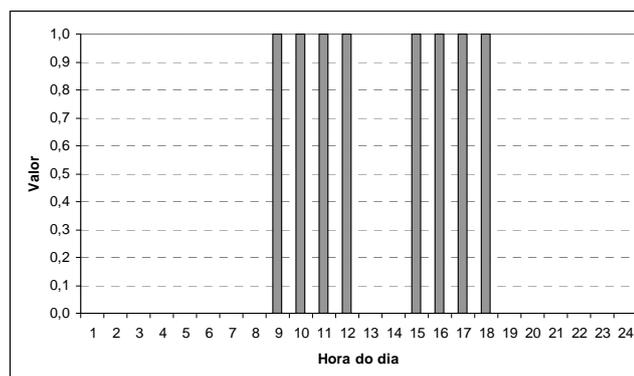


Figura 2 – Rotina diária adotada no padrão de uso de 8 h/dia.

2.6 Capacidade e transmitância térmica das paredes e cobertura

Na Tabela 1, as paredes e cobertura são classificadas como “leves” e “pesadas” de acordo com a capacidade térmica simulada. As paredes e coberturas leves foram consideradas apenas com transmitância térmica (0,50 e 4,50 W/m².K) e sem capacidade térmica. Para isso, utilizou-se o objeto MATERIAL:REGULAR-R na simulação no programa EnergyPlus. Esse objeto simula um material representado apenas pela sua resistência térmica, e com capacidade térmica igual a zero.

Para compor as paredes e coberturas pesadas foram utilizados objetos do tipo MATERIAL:REGULAR no EnergyPlus. Neste caso, o programa considera a densidade e o calor específico dos materiais no cálculo de transferência de calor através do componente construtivo.

Para os componentes construtivos do tipo pesado foram considerados três valores de transmitância térmica, apresentados na Tabela 4, pois o comportamento do consumo frente a variações na composição desse tipo de fechamento opaco tenderia à não-linearidade, conforme identificado por Signor (1999). Procurou-se representar componentes construtivos geralmente utilizados em edificações brasileiras, por isso as coberturas de alta transmitância térmica resultaram em baixos valores de capacidade térmica.

Tabela 4 – Tipos de paredes e coberturas “pesadas” adotados nas simulações.

| Descrição do componente | U (W/m ² .K) | C _T (J/m ² .K) |
|---|-------------------------|--------------------------------------|
| PAREDES | | |
| Parede dupla de tij. de 8 furos circulares, assentados na maior face | 1,00 | 328 |
| Parede de tijolos de 8 furos quadrados, assentados na menor face | 2,50 | 146 |
| Parede de concreto maciço de 10 cm de espessura | 4,50 | 240 |
| COBERTURAS | | |
| Cobertura de telha de fibro-cimento, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 12 cm de espessura | 1,00 | 275 |
| Cobertura de telha de fibro-cimento com forro de gesso | 2,50 | 20 |
| Cobertura de telha cerâmica sem forro | 4,50 | 24 |

2.7 Absortância à radiação solar de superfícies externas

Os valores de absortância da superfície externa das paredes e da cobertura correspondem à cor do acabamento dessas superfícies. O valor de absortância 0,20 representa uma cor clara (branco, por exemplo), e o valor 0,90 representa uma cor escura (marrom ou preto, por exemplo).

2.8 Percentual de área de janela nas fachadas (WWR)

O WWR (*Window-to-Wall Ratio*) representa o percentual da área das fachadas de cada modelo que é preenchido por janelas, com um dos três tipos de vidro considerados. Para simplificar a modelagem geométrica, as janelas foram consideradas com largura igual à largura da parede na qual estão inseridas, e com altura igual ao WWR multiplicado pelo pé-direito do pavimento correspondente. As janelas foram posicionadas no centro da parede. Como não foi avaliada a contribuição de luz natural nos modelos, a posição e a geometria das aberturas não irão exercer influência significativa no

desempenho térmico do modelo. Dois valores extremos de WWR foram simulados: 10%, representando edificações com poucas janelas; e 90%, representando edificações com fachadas totalmente envidraçadas. Para simplificar a modelagem, o mesmo percentual de área de janela foi adotado em todas as fachadas.

