



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá  
Brasil

Lúcia Vendramin, Aurea; Melegari de Souza, Samuel Nelson; Sordi, Alexandre; Cruz Siqueira, Jair  
Antônio; Camargo Nogueira, Carlos Eduardo

Exame de caso sobre o método de graus-dia para avaliação do desempenho energético de uma  
edificação unifamiliar

Acta Scientiarum. Technology, vol. 31, núm. 1, 2009, pp. 9-14  
Universidade Estadual de Maringá  
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226523013>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

# Exame de caso sobre o método de graus-dia para avaliação do desempenho energético de uma edificação unifamiliar

**Aurea Lúcia Vendramin\*, Samuel Nelson Melegari de Souza, Alexandre Sordi, Jair Antônio Cruz Siqueira e Carlos Eduardo Camargo Nogueira**

*Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 2069, 85814-110, Cascavel, Paraná, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: aureavendramin@hotmail.com*

**RESUMO.** O presente trabalho utilizou o método de graus-dia para avaliação do desempenho energético de uma edificação unifamiliar ao mostrar que, na concepção de um projeto arquitetônico, devem ser sempre considerados os materiais empregados na edificação e o tamanho das aberturas. O desempenho energético foi obtido por meio do modelo de graus-dia, considerando-se a localização da residência unifamiliar nas cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu e Londrina. Para isso, foram obtidos os dados climáticos dessas localidades e, em um segundo momento, obteve-se o coeficiente total de perda de calor na edificação unifamiliar preestabelecida, avaliando-se, assim, as condições de conforto térmico e o desempenho energético da edificação. Observou-se que graus-dia de aquecimento, no inverno, são de 77,78 para Curitiba e de 0,00 para Foz do Iguaçu, na temperatura-base de 14°C, e que os graus-dia de resfriamento são de 30,17 no inverno. A energia consumida em Foz do Iguaçu para aquecer a residência é de 2.367,88 kWh anual e o consumo de energia anual para aquecer a residência em Curitiba é de 6.277,02 kWh, para ITA = 2 e 20% de abertura, com vidros duplos.

**Palavras-chave:** método graus-dia, coeficiente total de perda de calor, desempenho energético de uma edificação.

**ABSTRACT.** **Case analysis of the degree-days method for evaluating energy performance of a single-family construction.** The present work used the method of degree-days in order to evaluate the energy performance of a single-family construction by showing that, in conceiving an architectural project, the materials used in the construction and size of the openings must always be taken in consideration. The energy performance was calculated by means of the degree-days model, considering the localization of the single-family residence in the cities of Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu and Londrina. To that end, climatic data from those localities were obtained. Next, the total pre-established single-family construction heat loss coefficient was obtained, thereby evaluating the conditions of thermal comfort and energy performance of the building. It was observed that degree-days of heating in winter are 77.78 for Curitiba and 0.00 for Foz do Iguaçu, at the temperature base of 14°C. Degree-days of cooling are 30.17 in winter. The energy consumed in Foz do Iguaçu to heat the residence is 2367.88 kWh annually, and the annual consumption of energy to heat the residence in Curitiba is 6277.02 kWh, for ITA = 2 and 20% opening, with double pane.

**Key words:** degree-days method, total heat loss coefficient, energy performance of a construction.

## Introdução

A arquitetura tem que possuir três qualidades: durabilidade (técnica e resistência), conveniência (responder às necessidades dos usuários) e beleza (arte e estética).

Após a crise energética da década de 1970, o alto consumo energético para condicionamento térmico artificial adquiriu significativa importância, pelos problemas socioeconômico-ambientais inerentes, condição que encaminhou a arquitetura para um resgate histórico na sua relação com o meio

ambiente, situação conceitualmente clara, mas que, na prática, não se manifestou rapidamente. Tornou-se prioridade, em muitos países, a implantação de programas de conservação de energia e condicionamento térmico natural. Várias pesquisas são desenvolvidas nessa área, buscando, inicialmente, os parâmetros que possam balizar o conforto térmico humano. Segundo Gnoatto et al. (2008), a população mundial vem crescendo rapidamente e é necessário a busca de novas alternativas que visam o uso racional de energia.

