



## **SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES NO PROGRAMA ENERGYPLUS UTILIZANDO DADOS DAS NORMAIS CLIMATOLÓGICAS**

**Fernando Simon Westphal; Roberto Lamberts**

Universidade Federal de Santa Catarina, CTC / ECV / LabEEE

Campus Universitário - Caixa Postal 476 - Florianópolis - SC

Fone: (48) 331-5184 | Fax: (48) 331-5191

E-mail: fernando@labeee.ufsc.br ; lamberts@ecv.ufsc.br

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta um método de simulação energética de edificações no programa EnergyPlus, utilizando dados das Normais Climatológicas para representar as condições ambientais externas. A estimativa do consumo de energia elétrica mensal é feita a partir da simulação do modelo com variáveis climáticas de dois dias típicos por mês. O método de cálculo já foi validado em um trabalho anterior, e para verificar sua eficácia ao aplicá-lo no EnergyPlus, no presente trabalho foram simulados seis modelos de edificação com clima de três cidades diferentes. O consumo estimado com os dados das Normais foi comparado com o resultado da simulação do mesmo modelo com o arquivo TRY da cidade correspondente. A diferença máxima obtida foi de 20,5% no consumo mensal e 9,7% no consumo de energia elétrica anual. Porém a representação da influência da radiação solar sobre o modelo precisa ser aperfeiçoada. A principal vantagem do método é a possibilidade de analisar o desempenho energético de edificações em 206 localidades brasileiras com dados climáticos disponíveis nas Normais, já que menos de 20 dessas cidades possuem um ano completo de dados horários (arquivo TRY com 8760 horas).

### **ABSTRACT**

This work presents a method for building energy simulation in the EnergyPlus program, by using of climatic data extracted from the Climatological Normals to describe the exterior environment conditions. The monthly electric energy consumption is predicted through the simulation of the building model with climatic parameters for two typical days per month. The calculation methodology was previously validated in another work, but the application in the EnergyPlus is tested here by the simulation of six models for three different sites. The energy consumption estimated with Normals data was compared to results obtained from the simulation of the same model with the TRY file for each location. The maximum difference in the monthly consumption was 20.5% and in the annual consumption was 9.7%. But the representation of the solar radiation influence over the building needs to be improved. The main advantage of the method is the possibility of analysis over the energy performance of buildings in 206 Brazilian locations with climatic data available in the Normals, as less than 20 of those cities has a complete year of hourly data (TRY file with 8760 hours).

### **1. INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, diversos programas de simulação térmica e energética de edificações foram desenvolvidos em diferentes países com o intuito de auxiliar arquitetos, engenheiros e projetistas na elaboração de edificações com maior nível de eficiência energética. Entretanto, nesse período, a utilização de tais ferramentas por profissionais e escritórios de projeto não teve crescimento tão expressivo quanto o aumento na quantidade de programas disponíveis. Um dos motivos para a fraca disseminação da simulação energética de edificações é a falta de arquivos de dados climáticos horários para diferentes cidades que possam ser utilizados pelos programas existentes. Atualmente, existem

apenas 14 arquivos de dados horários de cidades brasileiras (GOULART et al., 1998) no formato TRY (*Test Reference Year*): Belém, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Manaus, Natal, Porto Alegre, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo e Vitória. Porém, as Normais Climatológicas, publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1992), do Ministério de Agricultura e Reforma Agrária contém dados mensais sobre o clima registrado em 206 estações meteorológicas brasileiras. O uso dessa fonte de dados para análise energética em edificações foi explorado por Westphal (2002) em seu trabalho de mestrado e apresentado por Westphal e Lamberts (2004), de acordo com a norma ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2001) e com o método HVAC BESTEST (NEYMARK e JUDKOFF, 2002).

Um procedimento semelhante para cálculo de consumo de energia havia sido desenvolvido por Alvarez et al. (1985) a partir de dados climáticos simplificados, que resultou em valores de consumo mensal muito próximos aos estimados por um programa de simulação horária. No mesmo sentido, equações de regressão, como as apresentadas por Signor et al. (2001) também podem ser utilizadas para avaliar o impacto de características arquitetônicas no consumo de energia elétrica de edificações, ainda na fase de anteprojeto.

A dificuldade na obtenção de arquivos climáticos com dados horários para uso em simulação computacional levou Degelman (1991) a desenvolver uma metodologia para gerar anos completos de dados a partir de dados simplificados. Estimando o consumo anual de energia em edificações a partir de uma semana típica, Degelman (1997) conseguiu reduzir o tempo de processamento da simulação em 50% no programa DOE-2.1E, em uma época em que os microcomputadores não eram tão acessíveis e ágeis como atualmente. As diferenças obtidas entre o consumo anual estimado através dos dados simplificados e o consumo estimado através do ano climático completo (arquivo TMY com 8760 horas de dados) chegaram a 18%. Além de reduzir o tempo de simulação, permitindo análises rápidas, o uso de dados simplificados pode ser útil em regiões sem dados horários disponíveis. Entre as recomendações finais de seu trabalho, Degelman (1997) sugere que os programas existentes sejam adaptados para permitir a simulação com dados simplificados, além dos arquivos de dados horários.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é aplicar um método, já validado, de estimativa do consumo de energia elétrica de edificações através de simulação térmica e energética no programa EnergyPlus, usando-se dados das Normais Climatológicas para representar as condições climáticas de cada localidade.