2.9 Fator de projeção dos brises

As proteções solares externas às janelas foram simuladas como sendo brises opacos posicionados horizontalmente sobre a parte superior da janela (brises horizontais) e verticalmente com a mesma altura da janela (brises verticais).

O fator de projeção dos brises horizontais representa a relação entre a largura do brise e a altura da janela. Para os brises verticais o fator de projeção representa a relação entre a largura do brise e a largura da janela. Nesse caso, como todos os modelos possuem janelas muito largas, foram inseridos mais de um brise vertical em cada janela para alcançar os fatores de projeção desejados. Dois valores de fator de projeção foram simulados: 0,0, para representar janelas sem proteções solares; e 1,0, representando proteções solares de projeção igual à altura ou à largura das janelas.

2.9.1 Coeficiente de Ganho de Calor Solar (SHGC) dos vidros

Os três tipos de vidro simulados foram escolhidos em função do valor do Coeficiente de Ganho de Calor Solar (SHGC – *Solar Heat Gain Coefficient*), que representa a parcela de calor da radiação solar incidente no vidro que é transferida para o interior da edificação. Os vidros possuem a mesma espessura (6 mm) e mesma condutividade térmica (0,90 W/m.K). O maior valor de SHGC (0,81) selecionado corresponde a um vidro incolor. O valor de SHGC intermediário (0,59) corresponde a um vidro verde e o SHGC mais baixo (0,49) equivale a um vidro refletivo.

As propriedades físicas dos vidros em relação à radiação solar são apresentadas na Tabela 5. Esses valores foram extraídos da base de dados de componentes construtivos distribuída junto com o programa EnergyPlus (DOE, 2005).

Tabela 5 – Propriedades físicas dos tipos de vidros em relação à radiação solar.

| Tipo de vidro | Transmitância | Refletância | Absortância | SHGC |
|------------------------|---------------|-------------|-------------|------|
| Incolor – 6 mm | 0,775 | 0,071 | 0,154 | 0,81 |
| Verde – 6 mm | 0,487 | 0,056 | 0,457 | 0,59 |
| Refletivo claro – 6 mm | 0,429 | 0,308 | 0,263 | 0,49 |

2.10 Orientação da edificação e infiltração de ar externo

Durante esses testes, a posição de cada modelo em relação ao norte verdadeiro foi mantida constante, assim como a taxa de infiltração de ar externo em cada zona térmica. A orientação do Tipo 1 foi mantida a 90°, com a fachada maior voltada para o norte (Figura 1) e o Tipo 2 foi mantida com uma de suas fachadas voltadas ao norte, conforme mostra a Figura 1. A taxa de infiltração de ar externo foi mantida a 1 troca/h em todas as zonas térmicas de cada modelo simulado. Westphal (2007) apresenta outras simulações paramétricas, nas quais esses dois parâmetros também foram variados. Por questões de espaço, tais resultados não serão apresentados neste artigo.

3. RESULTADOS

Uma análise sobre a influência de cada parâmetro no consumo anual de energia elétrica dos modelos simulados é apresentada neste item. De todas as combinações possíveis entre as variações de cada parâmetro de entrada, apenas alguns casos simulados foram selecionados para discutir o comportamento energético da edificação.

Os dados de consumo de energia elétrica por metro quadrado apresentados referem-se apenas ao consumo do sistema de condicionamento de ar por área condicionada. Foi considerado o consumo global do sistema, incluindo a energia elétrica solicitada para aquecimento e resfriamento dos ambientes, assim como o consumo do sistema de insuflamento de ar (ventiladores). O consumo das cargas não dependentes do clima não foi inserido nos gráficos, pois depende apenas das horas de uso e potência instalada, e não sofre influência de parâmetros arquitetônicos.

