

DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE AQUECIMENTO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NA CIDADE DE PORTO ALEGRE, RS, COM BASE NO PROCESSO SIMPLIFICADO DE ESTIMATIVA DA NORMA ALEMÃ ENEV 2007

Eduardo Grala da Cunha (1); Rodrigo Carlos Fritsch (2)

- (1) Doutor, Professor Adjunto, Faculdade de Engenharia e Arquitetura – Curso de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Passo Fundo, Brasil – egcunha@upf.br – bolsista CNPq
(2) M.Sc., Professor Assistente, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Curso de Arquitetura e Urbanismo, e-mail: rcfritsch@upf.br

RESUMO

Neste artigo é apresentada uma adaptação da prescrição normativa de economia de energia alemã EnEV (2007), mais especificamente na definição da necessidade de aquecimento em período frio para uma residência unifamiliar para a cidade de Porto Alegre, RS. Por intermédio da EnEV (2007) são definidos os processos de cálculo da energia primária necessária para edificações residenciais e não residenciais. A energia primária é o somatório da energia final, caracterizada pela necessária para o aquecimento de água, refrigeração, aquecimento do espaço interior, e funcionamento dos equipamentos de climatização, com a necessária para o ganho, transformação e transporte da energia gerada pela concessionária. Fazendo parte do cálculo da energia final encontra-se o calor necessário para o aquecimento do espaço interior (Q_h), oriundo da manutenção da temperatura interior da edificação constante em período frio, trabalhada neste artigo em três diferentes cenários (17°C , 19°C e 20°C), e em consonância com a NBR 15575 (2008), e a norma alemã DIN 4108-6 (2003). Foram adaptadas as variáveis presentes no processo simplificado de determinação da energia final para a cidade de Porto Alegre, RS, com ênfase na determinação do calor necessário para o aquecimento (Q_h). Para a análise do modelo adaptado foram desenvolvidas simulações para uma residência unifamiliar de 85 m^2 , com dois dormitórios, e com três diferentes configurações da envolvente exterior. Com base nas simulações realizadas verificou-se, inicialmente, a limitação do modelo de análise com base na determinação dos graus-dia, já que a sazonalidade de utilização dos espaços não é considerada, e por conseguinte, a ocupação diferenciada dos ambientes ao longo dos dias não surte efeito nos dados gerados, porém, as informações obtidas com o processo permitiram uma análise global bem sólida do consumo de energia para o período frio.

Palavras-chave: normatização, normas de desempenho térmico, normas de eficiência energética, normas DIN, EnEV 2007;

ABSTRACT

This paper presents an adaptation of the German energy normative prescription economy EnEV 2007, more specifically, to the definition of the heating need in the cold period to the city of Porto Alegre, RS. The calculation processes of the primary energy needed for residential and non residential buildings are defined through the EnEV 2007. The primary energy is the sum of the final energy characterized by the necessary for the water heating, cooling, internal space heating and the working of the acclimatization equipments, with the necessary one to the gain, transformation and energy transportation generated by the dealer. The heat necessary for the internal space heating (Q_h), originating from the maintenance of the internal temperature of the building, constant in the cold period, which was studied in this paper in three different sceneries (17°C , 19°C and 20°C), and in line with NBR 15575 (2008), Givoni (1992) and the German norm DIN 4108 (2003), is part of the calculation of the final energy. The variables presented in the simplified process of the final energy determination to the city of Porto Alegre, RS were adapted, with emphasis on the determination of the necessary heat for the heating (Q_h). Yet, simulations were developed to a unifamiliar residence of 85 m^2 , with two bedrooms and three different configurations of the external envelope for the analysis of the model adapted. Based on the simulations achieved, it was first verified the

analysis model limitation with base on the determination of the days-degrees, as the space use seasonality is not considered, and therefore, the differentiated occupation of the spaces over the days did not cause effect on the data created. However, the information obtained from the process has allowed a quite solid global analysis of the energy consumption for the cold period.