## **3. METODOLOGIA**

A estimativa de consumo de energia elétrica de edificações através de dados climáticos simplificados adotada neste trabalho foi desenvolvida e validada por Westphal (2002) em sua dissertação de mestrado. Originalmente, o método foi aplicado em planilhas eletrônicas associadas à programação em linguagem BASIC, calculando-se a carga térmica na edificação através do Método das Funções de Transferência (*Transfer Function Method*), apresentado em ASHRAE (1997). A validação da metodologia foi feita através dos métodos BESTEST (ASHRAE, 2001) e HVAC BESTEST (NEYMARK e JUDKOFF, 2004), sendo que o primeiro é adotado pela ASHRAE (*American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) como norma de validação comparativa de programas de simulação do desempenho térmico de edificações. Os resultados da validação são apresentados por Westphal e Lamberts (2004), sendo que foram obtidos bons resultados para os modelos com paredes leves (baixa inércia térmica) e resultados pouco animadores para os modelos com paredes pesadas.

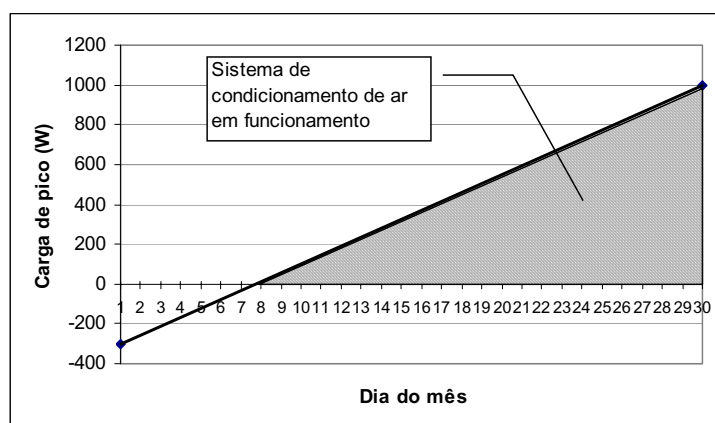
No presente trabalho, o método desenvolvido por Westphal (2002) é aplicado no programa de simulação horária EnergyPlus (CRAWLEY et al., 2000), possibilitando a análise energética de edificações para o clima de 206 localidades brasileiras listadas nas Normais Climatológicas (INMET, 1992). Uma síntese do método é apresentada, incluindo as considerações assumidas para adaptação ao programa EnergyPlus, uma ferramenta de simulação horária já validada e com diversos recursos, e que permite a análise térmica e energética de edificações através do cálculo do Balanço Térmico em todos os seus componentes construtivos a cada passo de tempo (*timestep*).

### 3.1 Estimativa de consumo de energia elétrica

O consumo de energia elétrica de cargas não dependentes do clima pode ser calculado através da multiplicação das horas de uso pela potência instalada do sistema. No EnergyPlus, esse cálculo é feito através da caracterização do padrão de uso (*schedules*), que representa o percentual da potência instalada de cada sistema (iluminação e demais equipamentos conectados a tomadas) que está sendo utilizado a cada hora ou intervalo de hora; e da potência total instalada em cada sistema.

A estimativa do consumo de energia elétrica de cargas dependentes do clima (componentes do sistema de condicionamento de ar) envolve outras variáveis além da potência instalada do sistema e suas horas de uso. Entre essas variáveis, cita-se: temperatura e umidade relativa do ar externo; radiação solar; velocidade e direção do vento; características do envelope da edificação (geometria, arquitetura e componentes construtivos); ocupação e carga instalada no interior da edificação; e as condições de uso e operação da edificação e seus diferentes sistemas.

Para estimar o consumo de energia elétrica de sistemas de condicionamento de ar a partir de dados climáticos simplificados, o método proposto por Westphal (2002) considera a simulação da edificação para as condições de clima de dois dias típicos por mês: "dia de pico", com a maior carga térmica registrada no mês; e o "dia de base", que representa o dia com o perfil de carga mais baixo do mês. O consumo de energia elétrica com condicionamento de ar (resfriamento) para o mês inteiro é obtido através de interpolação linear entre os dois extremos, conforme mostra a Figura 1. De acordo com o esquema apresentado no caso hipotético da figura, para calcular o consumo mensal de energia elétrica do condicionador de ar, na função de resfriamento, são computados apenas aqueles dias em que o pico de carga térmica é positivo (área hachurada).