3.1 Efeitos do COP, da densidade de carga interna e do padrão de uso

A densidade de carga interna (ILD) e o padrão de uso (PU) exercem forte impacto no consumo anual de energia elétrica de edificações comerciais no Brasil, já que o uso final de cargas não dependentes do clima chega a 50% nessas edificações (GELLER, 1991). Além disso, essas cargas afetam diretamente o consumo de energia elétrica de sistemas de condicionamento de ar, pois representam carga térmica a ser retirada pelo sistema de resfriamento. Enquanto o condicionamento de ar responde pelos 50% restantes do consumo de energia anual dessas edificações, o Coeficiente de Performance (COP) também tem impacto significativo no desempenho energético do modelo.

O efeito destes três parâmetros no consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar de oito casos referentes ao Tipo 1, simulados com o clima de Florianópolis pode ser visualizado na Figura 3. O maior aumento no consumo de energia é observado quando o padrão de uso é alterado de 8 para 24 h/dia. A ILD é o segundo parâmetro de maior influência no consumo e o COP seria o terceiro. O mesmo comportamento foi observado na simulação com os outros dois arquivos climáticos e com o outro tipo.

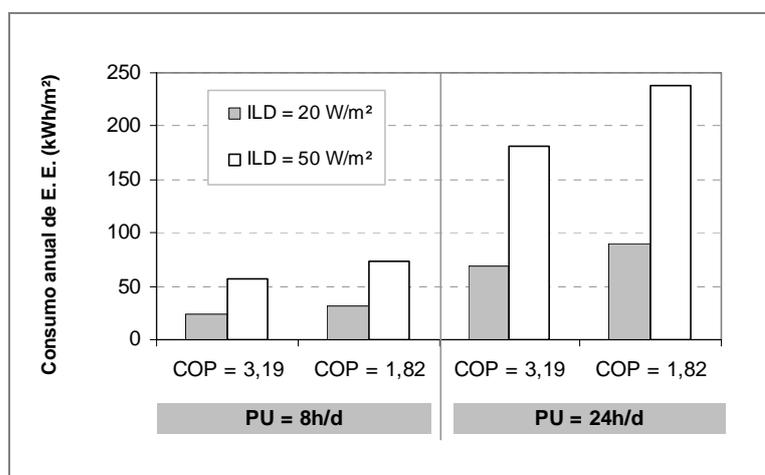


Figura 3 – Efeitos do COP, cargas internas e padrões de uso no consumo de energia em condicionamento de ar do Tipo 1, com o clima de Florianópolis.

3.2 Efeitos da transmitância térmica e da absorvância de superfícies opacas

Através das simulações paramétricas, detectou-se que o impacto da transmitância térmica de paredes e cobertura no consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar depende da absorvância à radiação solar das superfícies externas; da densidade de carga interna da edificação e de seus padrões de uso. Evidentemente, para tipos arquitetônicos diferentes, a influência da transmitância térmica também será diferenciada.

Para explorar os efeitos das características dos fechamentos opacos foram selecionados, neste subitem, os casos com menor área de janela nas fachadas, ou seja, com WWR igual a 10%.

3.2.1 Tipo 1 e padrão de uso de 8 h/dia

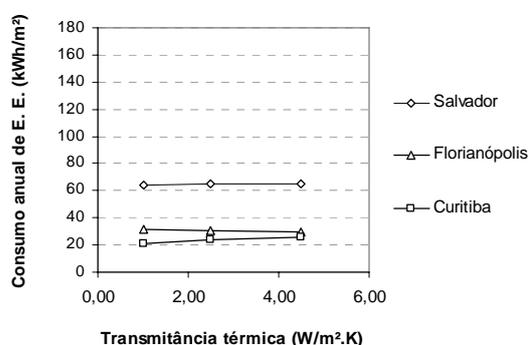
Para o Tipo 1, a variação do consumo anual de energia elétrica em condicionamento de ar do modelo, frente a diferentes valores de transmitância térmica (U) dos fechamentos opacos, depende do clima no qual a edificação está inserida.