Key-words: standardization, thermal performance norms, energetic efficiency norms, norms DIN, EnEV 2007.

1. INTRODUÇÃO

Dentro do contexto das mudanças climáticas, discute-se na atualidade, a economia de energia nas edificações como uma das formas mais efetivas de redução da emissão de CO₂ na atmosfera. Muitos países apresentam prescrições normativas que regulamentam a eficiência energética das edificações. No âmbito brasileiro a discussão da normatização do desempenho térmico das edificações tem sido tema presente constantemente no âmbito acadêmico. Com a publicação das NBR 15220 (2005) e NBR 15575 (2008) os primeiros passos no sentido da padronização do desempenho térmico das edificações brasileiras estão sendo consolidados. Além disso, a recente aprovação da versão final em fevereiro de 2007 da Regulamentação para etiquetagem voluntária do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos MME (2007) é um importante passo no sentido da inserção do tema eficiência energética no cenário da construção civil nacional. Os exemplos, no âmbito da eficiência energética das edificações, dos países com normas já consolidadas são um importante instrumento de aprendizado para o caso brasileiro. Países como a França, os Estados Unidos, a Alemanha, entre outros, já estão desde a década de 1970 desenvolvendo sucessivas prescrições normativas objetivando a eficiência energética das edificações. A Alemanha em particular, tem obtido excelentes resultados no que tange à economia de energia oriunda do baixo consumo das edificações. Em torno de 29% da energia consumida na Alemanha é proveniente do setor de habitação, o qual por sua vez possui 49% do seu consumo caracterizado pelo aquecimento.

Entre 1990 e 2004, ou seja, dois anos posteriores à aprovação da primeira versão da EnEV (2007) - Lei de economia de energia - o país reduziu em 15% a emissão de CO₂, entre outras razões também, pelo aumento da eficiência das edificações e dos equipamentos de ventilação, refrigeração e aquecimento. No caso Alemão as normatizações iniciaram a partir de 1976 com a aprovação da primeira prescrição normativa de desempenho térmico das edificações, caracterizada como "Lei de economia de energia".

A proposta inicial foi definida com base na relação entre a área útil e o volume da edificação, caracterizando o índice de compactidade (A/V). Definido o índice de compactidade caracterizava-se o coeficiente global de transmissão térmica máximo da envolvente da edificação. As alterações normativas de 1982, 1989 e 1994, foram consecutivamente trazendo um aumento de performance para o desempenho térmico das edificações. Segundo a GRE (2002) o próximo passo foi considerar mais aprofundadamente a influência dos equipamentos no cálculo da necessidade de energia como também a incorporação no processo de quantificação energética da definição do conceito de energia primária, por intermédio da qual se passou a considerar a extração, a transformação e o transporte da energia no balanço energético das edificações. A nova normativa EnEV 2002 passou a ser um instrumento de projeto, não mais apenas um processo de comprovação. O novo ponto principal da EnEV (2007) foi a comprovação energética, que deixou de ser apenas para prédios novos, e passou a ser cobrada também para edificações existentes, segundo um cronograma relacionado à idade das construções como também à venda e ao aluguel das mesmas. Um segundo aspecto inovativo da EnEV (2007) foi o balanço energético para edificações não residenciais, considerando mais aprofundadamente as diferentes condições de uso, observando a iluminação, refrigeração e aquecimento, como também as condições microclimáticas desejadas no espaço interior. A EnEV (2007) considera no processo de cálculo da energia primária as necessidades energéticas em termos de aquecimento do espaço interior. O processo de cálculo é baseado na metodologia graus-dia, caracterizada no decorrer do trabalho.