Segundo Ghisi et al. (2007), o consumo de eletricidade residencial no Brasil teve aumento de 39 a 84 TWh por ano, entre 1987 a 2000, e as Regiões Sul e Sudeste são as principais responsáveis por esse aumento. O crescimento foi de 6,1% ao ano. Nesse estudo, eles observaram as variações do consumo de energia em função de zonas bioclimáticas no Brasil. Para o consumo de energia em regiões quentes, como Norte e Nordeste, localizadas na zona 8, observou-se variação, com o uso do ar condicionado, de 0,14 a 0,28 kWh dia<sup>-1</sup> e, na zona 2, região fria, como o Sul do Brasil, observou-se variação de consumo de energia de 0,02 kWh dia<sup>-1</sup>.

Por meio deste trabalho, com maiores conhecimentos, foram obtidos e apresentados diferentes elementos caracterizadores do desempenho térmico das edificações, definidores das condições térmicas internas das edificações, elementos estes determinados ao longo do processo pelo cálculo de graus-dia.

Com base neste conhecimento de causa, verificou-se a forma de aplicar os dados climáticos para projetos novos e para exame de construções existentes, considerando a abrangência, a funcionalidade do método e as precisões envolvidas, oferecendo respostas confiáveis. Entre os objetivos específicos, citam-se: a utilização dos dados de temperatura média para a obtenção dos graus-dia de aquecimento e resfriamento para partições anuais e partições sazonais nas cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu e Londrina; a determinação do Coeficiente Total de Perda de Calor (L), para uma edificação residencial unifamiliar; e a obtenção do consumo de energia da edificação para as partições preestabelecidas e localidades. Com isso, tem-se visão inicial do desempenho energético das edificações, de forma a compreender as diferentes exigências humanas inerentes à arquitetura e à engenharia, entendidas como uma manifestação humana que engloba ciência, tecnologia e arte.

A análise de energia desempenha papel importante no desenvolvimento de um projeto otimizado para uma edificação residencial e, até mesmo, de um edifício. Contudo, existem diferentes métodos de análise de energia, que variam em complexidade, tais como temperatura de projeto, graus-hora, temperatura BIN, mês climático de referência, ano climático de referência e dia típico de projeto. O método graus-dia é o mais simples entre todos os métodos e é limitado aos casos em que a eficiência dos equipamentos de aquecimento e resfriamento é constante. Para dados obtidos junto a estações meteorológicas, o método graus-dia apresenta maior facilidade para o tratamento de tais

dados para fins de simulação de desempenho energético em edificações (MARTINAITIS, 1998). Os requisitos mensais/anuais de resfriamento e aquecimento de residências, específicos em diferentes localizações, podem ser estimados por meio do conceito de graus-dia (ASHRAE, 2001).

O método graus-dia de cálculo da energia é baseado no princípio de que as perdas de energia da construção são proporcionais às diferenças de temperatura interna e externa. A energia é adicionada ou retirada da construção quando há perda para manter as condições ideais de conforto no ambiente durante as estações frias e quentes (DUFFIE; BECKMAN, 1991). De acordo com Durmayaz et al. (2000) e Sailor e Pavlova (2003), o número total de graus-dia de aquecimento pode ser expresso pela Equação 1:

$$ED = \sum_0^n (T_b - T_o) \quad (1)$$

em que:

'T<sub>b</sub>' são as temperaturas-base adotadas;

'T<sub>o</sub>' é a temperatura média das temperaturas externas medidas em uma estação meteorológica.

Portanto, graus-dia de aquecimento são calculados quando 'T<sub>o</sub> < T<sub>b</sub>' e de resfriamento 'T<sub>o</sub> > T<sub>b</sub>'.

A temperatura-base corresponde aos requisitos de conforto humano e varia de um lugar para outro, o que afeta a data inicial da construção da estação quente. Em geral, também é possível ajustar a temperatura dentro de cada intervalo de tempo como desejado, mas, em estudos práticos, é adotada mais frequentemente uma constante. A base e o desenho interno de temperaturas aéreas, que são mantidas constantes, são usados na Alemanha como T<sub>b</sub> = 15°C e T<sub>i</sub> = 20°C, juntamente com uma série de T<sub>o</sub>, variando seu tempo para este estudo. A partir dessa consideração, uma soma detalhada do conceito de graus-dia é apresentada por Durmayaz et al. (2000).

