

O PAPEL DA VOLUMETRIA NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO

Joyce Carlo (1); Roberto Lamberts (2)

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis, SC, (48) 3331-5185

(1) e-mail: joyce@labeee.ufsc.br

(2) e-mail: lamberts@labeee.ufsc.br

RESUMO

A escolha do modelo computacional de uma edificação a ser estudada envolve a avaliação de diversos fatores, dentre eles a volumetria. Este artigo discute os impactos da volumetria da edificação no seu desempenho energético avaliando o consumo de energia estimado no programa Energy Plus. Através do fator de forma (área da envoltória pelo volume da edificação) e fator altura (área da cobertura pela área total da edificação), o consumo de energia elétrica de 70 edificações foi mapeado em gráficos 3D mostrando uma sensibilidade elevada em pequenas edificações, baixa em grandes edificações e a sua variabilidade em edificações médias quando modificadas variáveis como clima ou carga interna.

ABSTRACT

The selection of a building computer model involves the evaluation of a several of factors, such as its size or volume. This paper discusses the impacts of the building shape and volume on building performance through electricity consumption simulated on Energy Plus. Using a shape factor (envelop area by building volume) and a height factor (roof area by total floor area), the electricity consumption of 70 buildings was mapped in 3D graphs showing its high sensitivity on small buildings, its low sensitivity on large buildings and its variation on average buildings when variables like climate or internal loads are modified.

1. INTRODUÇÃO

A escolha do modelo computacional de uma edificação a ser estudada em uma pesquisa envolve a avaliação de diversos fatores, dentre eles, a volumetria. Quando a edificação é existente e o objetivo é reproduzir suas características, pouco se tem a fazer neste sentido mas, quando a edificação existente deve ser selecionada dentre diversas opções ou quando se deve definir um modelo teórico a fim de avaliar alguns parâmetros específicos, é necessário ter domínio da variação do consumo de energia ou ganhos de calor frente às demais variáveis envolvidas no processo. Um exemplo simples é a avaliação da cobertura de edificações, que deve ser realizada em um modelo de um ou, no máximo, dois pavimentos. Embora seja um exemplo óbvio, outros componentes e sistemas não apresentam uma relação tão clara com a volumetria ao impactar o desempenho energético, podendo mascarar ou supervalorizar os resultados em função da escolha incorreta da edificação.

Este artigo pretende discutir os impactos da volumetria da edificação no seu desempenho energético através do consumo de energia estimado em simulação computacional. Para tanto, foram simuladas edificações com diferentes volumetrias submetidas a condições como clima e cargas internas. A combinação destes parâmetros mostrou diferenças e semelhanças no impacto da volumetria da edificação no consumo anual de energia elétrica, permitindo a interpretação da relevância de cada tipo de edificação na análise de parâmetros intervenientes no seu desempenho energético.

O artigo apresenta uma breve revisão em estudos de desempenho energético e indicadores de volumetria para edificações, mostra os indicadores e parâmetros adotados para os modelos e descreve os resultados encontrados, discutindo-os, e conclui o trabalho apontando as principais observações.

2. REVISÃO

Lam et al. (1997) analisaram diversas características relevantes para o consumo através de simulação, gerando equações de predição do consumo. Embora tivessem sido avaliadas características como pé direito, número de pavimentos, orientação solar, forma quadrada a retangular, nenhuma destas permaneceu na equação final de predição do consumo de energia. Ao contrário, Signor et al. (2001) elaboraram equações de regressão multivariada para edificações de escritório, baseando-se em Lam et al. (1997), utilizando dois indicadores de volumetria: razão entre área de fachada pela área total para representar a forma e razão da área da cobertura pela área total para representar o número de pavimentos. Avaliaram parâmetros da envoltória, no entanto, utilizando quatro volumetrias distintas elaboradas com a combinação de dois valores extremos de cada indicador. Já Gonçalves et al. (2004) adotaram dois outros indicadores para avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais em Portugal, a razão da profundidade média pela largura da edificação e o fator de forma descrito pela razão entre a área da envoltória e o volume útil da edificação. Usaram estes indicadores para avaliar unidades habitacionais, tanto apartamentos quanto casa, dispensando então o número de pavimentos que, no caso de edificações multifamiliares com diversos pavimentos, seria necessário na avaliação do desempenho térmico global. O fator de forma, entretanto, incluiu na volumetria o pé direito do pavimento, representando a contento o volume de ar a ser condicionado na edificação.

Oral e Yalmaz (2003) também consideraram a forma a fim de identificar tipos de edificações que pudessem tornar-se referência ao minimizar as perdas térmicas no inverno. A forma deveria proporcionar uma baixa perda de calor, sendo avaliada através da relação entre a área da parede e o volume de ar. Recomendaram combinações específicas de transmitâncias térmicas com a forma a fim de reduzir as perdas de calor. A preocupação da forma em climas quentes e úmidos é também percebida em trabalhos como os de Pedrini e Lamberts, (2003). Se a edificação tem um melhor desempenho com uma forma alongada quando soluções arquitetônicas adequadas são utilizadas, uma forma cúbica preserva a edificação de uma exposição excessiva às condicionantes ambientais mesmo quando tais soluções arquitetônicas são omitidas.

Tais combinações da forma e volume com demais parâmetros da edificação que influam na carga térmica podem ressaltar ou mascarar o impacto de certas características. Carlo e Lamberts (2006) mostraram a influência parâmetros como carga interna e eficiência do ar-condicionado no impacto da envoltória sobre o consumo de energia de uma edificação comercial de escritórios. A seguir, ver-se-á uma avaliação semelhante, porém envolvendo a volumetria de edificações como elemento impactante.