**Figura 1 - Interpolação do consumo de energia elétrica em condicionamento de ar (resfriamento) entre dois dias típicos de um mês.**

O consumo horário de energia elétrica do condicionador de ar deve levar em consideração a carga térmica interna do ambiente naquela hora, pois se admite que quando a carga térmica for negativa – edificação perdendo calor para o exterior – o sistema de climatização não será acionado, mesmo que no padrão de uso esteja definido o seu funcionamento. Além disso, o desempenho do climatizador depende da carga térmica do ambiente, temperatura de bulbo seco na entrada do condensador e temperatura de bulbo úmido na entrada do evaporador. Para cada hora dos dois dias típicos, o consumo horário do condicionador é calculado em função dessas variáveis, através da simulação horária realizada pelo programa EnergyPlus. Determina-se o consumo de energia do condicionador durante o “dia de pico” e o “dia de base” somando-se o consumo registrado para todas as horas de cada dia. Se a carga térmica total máxima do “dia de base” for maior que zero, admite-se que o condicionador estará funcionando em todos os dias do mês. Caso a carga térmica máxima desse dia seja negativa, significa que em alguns dias do mês não é necessário o uso do condicionador na função de resfriamento, conforme apresentado na Figura 1. O número de dias em que o condicionador não precisa ser acionado (*DiasOFF*) é calculado de acordo com a equação 1.

$$DiasOFF = \left\lceil \frac{CargaMáximaBase}{\left( \frac{CargaMáximaPico - CargaMáximaBase}{nDias} \right)} \right\rceil \quad [1]$$

Onde *DiasOFF* é o número de dias do mês em que o condicionador de ar não funciona e *CargaMáximaBase* e *CargaMáximaPico* são a carga térmica total máxima, em W, do “dia de base” e do “dia de pico”, respectivamente. *nDias* é número total de dias do mês.

Para calcular o consumo de energia mensal do condicionador (*ConsumoAC*), em kWh, aplica-se a equação 2, na qual *ConsumoPico* e *ConsumoBase* representam, respectivamente, o consumo de energia do condicionador no “dia de pico” e no “dia de base”, ambos em kWh.

$$ConsumoAC = \frac{(ConsumoPico + ConsumoBase)}{2} \times (nDias - DiasOFF) \quad [2]$$

### 3.2 Dados climáticos utilizados

Para gerar os dias típicos (dia de pico e dia de base) que representarão as condições climáticas na simulação horária, são adotados os dados mensais de temperatura, umidade relativa, pressão e nebulosidade disponíveis nas Normais Climatológicas (INMET, 1992).

A simulação para os dias típicos é feita utilizando-se o objeto DESIGN DAY do programa EnergyPlus. Esse objeto é adotado pelo programa para desenvolver o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar do modelo, quando selecionada a opção AUTOSIZE para parâmetros específico do sistema, tais como: vazão de ar e capacidade de resfriamento. O programa utiliza o perfil de carga térmica estimado para cada dia de projeto (DESIGN DAY) para desenvolver o dimensionamento do sistema e em seguida realiza a simulação do desempenho global da edificação utilizando o arquivo climático com dados horários. O dimensionamento do sistema é feito sobre o maior pico de carga térmica verificado no ano (entre os dias de projeto inseridos), tanto para a condição de resfriamento quanto para a condição de aquecimento.

Para aplicar o método de estimativa de consumo a partir de dados climáticos simplificados, desenvolveu-se uma rotina (*script*) para gerar os 2 dias típicos de cada mês do ano para cada uma das localidades listadas nas Normais Climatológicas. Os dias foram montados utilizando os dados mensais:

- a) temperatura máxima absoluta;
- b) temperatura mínima absoluta;
- c) temperatura média das máximas;
- d) temperatura média das mínimas;
- e) nebulosidade média;
- f) pressão atmosférica média;

### 3.3 Aplicação prática no programa EnergyPlus

Para compor os dados climáticos necessários para a simulação de um dia de projeto, o EnergyPlus utiliza as variáveis listadas na Tabela 1. Os parâmetros apresentados em negrito correspondem às variáveis que foram alteradas na aplicação do método descrito neste trabalho. Os demais itens permaneceram constantes em todo o procedimento de simulação e cálculo.

A partir da temperatura de bulbo seco (TBS) máxima e da amplitude diária de temperatura, o programa geral o perfil horário para a TBS naquele dia. Assume-se que a temperatura máxima ocorra

às 15h e para as demais horas é aplicado um fator multiplicador sobre a amplitude para gerar um perfil senoidal de temperatura ao longo do dia (ENERGYPLUS, 2004).

**Tabela 1 - Lista de variáveis utilizadas no EnergyPlus para gerar um dia de projeto.**

VARIÁVEL	VALOR DE EXEMPLO
Nome do dia de projeto	Florianopolis_PicoJan
Temperatura de bulbo seco máxima [°C]	33,59
Amplitude diária da temperatura [delta °C]	6,6
Temperatura indicativa de umidade na máxima TBS [°C]	30,67
Pressão barométrica [Pa]	101.050
Velocidade do vento [m/s]	0
Direção do vento [m/s]	0
Índice de "limpidez" do céu ( <i>sky clearness</i> )	0
Indicador de chuva	0
Indicador de neve	0
Dia do mês	21
Mês	1
Tipo de dia	Wednesday
Indicador de horário de verão	0,
Temperatura indicativa de umidade	wet-bulb