O cálculo da energia necessária para aquecimento de edificações é uma proposta de contribuição na análise do desempenho térmico. Um outro aspecto a destacar na introdução é a crescente discussão evidenciada por Mendes et al. (2005) sobre o desempenho térmico de edificações, tanto no setor residencial quanto no comercial e público, responsáveis por uma grande parte do consumo de energia elétrica na maioria dos países. Como contribuição à discussão apresenta-se a norma EnEV (2007) com uma abordagem geral e se adapta o método de determinação da necessidade interna de aquecimento em período frio, com uma ênfase à adaptação dos parâmetros climáticos. Os dados referentes aos ganhos térmicos internos, neste primeiro ensaio, foram utilizados com base na norma alemã DIN 18599 (2005). A adaptação do modelo alemão de determinação da energia necessária para aquecimento, considerando o contexto do sul do Brasil, demanda

um entendimento inicial do processo prescrito pela norma de referência, como também uma adaptação para o contexto climático brasileiro.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar uma adaptação da prescrição normativa de economia de energia alemã EnEV (2007), mais especificamente, na definição da necessidade de aquecimento em período frio, com uma ênfase nas variáveis climáticas, para uma residência unifamiliar para a cidade de Porto Alegre, RS.

3. METODOLOGIA

O problema de pesquisa é definido pela seguinte questão: como a experiência alemã no que diz respeito à eficiência energética das edificações pode ser aproveitada no caso brasileiro, considerando: o contexto social, político e econômico de implantação; os aspectos técnicos; e a implantação da norma.

Neste artigo, a ênfase é dada aos aspectos técnicos, mais especificamente ao tratamento das variáveis climáticas, sendo caracterizada uma sugestão de análise para a determinação da energia necessária para o aquecimento de edificações em período frio, a partir do processo alemão oriundo da EnEV (2007). Para tanto são determinados os dados referenciais para a cidade de Porto Alegre, RS, item 5, e posteriormente, apresenta-se a simulação para uma edificação de 85 m², dois dormitórios, com três configurações diferenciadas da envolvente, item 6. Inicialmente, caracteriza-se o processo de determinação da energia primária da edificação, segundo a EnEV (2007), e posteriormente, apresenta-se a adaptação do processo simplificado alemão para o contexto do sul do Brasil no que diz respeito ao cálculo da energia necessária para o aquecimento.

O método de trabalho no processo de adaptação está dividido em 3 partes:

- 1) adaptação dos procedimentos de cálculo das perdas por transmissão e ventilação;
- 2) adaptação dos procedimentos para o cálculo dos ganhos térmicos;
- 3) aplicação do modelo adaptado com base na realização de Estudo de Caso.

Para que seja possível a determinação da necessidade de aquecimento é necessário observar a diferença entre as perdas e os ganhos térmicos. As perdas térmicas são caracterizadas pela transmissão térmica para o contexto exterior e solo e pelas perdas geradas pela renovação do ar interior. Já os ganhos térmicos são oriundos do uso do espaço interior e pela radiação solar direta.

3.1 Perdas por transmissão e ventilação

O cálculo das perdas térmicas por transmissão é determinado pelo somatório das perdas da envolvente somadas às das pontes de calor, definidas como partes da edificação em contato com o contexto exterior sem isolamento adequado. Normalmente, são determinadas como um valor adicional de 5% a 10% da perda térmica total por transmissão. As pontes de calor ocorrem em especial em determinadas partes da construção onde a resistência térmica é menor do que a de grande parte do fechamento, como por exemplo em vergas de portas e janelas, caixas de persianas, vigas e pilares. As perdas por transmissão são trabalhadas no processo de cálculo com a unidade W/K, ou neste caso de adaptação W/°C.

Para espaços ou locais adjacentes à construção e com uma temperatura entre a temperatura exterior e a interior são determinados coeficientes que procuram corrigir a consideração destes valores. Considerando a adaptação do processo para o caso de Porto Alegre, foi trabalhado um coeficiente para o piso de 0,15, diferentemente do processo de cálculo convencional onde o coeficiente é de 0,6. A proposta da consideração da transmissão pelo solo é embasada no trabalho de Bittencourt e Cândida (2008) os quais definem que a 0,5 metros do nível do solo a temperatura média é igual à temperatura média diária. Foram simuladas as perdas térmicas mensais provenientes das trocas térmicas do ar interior com o solo nos meses cujas temperaturas médias estiverem abaixo das temperaturas internas de análise, e considerando a temperatura interior caracterizada nos três cenários (17°C, 19°C e 20°C). Com base na simulação do coeficiente para o piso para os intervalos de 0,05, 0,1, 0,15, 0,20, 0,25 e 0,30, verificou-se que com o fator 0,15 a necessidade anual de aquecimento nas simulações das trocas térmicas com piso esteve num intervalo de variação de menos de 5% em comparação às simulações das perdas térmicas mensais, considerando a inércia do solo.