3. METODOLOGIA

Foram simuladas 14 edificações para cinco situações, sendo duas delas variações de clima, gerando assim 54 edificações distintas. As outras variações foram das cargas internas, da eficiência do sistema de condicionamento de ar e da área de janela na envoltória, descritas a seguir. O programa computacional *Energy Plus*, validado através do método *BESTEST* da *Standard 140* (ASHRAE, 2001), foi utilizado para simular o desempenho térmico e energético das 70 alternativas.

Os sistemas de iluminação, equipamentos, de condicionamento de ar e a ocupação interna foram alterados em cada edificação. O sistema de condicionamento de ar é composto por aparelhos de janelas nas zonas térmicas condicionadas com eficiência classificada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, INMETRO como A, de COP 3,19 e 2,39 W/W e eficiência G, de COP 1,82 e 1,36 W/W, para resfriamento e aquecimento, respectivamente. Já as cargas internas foram definidas pela sua densidade, composta pelos sistemas de iluminação artificial e de equipamentos e pela ocupação, resultando em duas Densidades de Carga Interna, DCI, de 10,7 e 34,4 W/m² para a edificação completa. Para avaliar o impacto da volumetria na envoltória, optou-se por um parâmetro significativo no desempenho térmico da edificação, a área de janelas, representado pelo PAF, Percentual de área Abertura na Fachada, chamado de PJF em trabalhos anteriores (Percentual de área de Janela na Fachada). Os PAFs adotados foram 35% e 75% da área total das fachadas. Os demais parâmetros são vidro claro 3 mm, cobertura composta por telha fibrocimento, câmara de ar e laje de

concreto de 15 cm e paredes externas compostas por argamassa de reboco de 1,5 cm, tijolo de concreto com 2 furos e espessura de 19 cm e argamassa de reboco de 1,5 cm.

As simulações foram realizadas em duas zonas bioclimáticas limites do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, ZB-1 e ZB-8, representadas pelas cidades de Curitiba e Salvador, respectivamente. Foram então desconsideradas especificidades locais, sendo que testes com cidades de grandes amplitudes térmicas, como Brasília (ZB4), não extrapolaram os resultados de consumo de energia elétrica relacionado ao condicionamento de ar destas duas zonas bioclimáticas. Foram utilizados Anos Climáticos de Referência, TRY, contendo 8760 horas sem extremos de temperatura e com radiação solar calculadas segundo Carlo e Lamberts (2001).

Por fim, foram obtidos cinco casos, cada qual com 14 edificações. Estes são:

1. Salvador, Eficiência A, DCI = 10,7W/m² e PAF = 35%, considerado caso de referência;
2. Curitiba, Eficiência A, DCI = 10,7W/m² e PAF = 35%;
3. Salvador, Eficiência A, DCI = 10,7W/m² e PAF = 75%;
4. Salvador, Eficiência A, DCI = 34,4W/m² e PAF = 35%;
5. Salvador, Eficiência G, DCI = 34,4W/m² e PAF = 35%;

As edificações simuladas são detalhadas a seguir.

Tabela 1 – Características volumétricas das edificações simuladas, com identificador numérico.

Atividade comercial	ID	Num Pav	Dimensões (m)	Pé direito (m)	A _{total} (m)	Fator de Forma (A _{env} /V _{tot})	Fator Altura (A _{cob} /A _{tot})
Grande loja	1	1	44,5 x 67 x 5	5,0	2981,5	0,27	1,00
	2	2	44,5 x 67 x 10	5,0	5963,0	0,17	0,50
	3	5	44,5 x 67 x 25	5,0	14907,5	0,11	0,20
	4	10	44,5 x 67 x 50	5,0	29815,0	0,09	0,10
	5	25	44,5 x 67 x 125	5,0	74537,5	0,08	0,04
Escritório	6	1	7,5 x 27 x 2,6	2,6	202,5	0,73	1,00
	7	2	7,5 x 27 x 5,2	2,6	405,0	0,53	0,50
	8	5	7,5 x 27 x 13,0	2,6	1012,5	0,42	0,20
	9	10	7,5 x 27 x 26,0	2,6	2025,0	0,38	0,10
	10	15	7,5 x 27 x 39,0	2,6	3037,5	0,37	0,07
	11	25	7,5 x 27 x 65,0	2,6	5062,5	0,36	0,04
Pequena loja	12	1	6 x 10 x 3	3,0	60,0	0,87	1,00
	13	3	6 x 10 x 9	3,0	180,0	0,64	0,33
	14	5	6 x 10 x 15	3,0	300,0	0,60	0,20

3.1 Volumetria das edificações

Três modelos de edificações em planta foram adotados para variar o número de pavimentos, gerando 14 volumetrias distintas baseadas em protótipos de edificações para lojas e escritórios. As dimensões em planta foram utilizadas para gerar edificações com variados números de pavimentos, formando as 14 volumetrias cujas características são mostradas na Tabela 1, incluindo atividade comercial em que se baseou e um identificador numérico (ID). As duas últimas colunas são os indicadores de volumetria utilizados, explicados no próximo item.