Como TBS máxima considerou-se a temperatura correspondente à frequência de ocorrência de valores iguais ou inferiores a 95% para o "dia de pico" e 5% para o "dia de base". Aplicando-se o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov verificou-se, com 95% de confiabilidade, que as temperaturas mínimas e máximas diárias apresentam distribuição normal para 14 cidades brasileiras com dados climáticos horários em formato TRY disponíveis (WESTPHAL, 2002). Estatisticamente, as temperaturas máximas para os dias de pico e de base podem ser obtidas através das equações 3 a 6.

$$T_{picomax} = 1,645 \times S_{max} + T_{medmax} \quad [3]$$

$$T_{picomin} = 1,645 \times S_{min} + T_{medmin} \quad [4]$$

$$T_{basemax} = -1,645 \times S_{max} + T_{medmax} \quad [5]$$

$$T_{basemin} = -1,645 \times S_{min} + T_{medmin} \quad [6]$$

Onde  $T_{picomax}$  e  $T_{picomin}$  representam, respectivamente, as temperaturas máxima e mínima para o "dia de pico", assim como  $T_{basemax}$  e  $T_{basemin}$  representam as temperaturas máxima e mínima para o "dia de base".  $S_{max}$  e  $S_{min}$  representam, respectivamente, o desvio padrão das temperaturas máximas e mínimas diárias dentro de cada mês do ano.  $T_{medmax}$  e  $T_{medmin}$  correspondem às médias das temperaturas máximas e mínimas diárias. Os valores 1,645 e -1,645 são os valores da variável  $z$  (distribuição normal padronizada) para os quais há uma a probabilidade de 95% e 5% de ocorrência de valores de temperatura iguais ou inferiores ao valor calculado. O desvio padrão da temperatura máxima foi obtido dividindo-se a temperatura máxima absoluta por 2,99, pois de acordo com a distribuição normal padronizada, há uma probabilidade de ocorrência de 99,87% de valores iguais ou inferiores ao valor correspondente a  $z = 2,99$ , indicando que este corresponde ao valor máximo da distribuição.

A amplitude média diária foi considerada como sendo a diferença entre a temperatura média das máximas e mínimas, tanto para o dia de pico quanto para o dia de base de cada mês. A temperatura de

bulbo úmido indicativa do conteúdo de umidade à máxima temperatura foi calculada através de relações psicrométricas utilizando-se como dados de entrada os valores mensais de: TBS máxima, umidade relativa média e pressão barométrica média. O EnergyPlus utiliza esse valor de temperatura de bulbo úmido para calcular o conteúdo de umidade para o dia de projeto correspondente e o mantém constante ao longo do dia se o usuário não inserir outro padrão de comportamento para a umidade.

O índice de "limpidez" do céu representa o oposto do índice de nebulosidade apresentado nas Normais Climatológicas. Para o dia de pico de cada mês considerou-se valor 1,00, correspondente a céu completamente limpo. Para representar um céu parcialmente encoberto no dia de base, adotou-se o valor  $1,00 - \text{nebulosidade média mensal}$  como índice de "limpidez" (*sky clearness*).

### 3.4 Validação do método

Westphal e Lamberts (2004) validaram o método de estimativa de consumo de energia adotado neste trabalho através da norma *ASHRAE Standard 140* (ASHRAE, 2001) e do método HVAC BESTEST (NEYMARK e JUDKOFF, 2002) para validação de programas de simulação térmica de edificações. No presente trabalho, o método foi adaptado para aplicação prática em um programa de simulação horária: o EnergyPlus. Para verificar a eficácia do método na simulação realizada pelo programa, foram testados seis modelos de edificação em três climas diferentes: Florianópolis, Curitiba e Belém. Os valores de consumo mensal e anual de energia elétrica estimados foram comparados com os resultados de simulação horária usando-se arquivos climáticos completos (TRY com 8760 horas) para as mesmas cidades.

O caso base simulado possui 6 m de largura por 8 m de comprimento (48 m<sup>2</sup> de área), com pé-direito de 2,7 m e com a maior dimensão voltada para o norte. Nesta parede voltada para o norte há uma janela ocupando 50% da área da fachada. As paredes são constituídas de tijolos cerâmicos de 6 furos com reboco em ambas as faces, totalizando 15 cm de espessura, transmitância térmica de 2,24 W/m<sup>2</sup>.K e capacidade térmica de 167 J/m<sup>2</sup>.K. A cobertura é composta por telhas cerâmicas com uma barreira radiante (lâmina de alumínio polido) e laje de concreto mista (concreto armado e blocos cerâmicos) de 12 cm de espessura, totalizando transmitância térmica de 1,09 W/m<sup>2</sup>.K e capacidade térmica de 113 J/m<sup>2</sup>.K. A janela é constituída por vidro comum de 3 mm de espessura. A superfície externa na cobertura foi representada com absorptância à radiação de solar de 80%, correspondente à coloração da telha de barro. As paredes foram modeladas com absorptância de 20%, correspondente à tinta branca. No interior do modelo, foi considerada carga instalada de 15 W/m<sup>2</sup> para o sistema de iluminação e 5 W/m<sup>2</sup> para os demais equipamentos. Considerou-se também a presença de 2 pessoas, em horário de ocupação das 8h às 18h, totalizando 10 horas de uso, em todos os dias do ano. O modelo é atendido por um condicionador de ar de expansão direta (aparelho de janela) com índice de eficiência de 2,20  $W_{\text{térmico}}/W_{\text{elétrico}}$ , operando durante o horário de uso da edificação, para manter a temperatura interna a 24 °C. Considerou-se apenas o uso na função de resfriamento, sem aquecimento do ar interno durante o inverno.