Um segundo aspecto a ser desenvolvido, e que por si só foi tema de um trabalho mais aprofundado, foi a determinação das classificações de intervalo da perda térmica relacionada à área do edifício (h), Equação 1.

$$h = (H_T + H_V)/A_N \quad (\text{Equação 1})$$

h – perda de calor unitária relacionada à área do edifício (W/K.m²);

H_T – perda térmica unitária por transmissão (W/K);

H_V – perda térmica unitária pela ventilação (W/K);

A_N – área útil (m^2).

Foram simuladas três configurações da envolvente de uma edificação com 3 dormitórios, 1 e 2 pavimentos, com $85 m^2$. As configurações diferenciaram-se no que diz respeito à resistência térmica da envolvente. A partir dessa análise determinaram-se dois intervalos para as perdas de calor unitárias relacionadas à área da edificação ($h \leq 5$ e $h > 5$). No caso alemão, em decorrência da elevada resistência térmica da envolvente das edificações, os intervalos trabalhados são $h < 2$, $2 < h < 4$, e $h > 4$. A perda de calor unitária relacionada à área do edifício (h - coeficiente global de transmissão térmico médio) é fundamental na determinação dos dados climáticos para a caracterização do número de graus-dia. Para as perdas em decorrência da ventilação (H_V) foram necessárias também adaptações. A taxa de renovação considerada no contexto alemão, varia segundo a DIN 4108-6 (2003) entre 0,5 e 0,7. Nesse sentido no caso do contexto alemão o coeficiente multiplicado pela área útil é 0,17, já no caso do sul do Brasil 0,34. No caso brasileiro, considerando $27 m^3$ /pessoa MS (1999), trabalhou-se com a taxa de renovação no período frio igual a 1. O algoritmo adaptado para a determinação das perdas por ventilação passou a ser caracterizada pela Equação 2.

$$H_V = 0,34 \cdot A_N \quad (\text{Equação 2})$$

3.2 Ganhos térmicos: uso do ambiente e radiação solar

Como fonte de calor interno, considerando o uso dos espaços interiores, foi trabalhado com o índice de $2,08 W/m^2$ DIN 18599 (2005) para residências unifamiliares. Para a determinação dos ganhos provenientes da radiação solar foi necessário, inicialmente, determinar o número de dias frios, ou seja, quando a temperatura esteve abaixo dos limites trabalhados (apresentados a seguir).

3.2.1. Determinação das temperaturas internas limite

Foram consideradas três diferentes temperaturas internas mínimas limite nas simulações. As mesmas estão próximas e também dentro da zona de conforto – $17^\circ C$ (NBR 15575), $19^\circ C$ e $20^\circ C$ (DIN 4108-6). Para cada uma das três situações simuladas foi definida a temperatura mínima limite, a qual é utilizada para a definição do número graus-dia, e posteriormente, o número de dias frios, e a necessidade de aquecimento (Qh). É definida considerando as fontes de calor internas e a radiação solar. A Equação 3 apresenta a definição da temperatura mínima limite (TML).

$$T_{ML} = T_M - 0,9 * (q_u + I_j * J_{ss} * P_c * \tau * J_t)/h \quad (\text{Equação 3})$$

T_{ML} – temperatura mínima limite, $^\circ C$;

T_M – temperatura mínima de referência (ABNT e DIN), $^\circ C$;

q_u – ganhos internos, $2,08 W/m^2$;

I_j – radiação solar, Wh/m^2 , junho;

J_{ss} – relação da superfície da janela por m^2 de superfície de área iluminada, ou área do compartimento;

P_c – área transparente da janela (m^2);

τ - transmitância do vidro;

J_t – coeficiente considerando a sujeira e sombreamento da janela;

Foram determinadas as temperaturas mínimas limites considerando as diferentes características da envolvente das edificações, ou seja, foram calculadas as T_{ML} para $h \leq 5$ e $h > 5$ ($h = 5, 7, 9$ e 11), conforme tabela 1.