Segundo Sarak e Satman (2003), o Método de graus-dia foi usado para determinar o consumo de gás natural para aquecimento residencial na Turquia. No estudo, foram escolhidas cidades localizadas próximas aos gasodutos já existentes, em construção ou planejados. Graus-dia, população e registros da distribuição dos moradores dessas cidades foram utilizados para estimar a demanda por gás natural nacional. O estudo indicou que o consumo potencial na Turquia, em 2023, poderá ser de até 14,92 Gm<sup>3</sup>, se 100% das residências usarem gás natural para aquecimento. Os resultados permitem localizar a distribuição de demanda de energia e identificar as áreas nas quais o consumo é maior. O

método estimativo foi validado com sucesso, pela comparação com dados reais de consumo de gás natural para o aquecimento, no inverno, na Turquia. Neste país, o aquecimento, visando ao conforto, é feito por meio de aquecimento a gás, ao passo que no Brasil é por ar condicionado.

A temperatura-base, tradicionalmente usada, tem sido questionada por vários autores. Said et al. (2003) descobriram que uma temperatura-base de aquecimento na escala de 18 a 21°C é aceitável na Arábia Saudita, dependendo do seu nível de insolação. A temperatura-base de resfriamento recomendada fica entre 23 e 25,5°C para residências sem insolação e entre 25,5 e 27,8°C para residências bem ensolaradas. Kodah e El-Shawari (1990), recomendam que uma temperatura-base de aquecimento de 15,5°C na Jordânia é apropriada. Badescu e Zamfir (1999), relatam que uma temperatura-base de 18°C para cálculos de graus-dia de aquecimento é apropriada para salas-de-estar e banheiros na Romênia.

## Material e métodos

Neste estudo, temperaturas externas mínimas e máximas, entre os anos 1997 e 2006 (nove anos), foram utilizadas para a determinação dos graus-dia de resfriamento e aquecimento para as cidades de Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu e Londrina, todas do Estado do Paraná. Os dados foram obtidos junto ao Simepar (Tecnologia e Informações Ambientais), órgão vinculado ao governo do Estado do Paraná responsável pela aquisição de dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima. O Simepar possui estações meteorológicas instaladas nas principais cidades do Estado. Foram escolhidas as cidades mencionadas, pois localizam-se em diferentes partes do Estado do Paraná e apresentam condições climáticas diferentes.

Foram utilizados dados de temperaturas média diárias, medidos durante nove anos. Cinco temperaturas-base diferentes, entre 14 e 22°C, foram escolhidas no cálculo dos graus-dia de aquecimento. No caso dos graus-dia de resfriamento, seis diferentes temperaturas-base, na escala de 18 a 28°C, foram usadas.

As temperaturas aéreas externas registradas na estação meteorológica do Simepar, durante o período de 1997 a 2006, foram usadas para calcular o significado horário sobre os anos em questão de temperaturas aéreas externas ( $T_o$ ), para cada dia na estação quente; para cada hora do dia, as variações do total de duração e dos números totais de graus-dia de aquecimento na estação quente fornecida; a cada hora, a temperatura média em áreas externas sobre a estação quente.

O método graus-dia presume que as energias necessárias para uma residência são proporcionais à diferença entre a temperatura do meio (ambiente) e a temperatura-base (BÜYÜKALACA et al., 2001). A temperatura-base é a temperatura interna abaixo ou acima, cujo aquecimento ou resfriamento é necessário.

Graus-dia de aquecimento - HDD foram determinados usando a seguinte expressão:

$$\text{HDD} = \sum_0^n (\text{Tb} + \text{Tm})^+ \quad (2)$$

em que:

$\text{Tb}$  é a temperatura-base; e

$\text{Tm}$  é a temperatura média diária externa.

Graus-dia de resfriamento - CDD podem ser calculados de maneira análoga:

$$\text{CDD} = \sum_0^n (\text{Tm} - \text{Tb})^+ \quad (3)$$

O sinal positivo acima, entre os números nas Equações 2 e 3, indicam que somente as diferenças positivas devem ser somadas, o  $n$  é igual ao número de dias.