A partir desse caso base foram simuladas outras 5 alternativas, variando-se características específicas do modelo para testar sua eficácia diante de diferentes condições. A Tabela 2 lista as alternativas simuladas e a variável alterada em cada caso.

**Tabela 2 - Casos simulados para cada cidade.**

<b>Modelo</b>	<b>Descrição do modelo</b>
<i>CasoBase</i>	Caso Base: modelo de 6x8 m e padrão de uso de 10h/dia, área de janela de 50%
<i>PadrãoUso</i>	Cargas internas, ocupação e condicionamento de ar operando 24 horas por dia
<i>Tamanho</i>	Modelo de 12 x 16 x 2,7 m, totalizando 192 m <sup>2</sup> (4 vezes a área do Caso Base)
<i>WWR</i>	Área de janela de 75% da fachada norte.
<i>AlfaCob</i>	Abortância da cobertura de 20% (pintura branca)
<i>Janelas</i>	25% de área de janela nas fachadas leste e oeste; sem janela na fachada norte.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Resultados para Florianópolis

As Figuras 2 a 7 apresentam o consumo mensal estimado pelo EnergyPlus para cada caso simulado com arquivo climático TRY da cidade de Florianópolis e com os dados das Normais Climatológicas. As curvas de consumo estimado com o arquivo TRY apresentam barras de erro de 20% para mais e para menos. Para todos os casos a diferença máxima mensal entre o valor estimado a partir dos dados simplificados e o simulado a partir do ano completo de dados não superou 20%, com exceção do modelo *WWR*, onde a diferença máxima chegou a 20,5% em junho. Para este modelo a diferença no consumo anual foi de 9,7% para o consumo estimado por simulação com o arquivo TRY.

Observa-se que as maiores diferenças no consumo foram obtidas para os meses de inverno e meia-estação, nos quais é mais difícil estimar quantos dias do mês o condicionamento de ar será acionado; e também são os meses em que há maior incidência de radiação solar na janela (fachada norte).

Nota-se que no modelo *AlfaCob* quando há menor influência da radiação solar, pois a cobertura da edificação possui acabamento na cor branca, as diferenças no consumo mensal diminuem. Para esse modelo, a diferença máxima mensal chegou a 11% e o consumo anual estimado através dos dados climáticos simplificados foi apenas 3,3% superior ao estimado através de simulação com o arquivo TRY. Mas a menor diferença no consumo mensal, de 7,9%, foi verificada para o modelo *PadraoUso*, no qual o padrão de uso das cargas internas e a ocupação são ajustadas para 24 horas por dia, ocasionando em menor influência do envelope na carga térmica total do modelo.

No modelo *Janelas*, no qual a janela é "retirada" da fachada norte e "distribuída" entre as fachadas leste e oeste, as diferenças no consumo mensal durante o inverno diminuem - quando há maior incidência de radiação solar na fachada norte - e as diferenças no consumo mensal durante o verão aumentam - quando há maior incidência nas fachadas leste e oeste.

Esse comportamento em relação ao efeito da radiação solar no modelo sugere que o método de estimativa de consumo a partir dos dados das Normais precisa ser aprimorado em relação à representação da influência da radiação solar através de simulação de dias típicos.

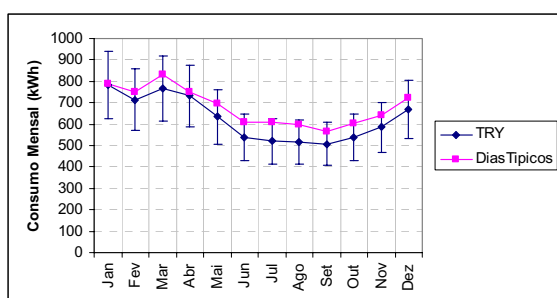


Figura 2 – Modelo: *CasoBase*, Florianópolis.

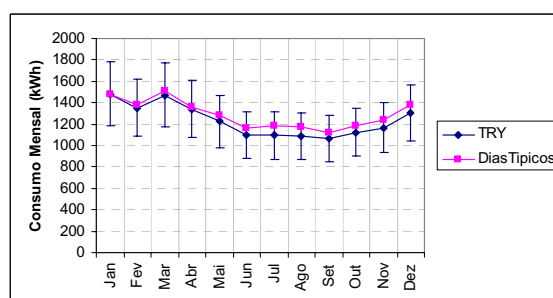


Figura 3 – Modelo: *PadraoUso*, Florianópolis.