3.2.2. Determinação da variável graus-dia (G_T) e do fator número graus-dia (F_{GT})

Para determinar o fator número graus-dia (F_{GT} - kKh/mês, $k^\circ Ch/mês$), necessário para caracterizar o aquecimento em período frio é preciso, inicialmente, calcular a variável graus-dia (G_T). A Equação 4 apresenta a determinação de G_T e a 6 de F_{GT} . De posse da variável F_{GT} (kKh/mês, $k^\circ Ch/mês$) e das perdas unitárias (W/K, $W/^\circ C$) é possível determinar a energia necessária para o aquecimento do espaço interior (kWh/mês, $k^\circ Ch/mês$).

$$G_T = \Sigma(T_M - T_{ML}) * n \text{ [Kh/mês, } k^\circ Ch/mês] \quad (\text{Equação 4})$$

G_T = Número graus-dia;

T_M – temperaturas médias horárias (ano de referência), $^\circ C$;

T_{ML} – temperatura mínima limite (3.2.1), $^\circ C$;

n = nº de ocorrências da temperatura “M”;

Com base na definição de G_T é possível determinar o número de dias de aquecimento por mês e o fator número graus-dia, Equações 5 e 6.

$$n_{\text{aquec}} = G_T/24 \text{ [dias]} \quad \text{(Equação 5)}$$

n_{aquec} = nº de dias de aquecimento por mês;

$$F_{GT} = G_T * 0,024 * 0,95 \text{ [kKh/mês, k°Ch/mês]} \quad \text{(Equação 6)}$$

F_{GT} = fator número graus-dia;

3.2.3. Determinação das irradiâncias

De posse do número de dias de aquecimento (n_{aquec}) nos meses mais frios, ou seja, considerando a temperatura abaixo dos limites observados, foi possível determinar a irradiância no período de aquecimento ($I_{\text{mês_orient}}$), Equação 7.

$$I_{\text{mês_orient}} = I_{\text{rmmmo}} \times n_{\text{aquec}} \quad \text{(Equação 7)}$$

$I_{\text{mês_orient}}$ = Irradiância média para determinada orientação para o período de aquecimento – [Wh/m²];

I_{rmmmo} = Irradiância média para determinada orientação [Wh/m²];

n_{aquec} = número de dias de aquecimento.

Foram determinadas a irradiância média para o número de dias de aquecimento para as orientações sul, norte, leste e oeste, como também para o plano horizontal.

3.2.4 Determinação da necessidade de aquecimento mensal

Com base na obtenção das variáveis referentes as perdas por ventilação e transmissão, como também dos ganhos referentes ao uso do ambiente, radiação solar e diferenças de temperatura é possível determinar a necessidade de aquecimento mensal, conforme Equação 8.

$$Q_h = F_{GT} * (H_T + H_V) - 0,95 * (Q_s + Q_i) \quad \text{(Equação 8)}$$

Q_h , H_p – necessidade de calor para aquecimento (kWh/a);

F_{GT} - fator graus-dia ($F_{GT}=66$ kKh);

H_T – perdas de calor específicas por transmissão (W/K, W/°C);

H_V – perdas de calor pela ventilação (W/K, W/°C);

η_{HP} – grau de utilização para ganhos térmicos ($\eta_{HP}=0,95$ – considera-se no modelo 5% de perdas de calor devido ao resfriamento noturno);

Q_s – ganho solar (kWh/a);

Q_i – ganho térmico interno (kWh/a).