O coeficiente total de perda de calor ( $L$ ) depende da arquitetura da construção e dos materiais utilizados. Este estudo tomou como base a residência convencional localizada no Laboratório de Análise de Sistemas Alternativos de Energia no campus da Unioeste. Presume-se que a temperatura interna de  $\text{Tb} = 22^\circ\text{C}$  é mantida em cada espaço da residência. A dimensão externa da residência tem uma área de  $51,23 \text{ m}^2$ , altura de  $2,70 \text{ m}$  e o volume de fachada externa no valor de  $V = 138,32 \text{ m}^3$ , construída com tijolo deitado de seis furos, em Cascavel, Estado do Paraná, conforme Figura 1.

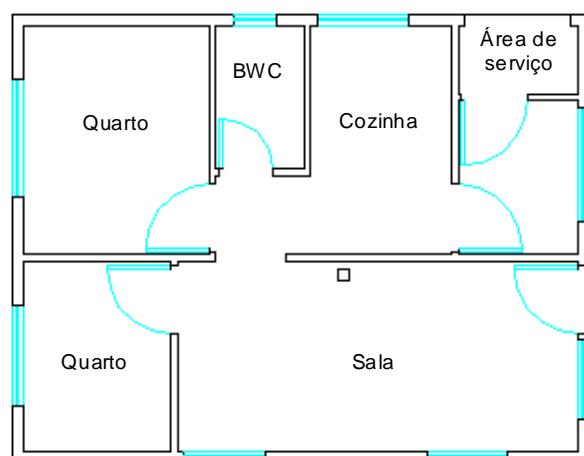


Figura 1. Planta baixa da residência.

As propriedades físicas e térmicas dos materiais de construção da edificação residencial são apresentadas na Tabela 1. Os valores fornecidos nesta tabela foram os dados-base para o cálculo do valor total da resistência termal para a laje, as paredes externas, o piso e as aberturas.

**Tabela 1.** Propriedades físicas dos materiais.

Elemento	Área	Material	U - Fator W (m <sup>2</sup> K) <sup>-1</sup>
Laje	51,23 m <sup>2</sup>	Pré-moldado	0,71
Paredes externas	138,32 m <sup>3</sup>	Tijolo seis furos -argamassa	0,86
Aberturas	20, 30, 40 e 50%	Vidro simples	5,91
		Vidro duplo	3,46
Piso	51,23 m <sup>2</sup>		0,12

Fonte: Durmazay et al. (2000).

Assumi-se, para efeitos de cálculos do trabalho, que a média estacional de troca de ar por hora ITA (Índice de Troca de Ar), pela ventilação e infiltração da edificação, pode ser, por exemplo, ITA = 0,5; ITA = 1,0; ITA = 1,5; ITA = 2,0. A área de aberturas de vidro é  $A = 9,97 \text{ m}^2$ , pode ser 20% ( $1,99 \text{ m}^2$ ), 30% ( $2,99 \text{ m}^2$ ), 40% ( $3,98 \text{ m}^2$ ) e 50% ( $4,98 \text{ m}^2$ ) da área total do exterior das paredes. Telhado, paredes externas e áreas de piso seguem:  $51,23 \text{ m}^2$ ,  $44,50 \text{ m}^2$ , e o volume total da edificação é  $V = 138,32 \text{ m}^3$ . Assim, o coeficiente total de perda de calor da edificação residencial  $L$  ( $\text{W} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ), para vidros individuais simples e duplos, mas considerando-se a porcentagem da área vidrada variando nas paredes exteriores, foi calculado com a Equação 4:

$$L = \sum UA + ITA \cdot (\delta Cp)_{ar} \times (V/3,6) \quad (4)$$

em que:

$U$  é o coeficiente global de transferência de calor ( $\text{W} \text{ (m}^2 \text{ K})^{-1}$ );

$A$  é a área dos ambientes ( $\text{m}^2$ );

$V$  é o volume da construção interna ( $\text{m}^3$ ), desde que a capacidade térmica volumétrica do ar seja  $(\delta Cp)_{ar} = 1,2 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ , em que  $\delta$  é a densidade de energia e  $Cp$  é o calor específico.

Usando HDD e CDD, o consumo anual de energia para aquecimento ( $Q_h$ ), em kWh, e os requisitos anuais de resfriamento ( $Q_c$ ), em kWh, podem ser calculados, respectivamente, como:

$$Q_h = L \times HDD \times (24/1000) \quad (5)$$

$$Q_c = L \times CDD \times (24/1000) \quad (6)$$

Nem todas as cidades do Estado do Paraná foram consideradas nos estudos existentes e, em alguns estudos, os resultados foram baseados nos dados

obtidos durante um curto prazo de tempo (somente alguns anos) ou os dados medidos nos anos recentes não foram usados. Em alguns estudos, os resultados foram apresentados somente por uma temperatura-base.