Para aqueles casos com a densidade de carga interna mais baixa (20 W/m²), padrão de uso de 8h/dia, e baixa absorvância superficial externa (20%), aumentando a transmitância térmica aumenta o consumo de energia elétrica em climatização dos modelos simulados para Curitiba (menor quantidade de graus-hora de resfriamento), mas diminui o consumo de energia em condicionamento de ar para Florianópolis (Figura 4a). No caso de Salvador, a variação no consumo é bem menor do que nas demais cidades, mostrando que neste clima, as paredes provocam pouca influência na carga térmica dessa tipologia arquitetônica, com baixa densidade de carga interna, poucas horas de uso e cores claras nas superfícies externas.

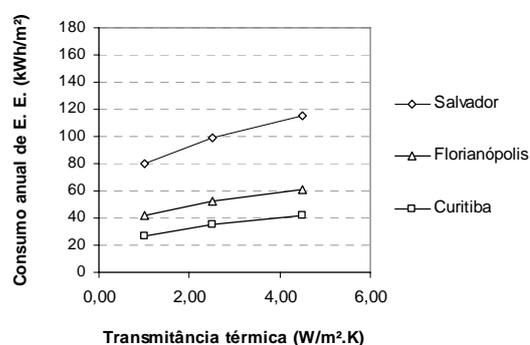
O consumo de energia elétrica estimado para aqueles casos com o valor mais alto de absorvância (90%) mostrou o comportamento esperado: aumentando o valor de U, aumenta-se o consumo anual do sistema de condicionamento de ar. A mesma correlação foi verificada com a simulação dos casos para os três arquivos climáticos (Figura 4b).

Com alta densidade de cargas internas (50 W/m²) e baixo padrão de uso (8 h/dia), a redução no consumo de energia elétrica em climatização proporcionada por paredes e cobertura com menor resistência térmica tornou-se evidente. Neste caso, a maior transmitância térmica colabora com a dissipação do calor gerado internamente, reduzindo o consumo do sistema de condicionamento de ar para resfriamento dos ambientes internos (Figura 4c).

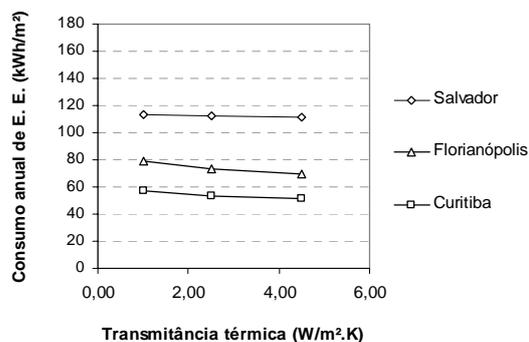
Mas para uma edificação com alta absorvância à radiação solar (90%), uma maior transmitância térmica de seus componentes construtivos irá aumentar o consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar do modelo, mesmo para edificações com alta densidade de cargas internas, conforme mostra a Figura 4d. Neste caso, a influência da radiação solar no ganho total de calor da edificação é significativo, mesmo com altos níveis de densidade de ocupação e potência instalada em iluminação e equipamentos elétricos.