3.3 Aplicação do modelo adaptado: Estudo de Caso

Para que fosse possível a análise da adaptação do processo de cálculo da energia necessária para o aquecimento de espaços interiores de edificações residenciais em Porto Alegre, RS, foi desenvolvido um estudo de caso. A edificação simulada foi uma residência unifamiliar com 85 m², dois dormitórios, com cobertura duas águas e pé-direito de 2,70 m. Foram simuladas três diferentes configurações quanto às características da envolvente das edificações, conforme Tabela 1. A resistência da envolvente foi sendo alterada nas três análises.

Tabela 1 – apresentação da aplicação do modelo adaptado em três diferentes configurações da envolvente

Aspectos analisados	CONFIGURAÇÃO 01	CONFIGURAÇÃO 02	CONFIGURAÇÃO 03
Características dos fechamentos	Parede de tijolo maciço, com 0,10 m de espessura; telha cerâmica, piso de concreto e esquadrias em vidro simples;	Parede de tijolo furado, 6 furos, com 0,26 m de espessura; telha cerâmica, esquadria em vidro duplo e piso em madeira;	Parede externa dupla, 6 furos, 0,46 m, com reboco nos dois lados; telha cerâmica com 5 cm de lâ de vidro sobre a laje de cobertura, janela em vidro duplo, e piso em madeira;
U_{parede} (W/m ² °C)	3,7	1,52	0,98
U_{telhado} (W/m ² °C)	1,84	1,84	0,62
U_{janelas} (W/m ² °C)	5,30	3,36	3,36

4. ENERGIEEINSPARVERORDNUNG, ENEV 2007 - PRESCRIÇÃO NORMATIVA ALEMÃ: ASPECTOS GERAIS

4.1 Conceitos básicos

Para entender a prescrição normativa é necessário, inicialmente, compreender as variáveis presentes no balanço energético da edificação. A prescrição normativa define a energia primária máxima anual por unidade de área para as edificações residenciais e não residenciais, apresenta o processo de cálculo e exigências construtivas a serem respeitadas.

A energia primária (Q_p) é caracterizada como a necessária para manter a ambiência do espaço interior compatível com as condições de conforto prescritos na norma e caracterizadas mais a frente, somada à energia perdida considerando o funcionamento dos sistemas, mais a necessária para o aquecimento da água de consumo, mais as perdas pela ventilação e transmissão, considerando ainda, os ganhos provenientes da radiação solar e do uso do ambiente, somada à necessária para o ganho, transformação e transmissão da energia proveniente da concessionária. A Equação 2 exemplifica a definição apresentada. Dentro do contexto da energia primária estão presentes a necessidade de aquecimento no inverno e de refrigeração no verão. A variável calor necessário para o aquecimento (Q_h) é caracterizada como a energia necessária para manter a temperatura desejada do ar interior no período de inverno. A variável energia necessária para o aquecimento (Q_w), destina-se ao aquecimento da água de consumo. A necessidade de energia final é definida como a soma de Q_w , Q_h e da energia perdida no funcionamento do sistema (aquecimento e manutenção). Dentro do balanço energético estão ainda presentes os ganhos de calor considerando o uso do ambiente, iluminação artificial, equipamentos e a radiação solar direta (Q_i e Q_s). As perdas de calor por transmissão e ventilação são caracterizadas por H_T e H_v . A Figura 1 apresenta esquematicamente as variáveis descritas. Ainda neste item é apresentado, de forma resumida, o processo de cálculo, objetivando possibilitar a compreensão geral da prescrição normativa.

A primeira etapa na definição da energia final é o cálculo do calor necessário para manter a ambiência do espaço interior compatível com a prescrição normativa. Para isso utiliza-se o chamado processo de balanço mensal, indicado quando a superfície transparente é inferior a 30% da fachada. A Equação 01 caracteriza o balanço mensal, que nada mais é do que a diferença entre as perdas por transmissão e ventilação e os ganhos pelo uso do espaço interior e pela radiação solar.