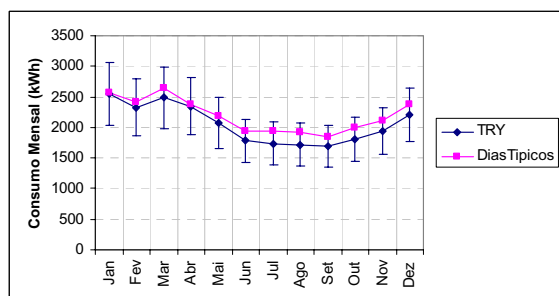


Figura 4 - Modelo: *Tamanho*, Florianópolis.

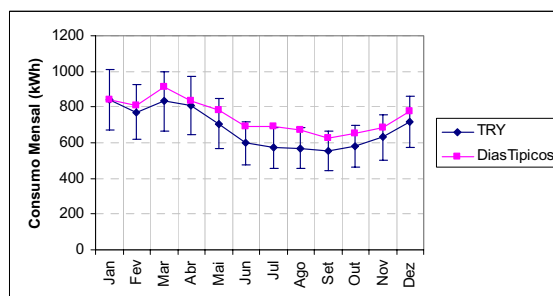


Figura 5 - Modelo: *WWR*, Florianópolis.

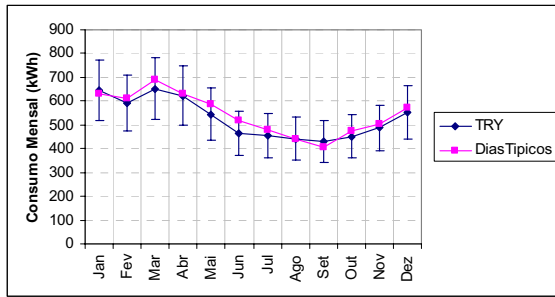


Figura 6 - Modelo: *AlfaCob*, Florianópolis.

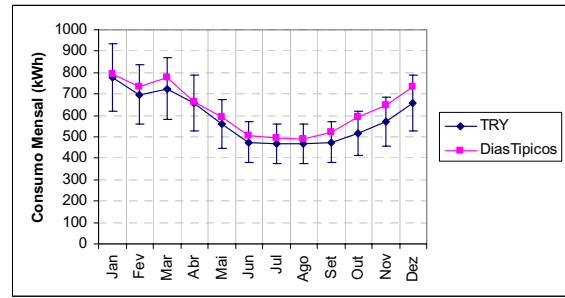


Figura 7 - Modelo: *Janelas*, Florianópolis.

## 4.2 Resultados para Curitiba

As Figuras 8 a 13 apresentam os resultados obtidos para Curitiba. Para esta cidade, com inverno mais rigoroso e menor necessidade de utilização do sistema de condicionamento de ar para resfriamento do modelo, a diferença entre o consumo mensal estimado com dados simplificados e com o arquivo TRY foi menor do que a verificada para a cidade de Florianópolis. Porém o mesmo padrão de diferenças foi verificado: maior no inverno e nos casos com maior influência da radiação solar. Novamente, a diferença máxima mensal foi registrada pelo modelo *WWR*, no mês de junho: 19,0%. Para este mesmo caso, a diferença no consumo anual foi de 4,6%.

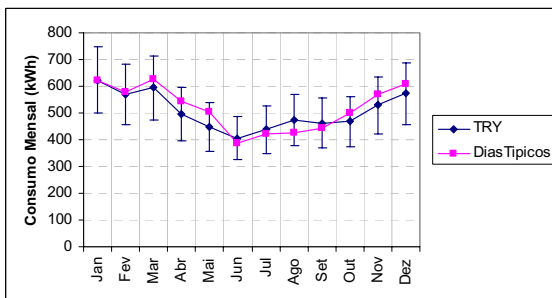


Figura 8 - Modelo: *CasoBase*, Curitiba.

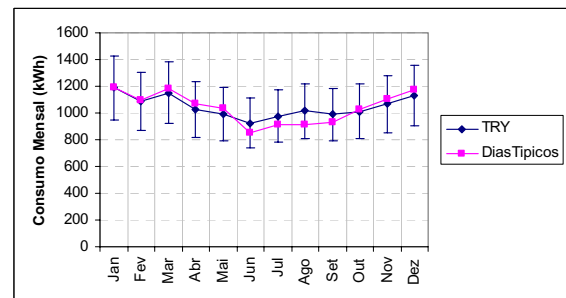


Figura 9 - Modelo: *PadraoUso*, Curitiba.

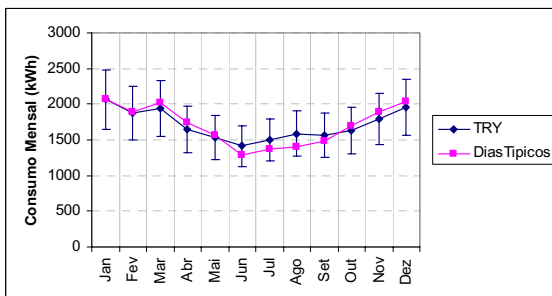


Figura 10 - Modelo: *Tamanho*, Curitiba.