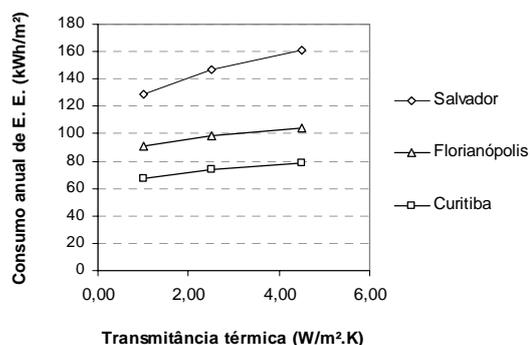
a) Carga interna = 20 W/m² | Absortância = 20%



b) Carga interna = 20 W/m² | Absortância = 90%



c) Carga interna = 50 W/m² | Absortância = 20%



d) Carga interna = 50 W/m² | Absortância = 90%

Figura 4 – Efeitos da transmitância térmica no consumo de energia em condicionamento de ar do Tipo 1, com padrão de uso de 8h/dia e para diferentes condições de densidade de carga interna e absorvância.

Para o Tipo 2 com padrões de uso de 8 horas por dia, o aumento na transmitância térmica proporciona maior consumo de energia para qualquer condição de absorvância térmica e em qualquer clima, entre os três simulados. Uma análise completa desses resultados é apresentada por Westphal (2007).

3.3 Efeitos do WWR e do SHGC

A Figura 5 mostra o consumo de energia de 18 modelos com diferentes valores de WWR e SHGC, gerados sobre o Tipo 1 e simulados para os três climas. Estes modelos têm as mesmas características para: COP (1,82 W/W); ILD (20 W/m²); padrões de uso (8h/dia); transmitância térmica (componentes

pesados, com $U = 1,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$); absorvância das superfícies externas (20%) e sem sombreamento externo nas janelas.

Pode ser visto, pela figura, que o efeito do SHGC sobre o consumo de energia elétrica em climatização da edificação com o menor WWR (10%) é muito pequeno. Mas com a maior área envidraçada nas fachadas, há uma influência não linear do tipo de vidro no consumo de energia elétrica do modelo.

Este comportamento pode ser entendido através da análise de duas propriedades físicas do vidro frente à radiação solar: absorvância (α) e transmitância (τ). O tipo de vidro escolhido para representar o SHGC de valor intermediário (0,59) apresenta absorvância à radiação solar mais alta do que os outros dois tipos de vidro adotados nas simulações. Durante o verão, a temperatura média das zonas condicionadas é cerca de 8 a 10°C mais baixa do que a temperatura externa durante o período de operação do sistema de climatização artificial. Como resultado, uma grande parcela do calor absorvido pelo painel de vidro tende a ser transferido por convecção e radiação em ondas longas para o ambiente interno, com temperatura mais baixa, ao invés de ser re-emitada para o exterior, com temperatura muito mais alta do que o interior. Este efeito foi identificado mesmo para casos com alta densidade de carga interna e simulados para diferentes arquivos climáticos, e conseqüentemente, diferentes quantidades de graus-hora de resfriamento.

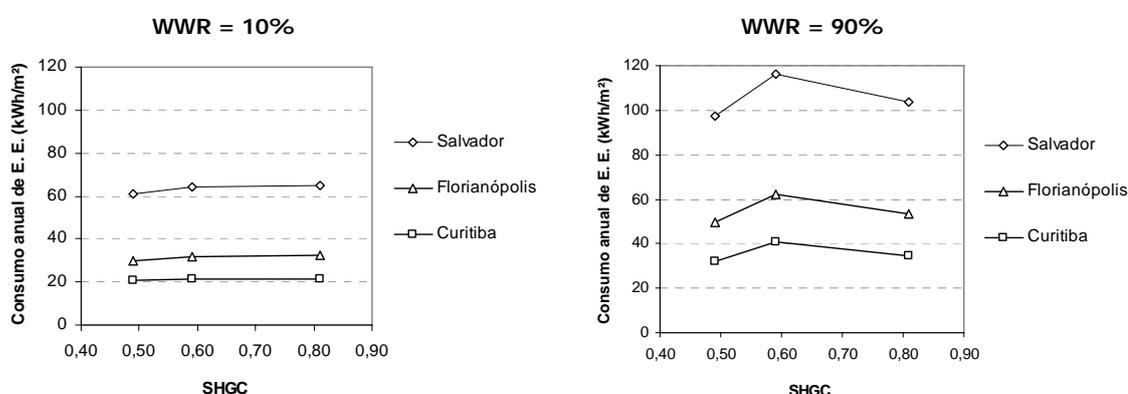


Figura 5 – Consumo de energia elétrica em condicionamento de ar para modelos com diferentes tipos de vidro e área de janelas nas fachadas.