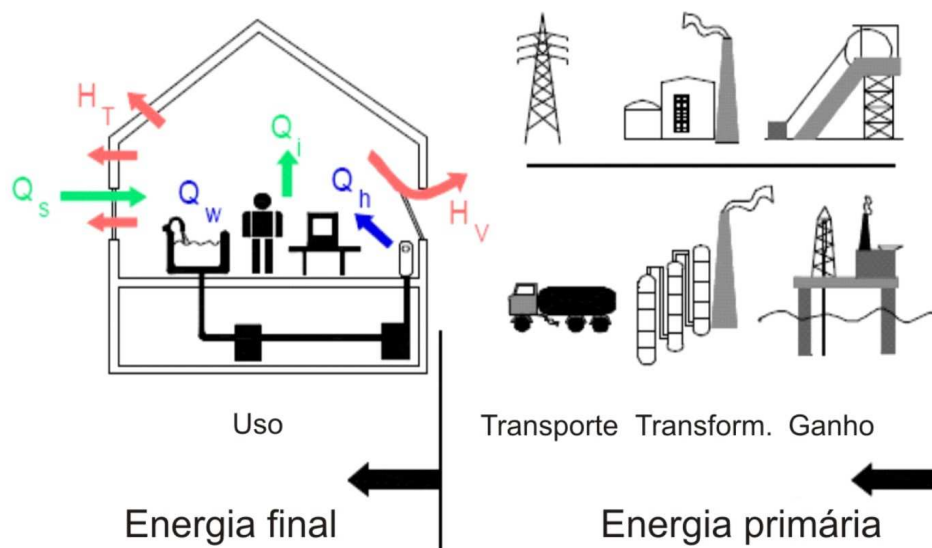


Figura 1 – Variáveis presentes no balanço energético da edificação
Fonte: adaptado e traduzido de Maas (2007)

Com base na definição da necessidade de aquecimento do espaço interior é possível calcular o calor necessário para o aquecimento da água de consumo, como também a energia primária, caracterizada na Equação 9.

$$Q_p = (Q_h + Q_{tw}) e_p \quad (\text{Equação 9})$$

Q_p – necessidade de energia primária (kWh/m²ano);

Q_h – necessidade de calor de aquecimento (kWh/ano);

Q_{tw} - necessidade de calor para água quente de consumo ($Q_{tw} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{ano}$);

e_p – coeficiente empregado para o equipamento.

Os princípios básicos de cálculo da prescrição de eficiência energética para edifícios residenciais são definidos pelas normas DIN 4108 parte 6 (2003), assim como DIN 4701 partes 10 (2003) e 12 (2004). De acordo com a DIN 4108 parte 6 (2003) são calculadas as perdas por ventilação e transmissão, como também os ganhos solares passivos e os devido as fontes internas de calor. Desta análise resulta a necessidade de aquecimento (Q_h). A necessidade de aquecimento para a água potável é fixada em $12,5 \text{ kWh/m}^2$.

5. ADAPTAÇÃO DO MODELO ALEMÃO

5.1. Determinação das temperaturas internas limite

Conforme caracterizada na metodologia de trabalho foram consideradas três diferentes temperaturas internas mínimas limite nas simulações. As mesmas estão próximas e também dentro da zona de conforto – 17°C (NBR 15575), 19°C e 20°C (DIN 4108-6). Para cada uma das três situações simuladas foi definida a temperatura mínima limite, a qual é utilizada para a definição do número graus-dia, e posteriormente, o número de dias frios, e a necessidade de aquecimento (Q_h), conforme Tabela 2. Ou seja, considerando as relações da resistência da envolvente da edificação com a área (intervalos “h”), como também os ganhos térmicos, conforme Equação 3, verificam-se as novas temperaturas internas de referência para a determinação da variável graus-dia. Nesse sentido, na Tabela 2 são apresentados os novos valores de referência para as temperaturas internas considerando os ganhos e perdas térmicas das diferentes relações entre a resistência da envolvente exterior e a área da edificação.