3.2 Indicadores de volumetria

Dois indicadores de volumetria foram utilizados: um fator de forma descrito pela razão da área da envoltória pelo volume da edificação (A_{env}/V_{tot}) e um fator de pavimentos descrito pela área da cobertura pela área total da edificação (A_{cob}/A_{tot}). Estes indicadores subsidiaram o mapeamento da volumetria de edificações possíveis de serem construídas e possibilitam a visualização comparativa das suas formas e dimensões. A Figura 2 apresenta este mapeamento, em que o eixo das abscissas é composto pelo Fator Altura (A_{cob}/A_{tot}) e o eixo das ordenadas, pelo Fator de Forma da edificação (A_{env}/V_{tot}).

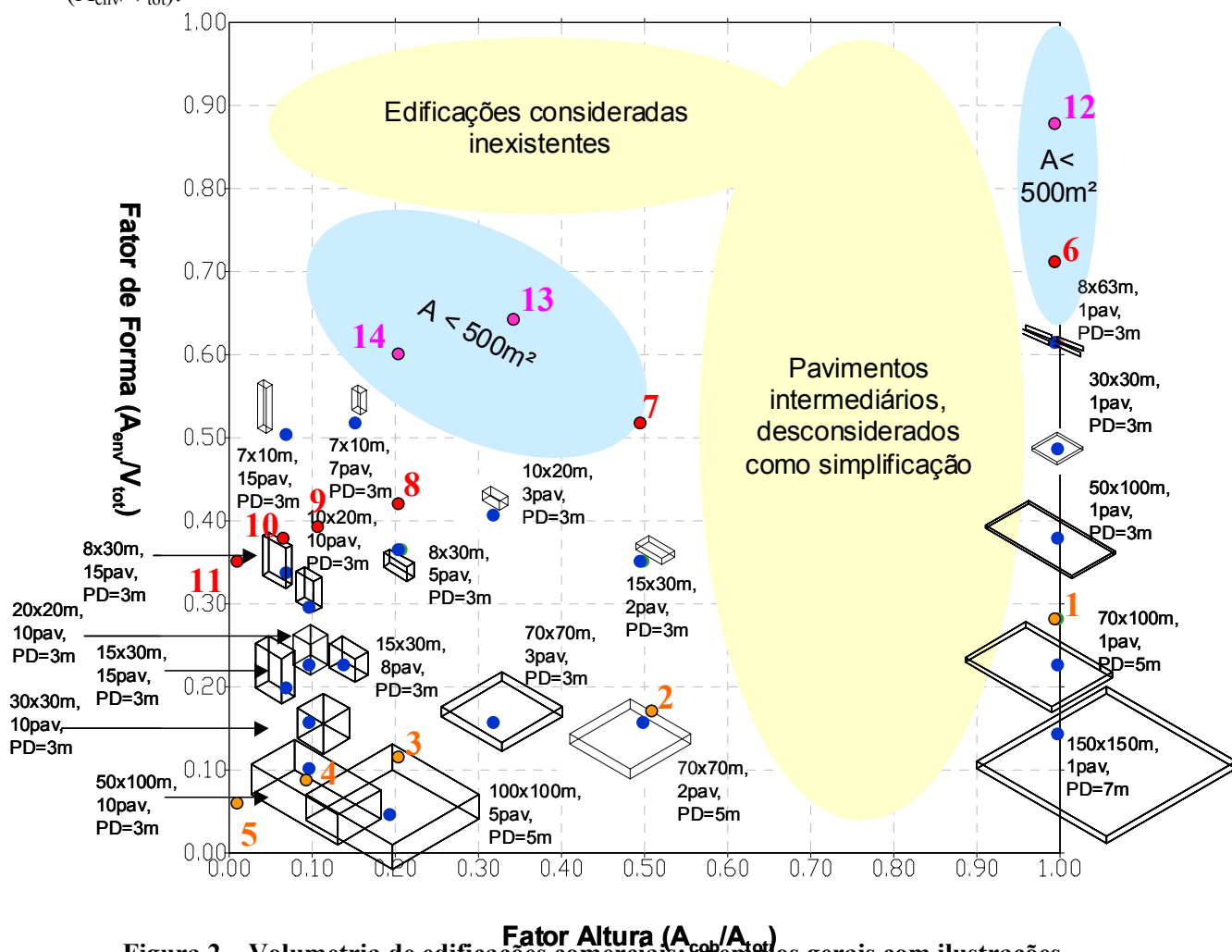


Figura 2 – Volumetria de edificações comerciais: exemplos gerais com ilustrações (azul) e edificações simuladas numeradas (laranja, vermelho e rosa).

A Figura 2 contém diversos exemplos de edificações no seu respectivo posicionamento no gráfico:

- os pontos azuis estão acompanhados da descrição de sua volumetria e de sua representação gráfica,
- os pontos laranjas representam as edificações de grandes lojas, com identificadores de 1 a 5,

- os pontos vermelhos representam as edificações de escritórios, com ID de 6 a 11 e,
- os pontos cor de rosa representam as pequenas lojas, com ID de 12 a 14.

A figura também apresenta duas áreas hachuradas, sendo a azul a que demarca as edificações cuja área total é menor que 500m² e a amarela a que demarca combinações de Fator de Forma e Fator Altura em que se desconsiderou a existência de edificações. Este último caso refere-se a edificações com números de pavimentos intermediários como mezaninos ou com pavimentos que não ocupam toda a projeção horizontal da edificação: ou o Fator Altura é 1 para um pavimento ou é 0,5 para dois pavimentos, eliminando uma área considerável do gráfico. Outra hachura amarela refere-se a edificações de pequena relevância para este estudo pelas suas pequenas dimensões ou pela própria dificuldade em se habitar ou construí-las, embora não sejam impossíveis de existir (3x8m, 10 pavimentos, PD=3m: FF=0,95 e FA=0,10). Conseqüentemente, o gráfico apresenta áreas mais densas, onde há maior variabilidade de edificações que são normalmente construídas, em contraste com áreas vazias e com outras que contêm edificações raras na paisagem urbana.