As simulações desenvolvidas neste trabalho mostraram que a adoção do valor do Coeficiente de Ganho de Calor Solar como parâmetro de escolha entre diferentes tipos de vidro – quanto menor o SHGC, menor seria o ganho de calor – pode levar a um pior desempenho térmico e energético de edificações com ampla área envidraçada. A Figura 5 também comprova que, evidentemente, o tipo de vidro escolhido exerce pouca influência nos modelos com menor área de janela do que nos modelos com fachada totalmente envidraçada.

3.4 Efeitos do sombreamento externo das janelas

A Figura 6a mostra os efeitos das proteções solares no consumo anual de energia elétrica de 12 casos correspondentes ao Tipo 1, simulados com o clima de Florianópolis. Esses casos possuem baixa densidade de carga interna (20 W/m²), sistema de condicionamento de ar com baixo coeficiente de performance (1,82 W/W), baixo padrão de uso (8 h/dia), baixa absorvância (20%), alto índice de área envidraçada nas fachadas (90%) e transmitância térmica igual a 2,50 W/m². Casos com três tipos de vidros diferentes podem ser visualizados na figura. Como esperado, as proteções solares provocam menor impacto nos modelos com vidros de melhor desempenho térmico. O brise horizontal proporciona melhor desempenho energético para esta tipologia porque ela foi orientada com as maiores fachadas para o norte e sul, conseqüentemente, a maior área de janela ficou voltada para o norte e recebe maior proteção do brise horizontal.

O mesmo comportamento foi obtido para o Tipo 2 (Figura 6b), porém para essa edificação os brises exercem menor influência no desempenho térmico e energético, pois o principal ganho de calor por componentes construtivos ocorre pela cobertura.

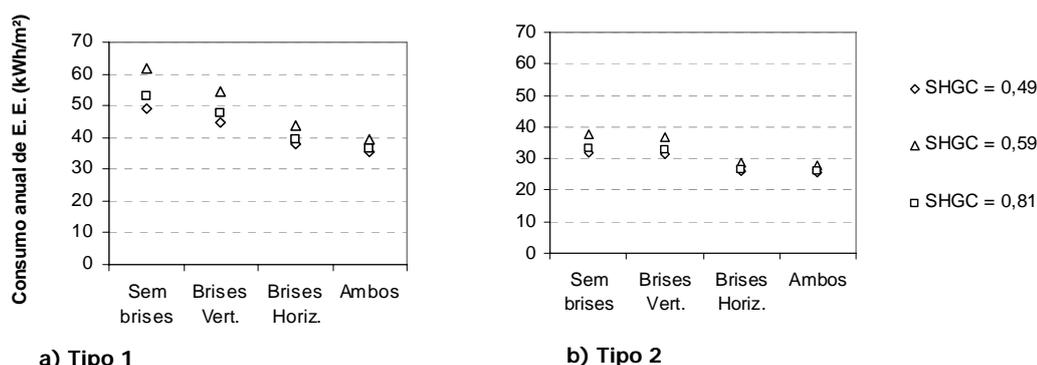


Figura 6 – Efeitos do sombreamento externo no consumo de energia em condicionamento de ar para o clima de Florianópolis.

4. CONCLUSÕES

Uma análise energética de edificações através de simulações paramétricas foi apresentada neste trabalho. A simulação de um total de 23.040 casos foi executada, variando-se 13 parâmetros relacionados a características de dois tipos de edificação, em três climas brasileiros.