Para os cálculos e obtenção das curvas e simulações, foi utilizada a planilha Excel, em que foram armazenados os dados de temperaturas das cidades estudadas em interface com as equações de cálculo.

## Resultados e discussão

Utilizando as Equações 2 e 3, de graus-dia de aquecimento e resfriamento anual para várias temperaturas-base, foram obtidos, para cada cidade, no período de 1997 a 2006, os valores de graus-dia de aquecimento (HDD) e resfriamento. Primeiramente, para participação anual e, em seguida, para sazonal (outono, inverno, primavera e verão).

A Tabela 2 apresenta o aquecimento anual de graus-dia com as temperaturas-base, 14, 16, 18, 20 e 22°C. Diferenças significativas entre os valores de graus-dia de aquecimento para diferentes localizações são evidentes para a mesma temperatura-base. Por exemplo, o graus-dia de aquecimento anual para Foz do Iguaçu é de 114,18, enquanto para Curitiba é de 748,91, na temperatura-base de 18°C. Isto mostra que uma edificação em Curitiba precisa de 6,56 vezes mais energia de aquecimento que uma edificação localizada em Foz do Iguaçu, ambas com as mesmas características. Said et al. (2003) determinaram, para a cidade de Turoif, na Turquia, na temperatura-base de 18°C, um valor de graus-dia de aquecimento anual de 2.122. Observou-se que esse dado está próximo da temperatura-base de 22°C para a cidade de Curitiba. Pode-se observar que a cidade de Turoif tem temperaturas médias anuais menores nas estações que necessitam de aquecimento.

**Tabela 2.** Graus-dia de aquecimento, participação anual – HDD.

Temperatura	HDD				
	14	16	18	20	22
Média °C	14	16	18	20	22
Londrina	1,93	36,02	187,09	470,37	894,34
Cascavel	4,58	62,35	270,23	604,84	1070,37
Foz do Iguaçu	0,00	13,26	114,18	349,36	704,33
Curitiba	89,11	351,78	748,91	1246,73	1867,11

O resfriamento anual de graus-dia para temperaturas-base de 18, 20, 22, 24, 26 e 28, para quatro cidades do Paraná estudadas nesta pesquisa, é apresentado na Tabela 3. A análise revela que há diferenças significantes entre os valores de graus-dia de resfriamento para diferentes cidades na mesma temperatura-base, enquanto a necessidade de

resfriamento em Cascavel e Curitiba foi menor entre os anos analisados.

**Tabela 3.** Graus-dia de resfriamento, participação anual – CDD.

Temperatura	CDD					
	18	20	22	24	26	28
Média (°C)	18	20	22	24	26	28
Londrina	958,51	509,79	201,77	18,24	0,00	0,00
Cascavel	808,70	411,31	144,84	3,90	0,00	0,00
Foz do Iguaçu	1338,67	841,85	464,82	206,32	36,52	0,13
Curitiba	355,37	121,20	9,58	1,29	0,00	0,00

Observou-se que a necessidade de resfriamento é menor para Curitiba e Cascavel e maior para a cidade de Foz do Iguaçu, com um valor de graus-dia de resfriamento de 464,82, na temperatura-base de 22°C. Na temperatura-base de 24°C, não há necessidade de resfriamento para cidades como Cascavel e Curitiba, ou seja, há um gasto mínimo de energia. Said et al. (2003), para a cidade de Turoif, na Turquia, na temperatura base de 18°C, obtiveram graus-dia de resfriamento anual de 2.736. Na mesma temperatura-base, verificou-se que Foz do Iguaçu aproxima-se deste valor em termos absolutos.

As Tabelas 4 e 5 mostram o coeficiente total de perda de calor da edificação residencial 'L', o qual foi obtido pela Equação 4, considerando-se aberturas de vidros simples e vidros duplos para a planta apresentada na Figura 1.