4. RESULTADOS

4.1 Análise individual dos indicadores de volumetria

A princípio, acredita-se que o consumo anual de energia pela área se reduza com o aumento do número de pavimentos. Apesar de ser uma tendência geral, parâmetros como o clima pode alterar este fenômeno. A Figura 3 apresenta este caso, em que a planta da grande loja é simulada com números de pavimentos de 1 a 25. Na Figura 3a, clima de Salvador, a edificação de 1 pavimento apresentou os maiores consumos para todas as condições internas simuladas: Densidade de Carga Interna de 10,7 ou 34,4 W/m² (DCI) e eficiência A ou G do ar-condicionado (AC).

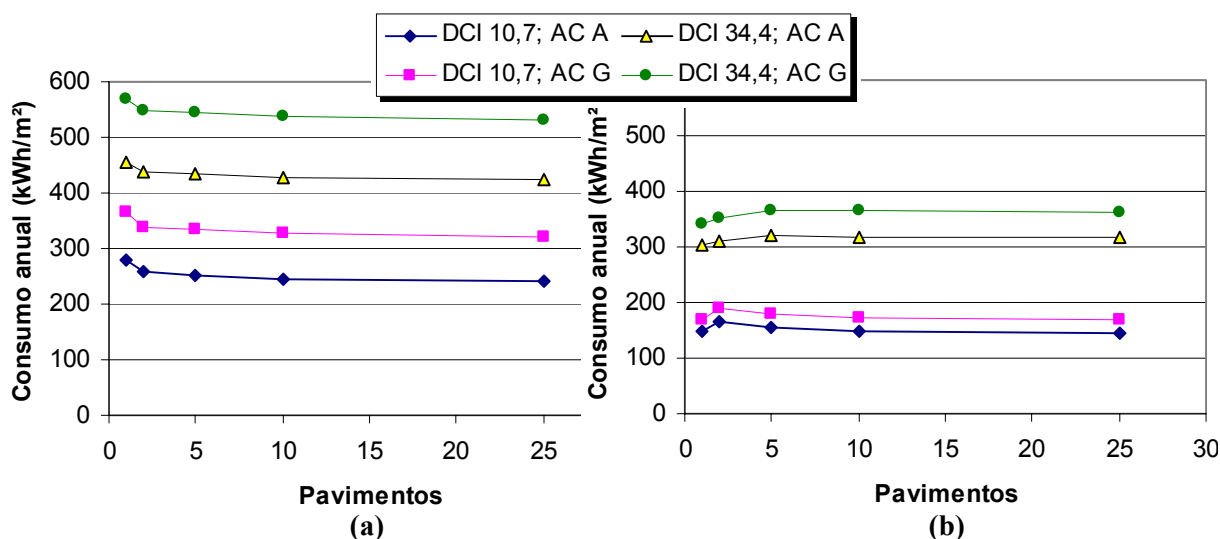


Figura 3 – Consumos anuais de energia elétrica pela área em função do número de pavimentos, usando edificações com ID 1 a 5, simuladas para o clima de Salvador (a) e Curitiba (b).

Já na Figura 3b, clima de Curitiba, a edificação com 1 pavimento apresentou consumos mais baixos que as demais, devido: ou aos ganhos de carga térmica pela cobertura, aquecendo o pavimento único, ou à perda da carga térmica interna dos casos com DCI de 34,4 W/m², reduzindo a carga deste mesmo pavimento único. Estes dois últimos casos citados ainda apresentam uma particularidade, o consumo se eleva com o aumento do número de pavimentos até 5 andares, em função desta elevada carga interna. Em seguida, como o restante dos casos, ele decresce, quase se estabilizando após atingir 10 pavimentos. Este fenômeno se repete nos demais modelos.

Ao analisar a Figura 4, em que os consumos são apresentados em função do Fator de Forma (A_{env}/V_{tot}), percebe-se que edificações menores consomem mais (Fator de Forma maior). No entanto, a

curva do crescimento do consumo é mais acentuada nas edificações cuja eficiência do ar-condicionado é A, ou seja, a volumetria influi mais no consumo quando a eficiência do sistema de condicionamento de ar é elevada. Há também um destaque do caso com Densidade de Carga Interna elevada ($DCI=34,4 \text{ W/m}^2$) e eficiência G do ar-condicionado, em que a curvatura é invertida em relação aos demais casos, tanto na Figura 4a como na Figura 4b. Este fenômeno indica uma alteração da sensibilidade do consumo à volumetria, melhor visualizado no próximo item.