O desempenho energético dos modelos mostrou forte dependência a alguns parâmetros, tais como densidade de cargas internas, padrões de uso e coeficiente de performance do sistema de condicionamento de ar. Outros parâmetros revelaram pouca influência no consumo de energia do modelo, sendo que em muitos casos o comportamento de determinado fator depende da combinação de outros. Pode-se citar o exemplo da transmitância térmica, que à medida que tem seu valor aumentado, pode provocar aumento ou diminuição do consumo anual de energia, dependendo do clima da região. Foi identificado que esse resultado irá depender do nível de carga instalada na edificação, do seu padrão de uso e das cores externas de seus componentes construtivos. Com alta densidade de carga interna e elevado padrão de uso, o modelo do edifício de cinco pavimentos, quando simulado com cores claras no exterior, teve melhor desempenho energético com componentes construtivos de transmitância térmica mais elevada.

As cargas elétricas instaladas na edificação têm efeito preponderante no consumo de energia. Isso significa que a adoção de estratégias bioclimáticas no projeto pode, em alguns casos, ter seus benefícios prejudicados dependendo da forma como o prédio é utilizado.

Deve-se salientar que a análise apresentada sobre as simulações paramétricas refere-se apenas aos modelos utilizados neste trabalho, e não podem ser generalizadas a qualquer tipo de edificação. Os resultados refletem as tendências de uma amostra de casos, que tiveram suas características variadas dentro de determinados limites. Edificações com características muito além ou abaixo desses limites podem apresentar comportamento diferenciado e, neste caso, uma análise aprofundada de seu desempenho energético pode ser feita através de simulação do modelo detalhado.

Outras considerações importantes devem ser salientadas sobre o estudo. As simulações foram realizadas com arquivos climáticos do tipo TRY, portanto não foi considerado o efeito do microclima sobre o desempenho da edificação. As cargas internas foram agrupadas em um único termo (ILD), no qual 70% correspondem às cargas de iluminação e equipamentos elétricos e os 30% restantes correspondem aos ganhos internos gerados pela ocupação de pessoas no prédio. O sistema de condicionamento de ar representado nas simulações paramétricas corresponde a aparelhos de expansão direta, mesmo assim é possível obter uma estimativa de influência do Coeficiente de Performance global do sistema no consumo da edificação, mas as curvas de desempenho não são adequadas para representar qualquer tipo de sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LABEEE – LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Downloads, Arquivos climáticos. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arqclim>>. Acessado: 10 mar. 2005.

_____. **Levantamento de dados visando a definição de protótipos de edificações brasileiras** (VERSÃO: FEV 2005). Relatório interno. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acessado: 10 mar. 2005.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Tabelas de Eficiência Energética. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acessado: 10 out. 2006.

SIGNOR, R. **Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999, 122 p.

SIGNOR, R.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. 2001. Regression analysis of electric energy consumption and architectural variables of conditioned commercial buildings in 14 Brazilian cities. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 7th, 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IBPSA. 2001. p. 1373-1379.

DEPARTMENT OF ENERGY – DOE. **Building Energy Tools Simulation Directory**. < http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/> Acessado em: 10 fev. 2006.

_____. **EnergyPlus**: version 1.2.3. Disponível em: < <http://www.energyplus.gov/>> Acessado: 10 nov. 2005.

GELLER, H. S. (1992). **O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. Rio de Janeiro: INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. 223 p.

PEDRINI, A.;S. SZOKOLAY. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando o desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Revista Ambiente Construído**, jan./mar. 2005. Westphal (2007). **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007, 129 f.

WESTPHAL, F.S.; TRÉS, A.C.R; LAMBERTS, R. **AvalCon-Rio 1.0**. Software. Florianópolis, 2002. Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/software/avalcon-rio.html>> Acesso em: 20 jun. 2006.