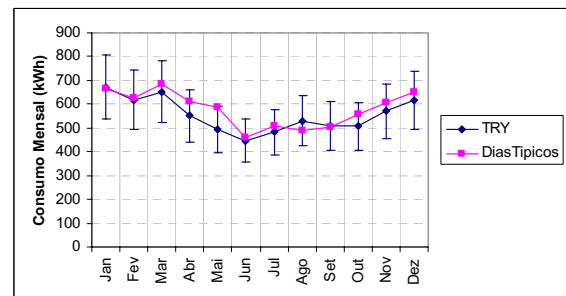


Figura 11 - Modelo: *WWR*, Curitiba.

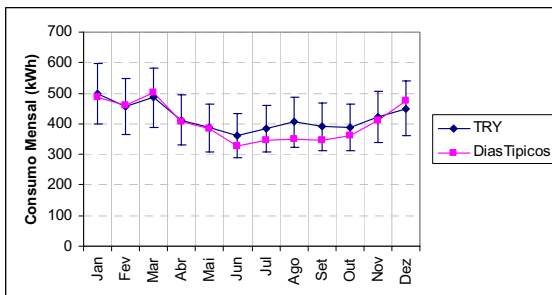


Figura 12 - Modelo: *AlfaCob*, Curitiba.

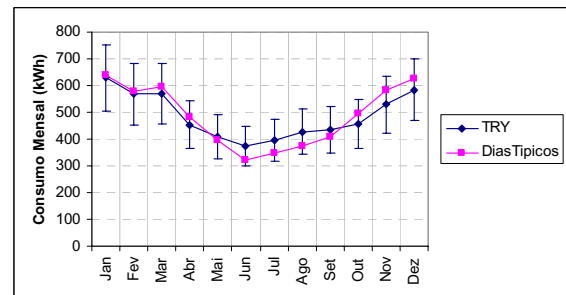


Figura 13 - Modelo: *Janelas*, Curitiba.



### 4.3 Resultados para Belém

As Figuras 14 a 19 apresentam os resultados obtidos para o clima de Belém, com temperaturas altas o ano inteiro e sem inverno característico. Mesmo assim, as maiores diferenças entre o consumo mensal estimado pelo uso de dados das Normais Climatológicas e pelo arquivo TRY foram verificadas para os modelos com maior influência da radiação solar: *WWR*, *Janelas* e *Caso Base*. A diferença máxima, como nos climas anteriores, foi verificada para o modelo *WWR* em junho: 10,9%. Para esse modelo a diferença no consumo anual de energia elétrica estimado foi de 0,9%.

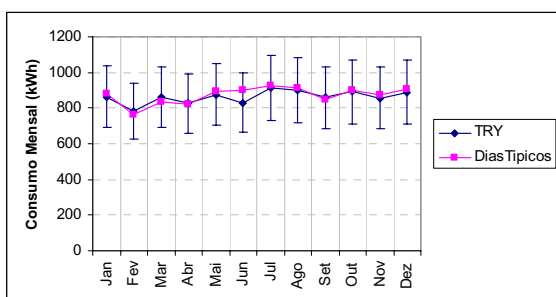


Figura 14 - Modelo: *CasoBase*, Belém.

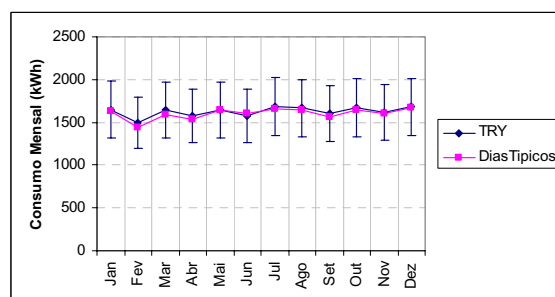


Figura 15 - Modelo: *PadraoUso*, Belém.

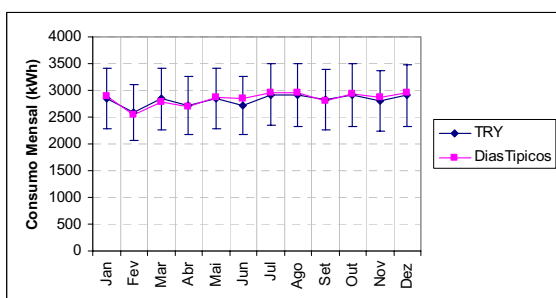


Figura 16 - Modelo: *Tamanho*, Belém.

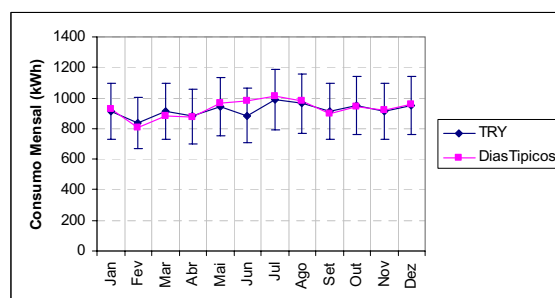


Figura 17 - Modelo: *WWR*, Belém.