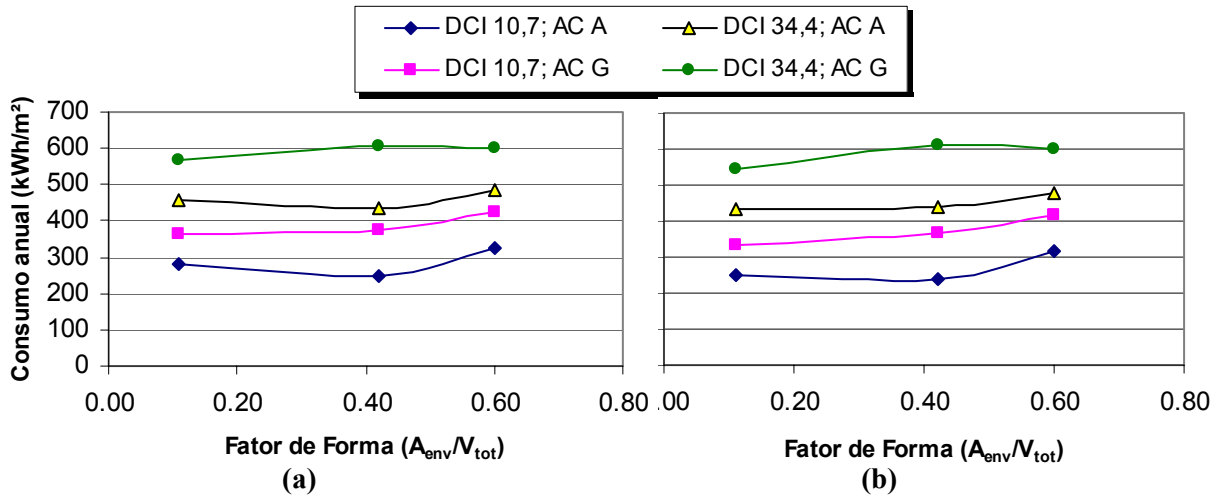


Figura 4 – Consumos anuais de energia elétrica pela área em função do Fator de Forma, para as edificações com ID 1, 6 e 12 de 1 pavimento (a) e com ID 3, 8 e 13 de 5 pavimentos (b).

4.2 Volumetria global da edificação

Cinco casos são mostrados, cada qual composto de um clima, uma eficiência do sistema de condicionamento de ar, uma carga interna e uma área de janela, e contendo os resultados do consumo anual de energia elétrica das 14 volumetrias.

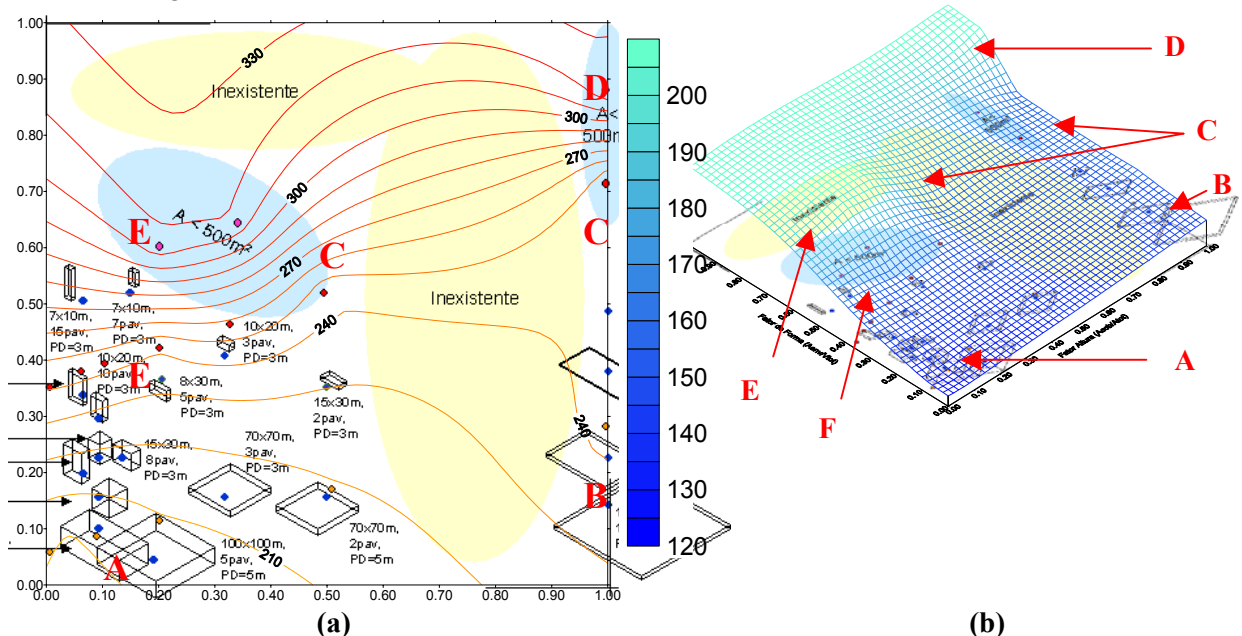


Figura 5 – Consumos anuais de energia elétrica pela área da edificação (kWh/m^2) de acordo com sua volumetria, vista das curvas de consumo (a) e vista ortogonal do gráfico (b).

Cada caso é mostrado em um gráfico tridimensional, cuja base é a Figura 2 e o eixo Z representa os consumos anuais de energia elétrica, interpolados a partir dos pontos laranja, vermelho e rosa. A Figura 5 apresenta o Caso 1 (Salvador, Eficiência A, $DCI = 10,7 \text{ W/m}^2$ e $PAF = 35\%$) em planta e no modelo tridimensional. Nela, percebe-se que edificações com plantas maiores e com grande número de

pavimentos apresentam os menores consumos de energia elétrica pela área ao longo do ano (edificações tipo A). Há um pequeno aumento deste consumo nas edificações cujas plantas têm grandes dimensões, porém possuem poucos pavimentos (edificações tipo B). Em seguida, existe outro aumento no consumo de energia de edificações com planta média e de poucos pavimentos, no máximo 3 (edificações tipo C), e este aumento torna-se bastante significativo caso as dimensões da planta sejam realmente pequenas, tanto no caso representado com um pavimento (edificações tipo D), como em edificações com mais de um pavimento (edificações tipo E e F).