**Tabela 4.** Coeficiente de transferência de calor em W °C<sup>-1</sup> – Vidros simples.

Abertura	ITA = 0,5	ITA = 1,0	ITA = 1,5	ITA = 2,0
20%	75,79	98,85	121,90	144,95
30%	81,70	104,76	127,81	150,86
40%	87,56	110,61	133,66	156,72
50%	93,47	116,52	139,57	162,63

**Tabela 5.** Coeficiente de transferência de calor em W °C<sup>-1</sup> – Vidros duplos.

Abertura	ITA = 0,5	ITA = 1,0	ITA = 1,5	ITA = 2,0
20%	70,92	93,97	117,03	140,08
30%	74,38	97,43	120,49	143,54
40%	77,80	100,86	123,91	146,96
50%	81,26	104,32	127,37	150,42

Com os resultados das Tabelas 4 e 5 e utilizando-se as Equações 5 e 6, foi possível estimar os gastos com energia para aquecimento ( $Q_h$ ) e para resfriamento ( $Q_c$ ), a partir dos valores de graus-dia de aquecimento (HDD) e resfriamento (CDD), para a participação anual.

Estimou-se, primeiramente, a energia para aquecimento anual das cidades estudadas, para temperaturas-base de 22°C, e obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 6. Quanto menor a troca de ar, menor será o consumo de energia para

aquecimento e, assim, quanto maior o consumo, maior a troca de ar. Quanto mais aberturas nas edificações, maior será a quantidade de massa de ar frio que penetra na edificação e que deverá ser aquecida, provando que a geometria arquitetônica e o tipo de material constituinte da edificação caracterizam o ambiente como maior ou menor consumidor de energia. As janelas de vidro duplo, por apresentarem resistência térmica maior, evitam a perda de calor e melhoraram o desempenho energético da edificação. Para as cidades de Curitiba e Foz do Iguaçu, considerando-se um índice de renovação de 0,5 e janela de vidro duplo, o consumo de energia para aquecimento estimado foi de 3.177,91 e 1.198,80 kWh, com Foz do Iguaçu consumindo 62% menos energia que Curitiba para aquecimento. Isso porque Foz do Iguaçu apresentou, durante os dez anos analisados, uma temperatura ambiente média menor, ou seja, menos graus-dia de aquecimento por ano. O aquecimento em questão deverá ser feito com aparelhos de ar condicionado.

**Tabela 6.** Consumo de energia para aquecer (em kWh) para várias trocas de ar (ITA).

Temperatura-base 22°C	Estimativa de consumo para aquecer (kWh)			
	Abertura de 20 %	ITA = 0,5	ITA = 1,0	ITA = 1,5
Foz do Iguaçu				
Vidros simples	1.099,31	1.433,68	1.768,04	2.102,40
Vidros duplos	1.198,80	1.588,50	1.978,19	2.367,88
Curitiba				
Vidros simples	3.396,39	4.429,42	5.462,46	6.495,49
Vidros duplos	3.177,91	4.210,95	5.243,98	6.277,02
Cascavel				
Vidros simples	1.947,07	2.539,28	3.131,5	3.006,25
Vidros duplos	1.821,82	2.414,04	3.006,25	3.598,47
Londrina				
Vidros simples	1.626,91	2.121,75	2.616,59	3.111,43
Vidros duplos	1.522,21	2.017,03	2.511,85	3.006,67

Estimou-se também a energia para resfriamento ( $Q_c$ ) das cidades estudadas, cujos resultados são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Consumo de energia para resfriar (em kWh) para várias trocas de ar (ITA).

Temperatura-base 22°C	Estimativa de consumo para resfriar (kWh)			
	Abertura de 20 %	ITA = 0,5	ITA = 1,0	ITA = 1,5
Foz do Iguaçu				
Vidros simples	845,54	1.102,71	1.359,89	1.617,06
Vidros duplos	791,15	1.048,32	1.305,50	1.562,67
Curitiba				
Vidros simples	17,43	22,73	28,03	33,33
Vidros duplos	16,31	21,61	26,91	32,21
Cascavel				
Vidros simples	263,47	343,61	423,75	503,88
Vidros duplos	246,52	326,66	406,80	486,94
Londrina				
Vidros simples	367,03	478,67	590,30	701,94
Vidros duplos	343,42	455,06	566,69	678,33

Em termos de utilização de janelas de vidro simples ou duplo, as cidades não apresentam variação grande no consumo de energia. Logo, podem-se adotar os vidros simples, que têm custo menor. O consumo por ano será de cerca de 6,9% a mais de energia (ITA = 0,5) para a cidade de Cascavel.