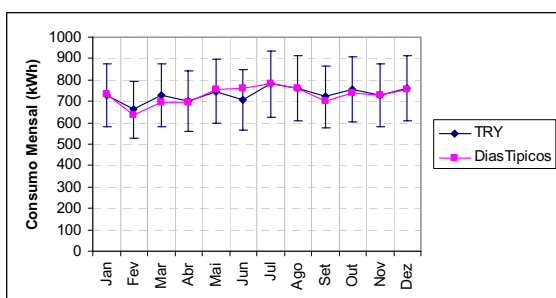


Figura 18 - Modelo: *AlfaCob*, Belém.

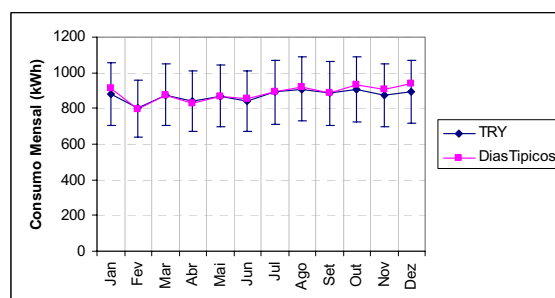


Figura 19 - Modelo: *Janelas*, Belém.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a aplicação de um método de estimativa de consumo de energia elétrica de edificações através de simulação térmica e energética no programa EnergyPlus, utilizando-se dados climáticos simplificados. A vantagem desse método é a possibilidade de analisar o consumo de energia elétrica de edificações para 206 localidades com informações disponíveis nas Normais Climatológicas. Entre essas cidades, menos de 20 possuem dados horários de um ano completo, que permitiriam a simulação energética em um programa como o EnergyPlus.

O método foi validado em um trabalho anterior, e para testar sua aplicação no EnergyPlus, foram simulados seis modelos diferentes com clima de três cidades brasileiras: Florianópolis, Curitiba e Belém. O consumo mensal de energia elétrica estimado de acordo com o método foi comparado com

os resultados de simulação horária utilizando-se arquivos TRY de cada uma das três cidades. Foram obtidas diferenças menores de 20% entre o consumo mensal estimado com dados simplificados e dados horários, indicando que o método pode ser aplicado para análise energética de edificações nas localidades listadas nas Normais. As maiores diferenças entre o consumo mensal foram identificadas nos meses de meia estação, em que é mais difícil estimar a quantidade de dias de operação do sistema de condicionamento de ar, e nos modelos que recebem maior influência da radiação solar na carga térmica total.

Como etapa futura deste trabalho, deverá ser desenvolvida uma adaptação ao método para simulação do consumo de energia elétrica de edificações com padrões de uso diferenciados entre dias úteis e finais de semana. Também deverá ser desenvolvido um procedimento de cálculo para estimativa do consumo de energia com sistema de aquecimento. Outros testes deverão ser feitos com modelos de edificações reais, com mais de um pavimento e mais de uma zona térmica por pavimento. A representação da radiação solar através de dados simplificados deverá ser melhor elaborada, podendo ser utilizados também os dados de radiação disponível no Atlas Solar brasileiro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Handbook of Fundamentals**. USA, Atlanta: ASHRAE, 1997.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ANSI/ASHRAE Standard 140-2001: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs**. USA, Atlanta: ASHRAE, 2001.

CRAWLEY, D. B. et al. EnergyPlus: Energy Simulation Program. **ASHRAE Journal**. Atlanta: ASHRAE, 2000, v. 42, p. 49-56.

DEGELMAN, L. A statistically-based hourly weather data generator for driving energy simulation and equipment design software for buildings. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE (BUILDING SIMULATION), 2, 1991, Nice, França. **Proceedings...** Nice: IBPSA, p. 592-599.

DEGELMAN, L. Examination of the concept of using “typical-week” weather data for simulation of annualized energy use in buildings. In: INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE (BUILDING SIMULATION), 5, 1997, Praga, República Tcheca. **Proceedings...** Praga: IBPSA, 1997. cód. P016. CD-ROM.

ENERGYPLUS. **Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus 2004**. 992 f.

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R; FIRMINO, S. **Dados climáticos de 14 cidades brasileiras para projeto e avaliação de sistemas de ar-condicionado**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas (1961/1990)**. Governo Federal, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 84 p.

NEYMARK, J.; JUDKOFF, R. **International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method for Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Equipment Models (HVAC BESTEST - Volume 1: Cases E100-E200)**. Technical Report NREL/TP-550-30152. United States: IEA/NREL, January 2002.

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

WESTPHAL F. S. **Desenvolvimento de um algoritmo para estimativa do consumo de energia elétrica de edificações não residenciais a partir de dados climáticos simplificados**. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 26 de junho de 2002. 94 f.

WESTPHAL, F. S., LAMBERTS, R. Simulação térmica e energética de edificações a partir de dados climáticos simplificados: validação através do método bestest. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 37-49, jul. / set. 2004.