Analisada a Figura 5, pode-se concluir que a sensibilidade do consumo de energia elétrica está relacionada a uma volumetria de pequenas dimensões. A influência da envoltória sobre a edificação é mais sentida em uma edificação de pequenas dimensões, cujo volume de ar a ser resfriado ou aquecido pelo sistema de condicionamento de ar é menor. Esta influência, entretanto, refere à situação descrita, e deve ser comparada às condições de contorno dos demais casos.

Para o clima de Curitiba, Zona Bioclimática 1 (Figura 6), a variação do consumo é semelhante à de Salvador, com apenas uma curvatura mais acentuada nas edificações do tipo C com 2 pavimentos, e nas edificações tipo F, região de transição de edificações de planta média para planta pequena. Em geral, pode-se notar que a variação climática brasileira não altera o impacto da volumetria no consumo de energia elétrica pela área, exceto pelo já demonstrado no item anterior (Figura 3).

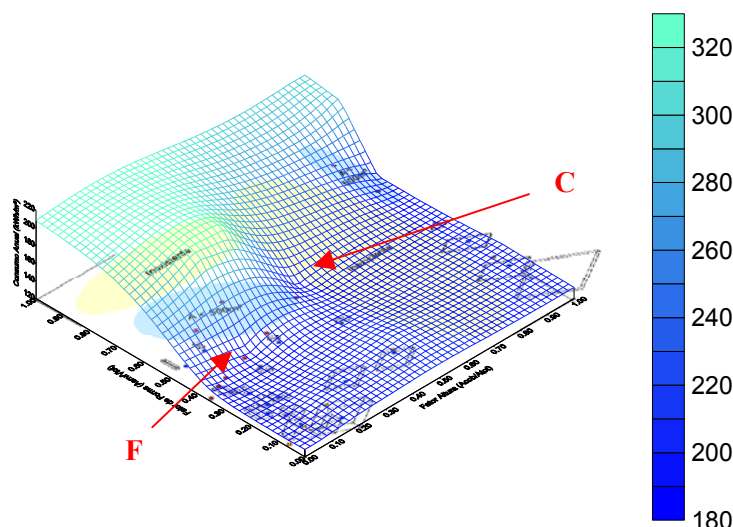


Figura 6 – Consumos anuais de energia elétrica pela área da edificação (kWh/m^2) para Curitiba, ar-condicionado de eficiência A, DCI de $10,7 \text{ W/m}^2$ e PAF de 35%.

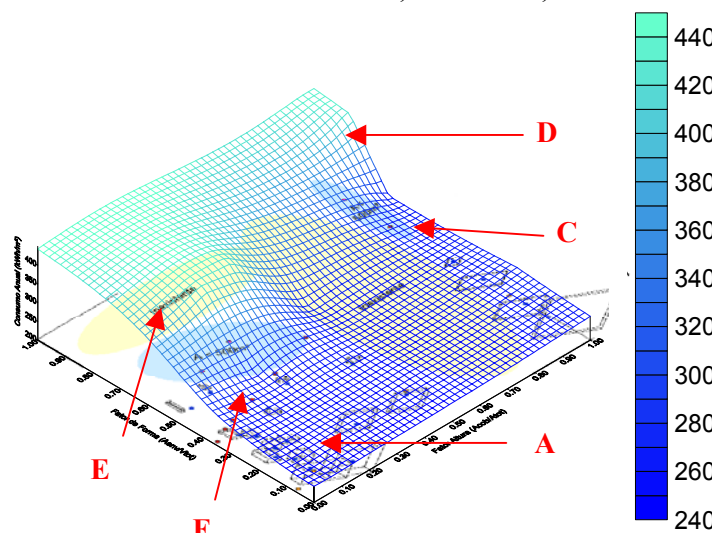


Figura 7 – Consumos anuais de energia elétrica pela área da edificação (kWh/m^2) para Salvador, ar-condicionado de eficiência A, DCI de $10,7 \text{ W/m}^2$ e PAF de 75%.

O mesmo ocorre para uma alteração na envoltória, mostrada na Figura 7. O Percentual de Área de Abertura na Fachada (PAF) de 75% não alterou significativamente a curva da superfície de consumo

se comparada à Figura 5. Apenas uniformizou os consumos das edificações tipo A com tipo F, ressaltando o consumo das edificações tipo E, cujo impacto de um aumento na área de vidro é mais perceptível. Pequenas edificações (tipo D), também foram ligeiramente mais diferenciadas do tipo C.

Entretanto, o aumento da densidade de carga interna, de $10,7 \text{ W/m}^2$ (Figura 5) para $34,4 \text{ W/m}^2$ (Figura 8) pode mascarar a sensibilidade da edificação a outros parâmetros. Isto também mostra que o impacto da volumetria no consumo de eletricidade é menos relevante quando as cargas internas são altas, porém a sistema de condicionamento de ar é eficiente. Embora exista tal impacto, este é menos diferenciado nas edificações de plantas pequenas, com um aumento linear do consumo de energia pela área das grandes edificações (tipo A) para as de muitos pavimentos porém com pequena área em planta (tipo E).