O consumo de energia anual para resfriamento de Londrina é maior que Cascavel, pois Londrina é mais quente, chegando a uma demanda de 39% maior que a de Cascavel (ITA = 2 e vidro simples).

Em termos de gasto com energia para resfriamento, a cidade de Foz do Iguaçu apresenta o maior consumo, com uma faixa de 845,54 a 1.617,06 kWh, quando comparada com Curitiba – entre 17,43 e 33,33 kWh –, uma cidade considerada de clima frio.

## Conclusão

Neste estudo, concluiu-se que a cidade de Foz do Iguaçu é a que apresenta o maior grau-dia de resfriamento, em torno de 464,82 na temperatura-base de 22°C e 1.338,67 na temperatura-base de 18°C, ou seja, localiza-se numa zona de temperaturas elevadas ao longo do ano. Na temperatura-base de 22°C, abertura de 20% e ITA = 2,0, o consumo de energia para resfriamento em Foz seria de 1.617,06 kWh. Comparando esse valor com os valores de consumo de outras cidades, observou-se que ele é expressivo.

A cidade de Curitiba seria a mais fria em comparação com as outras, com graus-dia de aquecimento de 89,11 a 1.867,11; se comparada a Cascavel, esse valor seria 74% superior. Com isso, para a temperatura-base de 22°C e ITA = 2,0, Curitiba necessita de 2.102,4 kWh de energia para aquecimento. A energia gasta com aquecimento é maior que com resfriamento, pelos gradientes maiores de temperatura no inverno em relação às temperaturas-base.

Observou-se que o consumo de energia varia em função das características arquitetônicas da residência, tais como a abertura das janelas e o tipo de vidro. De acordo com a sensibilidade das pessoas que habitam as residências, as temperaturas-base podem ser diferentes com o grau de exigência de conforto, o que leva a um maior ou menor consumo de energia para resfriamento ou aquecimento.

## Referências

- ASHRAE-American Society of Heating, Resfrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Handbook fundamentals**. Atlanta, 2001.
- BADESCU, V.; ZAMFIR, E. Degree-days, degree-hours and ambient temperature bin data from monthly average-temperatures (Romania). **Energy Conversion and Management**, v. 40, n. 8, p. 885-900, 1999.
- BÜYÜKALACA, O.; BULUT, H.; YILMAZ, T. Analysis of variable-base heating and cooling degree-day for Turkey. **Applied Energy**, v. 68, n. 3, p. 269-283, 2001.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal process's**. 2. ed. London: John Wiley and Sons, 1991.
- DURMAYAZ, A.; KADIOGLU, M.; SEN, Z. An application of the degree-hours method to estimate the residential heating energy requirement and fuel consumption in Istanbul. **Energy**, v. 25, n. 12, p. 1245-1256, 2000.
- GHISI, E.; GOSCH, R.; LAMBERTS, R. Electricity end uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 1, p. 1-10, 2007.
- GNOATTO, E.; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; FERRUZI, Y. Eficiência de um conjunto fotovoltaico em condições reais de trabalho na região de Cascavel. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2, p. 215-219, 2008.
- KODAH, Z.; EL-SHAARAWI, M. Weather data in Jordan for convencional and solar HVAC systems. **ASHRAE Transactions**, v. 96, n. 1, p. 120-129, 1990.
- MARTINAITIS, V. Analytic calculation of degree-day for the regulated heating season. **Energy and Buildings**, v. 26, n. 2, p. 185-189, 1998.
- SARAK, H.; SATMAN, A. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study. **Energy**, v. 28, n. 9, p. 929-939, 2003.
- SAID, S. A. M.; HABIB, M. A.; IQBAL, M. O. Database for building energy prediction in Saudi Arabia. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 1, p. 191-201, 2003.
- SAILOR, D. J.; PAVLOVA, A. A. Air conditioning market satulation and long term response of residential cooling energy demand to climate change. **Energy**, v. 28, n. 9, p. 941-951, 2003.

*Received on October 25, 2007.*

*Accepted on August 22, 2008.*

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.