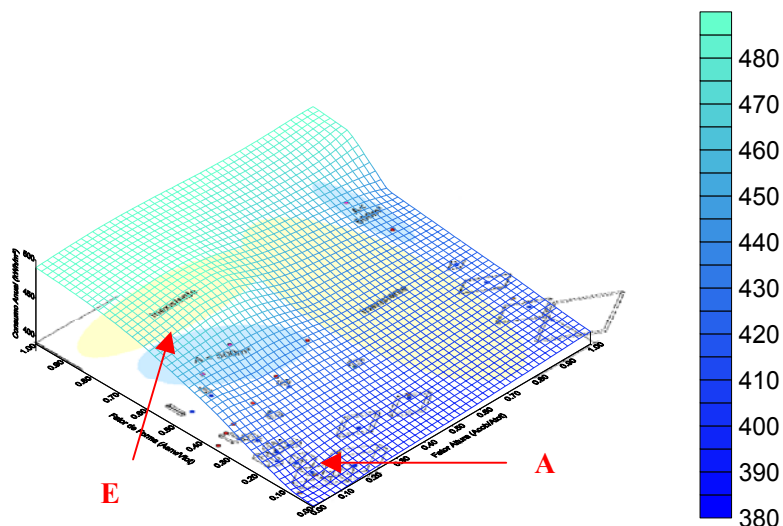


Figura 8 – Consumos anuais de energia elétrica pela área da edificação (kWh/m^2) para Salvador, ar-condicionado de eficiência A, DCI de $34,4 \text{ W/m}^2$ e PAF de 35%.

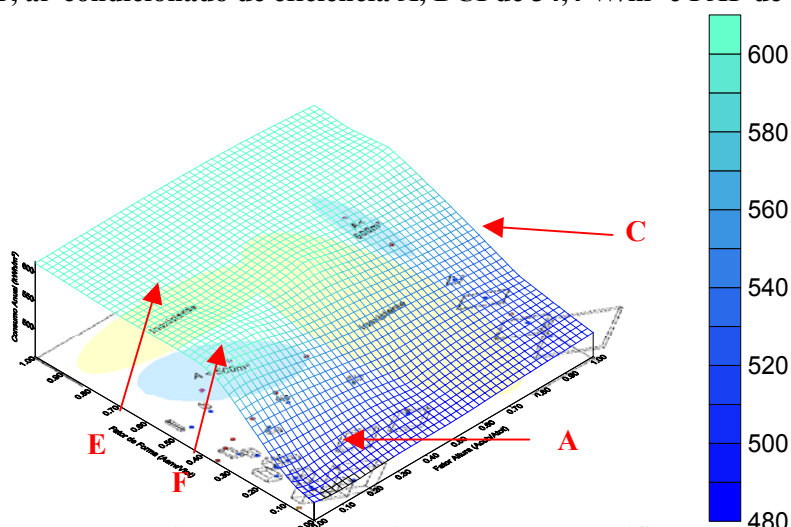


Figura 9 – Consumos anuais de energia elétrica pela área da edificação (kWh/m^2) para Salvador, ar-condicionado de eficiência G, DCI de $34,4 \text{ W/m}^2$ e PAF de 35%.

Ao contrário, quando se mantém uma carga interna elevada com um sistema de condicionamento de ar pouco eficiente, ou seja, DCI de $34,4 \text{ W/m}^2$ e eficiência G (Figura 9), a sensibilidade do consumo de energia à volumetria se resume praticamente a dois grandes grupos de edificações: de planta de grandes e de pequenas dimensões. As edificações de muitos pavimentos com planta média (tipo F) apresentam um consumo equivalente às de planta pequena (tipo E), com um consumo diferenciado apenas em edificações de grandes dimensões (tipo A). O número de pavimentos torna-se mais relevante, com uma tendência a que as edificações de planta média apresentem um menor consumo com um pavimento (tipo C). Este fenômeno pode ser explicado pela pouca relevância da carga térmica proveniente da cobertura frente às elevadas cargas internas, ou até mesmo pela perda de carga térmica interna pela cobertura, como citado.

Finalmente, foi realizada uma comparação com resultados oriundos da equação de Signor et al (2001) para o clima de Salvador, usando as características das edificações simuladas (Figura 10). Observa-se consumos mais baixos em relação à Figura 5, e uma uniformização da superfície de consumo, consequência típica do uso de uma equação. Enquanto edificações com volumetrias muito grandes ou muito pequenas (tipo A e tipo D) apresentam configuração semelhante ao simulado, tipos intermediários, como tipo B, apresentam diferenças mais significativas em função do número de pavimentos, o que demonstra que a equação não reproduz com fidelidade as variações da volumetria no consumo de energia elétrica. Já os baixos consumos eram esperados pois Signor et al (2001) utilizaram padrões de uso de edificações de escritório enquanto as simulações foram realizadas com padrões de uso mais amplos, envolvendo edificações de escritório e lojas comerciais.

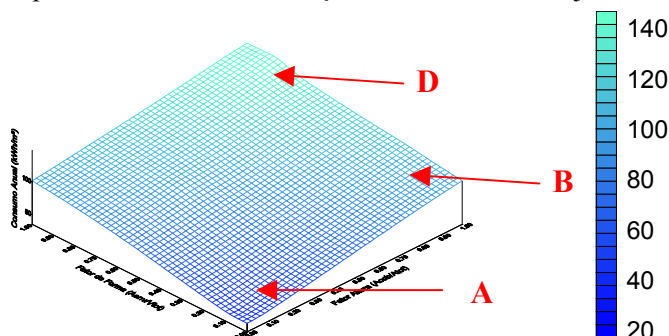


Figura 10 – Consumos anuais de energia elétrica pela área da edificação (kWh/m²) para Salvador, DCI de 10,7 W/m² e PAF de 35%, usando a equação de Signor et al. (2001).

5. DISCUSSÃO

O maior consumo anual de energia pela área de uma edificação de um pavimento em relação à de edificações idênticas com mais pavimentos foi perceptível no clima quente de Salvador, mas não se repetiu no clima frio de Curitiba. Além da influência do clima, pôde-se observar que as cargas internas alteraram a curva do consumo de eletricidade das edificações de até 5 pavimentos em Curitiba, mostrando uma perda de carga quando ela é elevada, de 34,4 W/m², se comparada a uma edificação com carga de 10,7 W/m². Tal fator demonstra que uma alteração no desempenho da edificação dependendo do clima, das cargas e do tipo de edificação, ressaltando que as propriedades térmicas da envoltória não foram alteradas.

De forma geral, edificações relevantes para a eficiência energética se encontram nas regiões C, E e F, devido à sua frequência na paisagem urbana. As pequenas edificações (tipo D e parte do tipo E), embora bastante comuns, não apresentam consumos de energia demasiadamente significativos devido à limitação pelas suas próprias dimensões. Ao contrário, edificações de grandes dimensões, (tipo A e B), embora pouco comuns na maioria das cidades brasileiras, apresentam um grande impacto e também merecem atenção. Em relação ao clima, percebeu-se que as alterações climáticas a que o Brasil está submetido não são suficientes para produzir grandes alterações no impacto da volumetria. No entanto, deve-se atentar para as especificidades das edificações consideradas médias.

Enfim, foi possível notar que as edificações com dimensões extremas (muito grandes ou muito pequenas) não apresentam alterações no impacto da volumetria no consumo de energia e, portanto, nos demais parâmetros que participam do desempenho energético. Excetuam-se as edificações de um pavimento, que sempre merecem atenção devido às trocas pela cobertura. No entanto, a sensibilidade do consumo a uma grande volumetria com 1 pavimento (tipo B), oriunda da equação de Signor et al. (2001), não se repetiu nas simulações no *Energy Plus*. Já as edificações de dimensões médias, seja no tamanho da planta ou no número de pavimentos, possuem volumetria com impacto variável no desempenho energético de acordo com outros parâmetros, e devem ser adotadas com os merecidos cuidados em simulações e avaliações energéticas.

6. CONCLUSÃO

A simulação de diversas edificações com volumetrias distintas mostrou como estas podem impactar o desempenho energético de acordo com algumas condições de contorno. Cinco condições distintas

foram mostradas, contendo diferentes eficiências do sistema de ar-condicionado, Densidades de Carga Interna (DCI) e Percentual de Área de Abertura na Fachada (PAF).

Foi notado que uma edificação de um pavimento nem sempre apresenta maior consumo de energia pela área que edificações idênticas de mais pavimentos. Além do tipo de edificação, pode depender da combinação do clima com as cargas internas, fator importante para ser considerado quando estudadas propriedades como transmitância térmica e capacidade térmica da edificação.

Cargas internas elevadas com sistemas de condicionamento de baixa eficiência foram as mais impactantes no desempenho térmico da edificação. Qualquer estudo envolvendo estas características deve ser direcionado com cuidado, pois a sensibilidade a outros fatores intervenientes no consumo será extremamente baixa.

Edificações de pequenas dimensões, independente do número de pavimentos (tipo D e E), são mais sensíveis à variação do consumo e mantêm-se sempre altas em relação às demais volumetrias submetidas às mesmas condições. Podem portanto, ser exploradas para obter grandes variações em função de outros parâmetros.

Por fim, os tipos de edificações mais comuns na paisagem urbana e que são de interesse para a eficiência energética (tipo F) apresentam grandes variações do impacto de sua volumetria no consumo em função das condições de contorno. Apresentam, assim, grande potencial para exploração em avaliações e pesquisas, desde que conhecidos e controlados os fenômenos que definem as demais condições de contorno.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (2001) “Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs”. ASHRAE Standard 140 - Atlanta. 91 p.

CARLO, J., LAMBERTS, R. (2001) . “Urban climate and its influence on energy consumption: a case study in two Brazilian cities”. In: Seventh International IBPSA Conference, Building Simulation 2001, *Proceedings...* Rio de Janeiro: IBPSA. pp.167-174

_____ (2006) “Elaboração de protótipos para simulação do desempenho termo-energético de edificações”. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. *Anais...* Florianópolis: ANTAC. pp. 152-161

GONÇALVES H., PANÃO, M. O., CAMELO, S., RAMALHO, A., GRAÇA, J. M., AGUIAR, R. (2004) *Ambiente construído, clima urbano, utilização racional de energia*. Lisboa: INETI, 58 p.

LAM, J. C., HUI, C. S., CHAN, A. L. S. “Regression analysis of high-rise fully air-conditioned office buildings”. In: *Energy and Buildings*. Oxford: Elsevier, 1997. pp 189-197

ORAL, G. K., YALMAZ, Z. (2003) “Building form for cold climatic zones related to building envelope from heating energy conservation point of view”. In: *Energy and Buildings*. Oxford: Elsevier, 2003. pp 383-388

PEDRINI, A., LAMBERTS, R. (2003) “Influência do tamanho e forma sobre o consumo de energia de edificações de escritório em clima quente. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído”. *Anais...* Curitiba: ANTAC, 2003. pp. 209-216

SIGNOR, R.; WESTPHAL, F.; LAMBERTS, R (2001). “Regression analysis of electric energy consumption and architectural variables of conditioned commercial buildings in 14 Brazilian cities”. In: Seventh International IBPSA Conference, Building Simulation 2001, *Proceedings...* Rio de Janeiro: IBPSA. pp.1373-1379