Tabela 2 – Cálculo das temperaturas mínimas limite (T_{ML})

Determinação da temperatura mínima limite - $\theta = 17^\circ\text{C}$ (NBR)			Determinação da temperatura mínima limite - $\theta = 19^\circ\text{C}$			Determinação da temperatura mínima limite - $\theta = 20^\circ\text{C}$ (DIN)		
h	5	15,00	h	5	17,00	h	5	18,00
T_{ML}		14,77	T_{ML}		16,77	T_{ML}		17,77
h	7	15,00	h	7	17,00	h	7	18,00
T_{ML}		15,41	T_{ML}		17,41	T_{ML}		18,41
h	9	16,00	h	9	18,00	h	9	19,00
T_{ML}		15,76	T_{ML}		17,76	T_{ML}		18,76
h	11	16,00	h	11	18,00	h	11	19,00
T_{ML}		15,99	T_{ML}		17,99	T_{ML}		18,99

5.2. Variáveis adaptadas para o caso de Porto Alegre

Com base no entendimento das variáveis envolvidas, como também na utilização dos dados de Goulart et al. (1998), foram gerados os dados para a cidade de Porto Alegre, com o objetivo de calcular a necessidade de aquecimento para o período de inverno. A Tabela 3 apresenta os dados calculados para o mês de junho. Os dados foram determinados para os 12 meses do ano.

É importante salientar que a ênfase dada à adaptação neste primeiro trabalho vincula-se às variáveis climáticas. Para o ajuste das perdas térmicas por transmissão foi necessária a adaptação da equação de referência com base na consideração das temperaturas do solo, referenciadas por Bittencourt e Cândida (2008), para o contexto do sul do país.

Para o caso das perdas por ventilação foi ajustada a equação alemã com base na consideração de uma renovação por hora do ar interior, referenciada pela NBR 15575 (2008), por Viegas (1996) e Toledo (1999). No que diz respeito aos ganhos térmicos provenientes da radiação solar, com base na utilização do software Luz do Sol, Roriz (1995), foram determinadas as irradiâncias diárias para a latitude 30°C .

Tabela 3 – Determinação dos dados fonte para a caracterização da necessidade de aquecimento

Dados climáticos padrão - mês de junho								
Perdas térmicas relacionadas à área útil e temperatura	$h = (HT + HV) / AN$	≤ 5	> 5 (9)	≤ 5	> 5 (9)	≤ 5	≤ 5 (9)	W/(m²°C)
Temperatura Limite T_{ML}	U_{Hq} =	15 °C	16°C	17 °C	18°C	18 °C	19°C	°C
Duração do período de aquec.	t_{HP} =	14	17	21	23	23	25	d/m
Número graus-dia	G_t =	44,26	61,72	83,11	106,35	106,35	131,43	Celsius d/m
correspondente Fator número graus-dia	F_{GT} =	1,06	1,48	1,99	2,55	2,55	3,15	k°C/m
considerando o resfriamento noturno	U_{Hq} . F_{GT} = 0,95 . F_{GT} =	1,01	1,41	1,89	2,42	2,42	3,00	k°C/m
Radiação solar no período de aquecimento								
Sudeste até sudoeste		6,1	7,4	13,0	13,1	13,1	15,1	KWh/m ² m
Noroeste até Nordeste		91,9	111,6	161,3	159,0	159,0	182,9	KWh/m ² m
Outras Orientações		32,7	39,7	75,1	76,2	76,2	87,7	KWh/m ² m
Superfícies de telhado com orientação < 30°		66,9	81,3	153,2	157,4	157,4	181,0	KWh/m ² m
		θ = 17°C NBR 15575		θ = 19°C		θ = 20°C DIN 4108		

6. APLICAÇÃO DO MODELO ADAPTADO: ESTUDO DE CASO

Nas Figuras 2, 3 e 4, e Tabela 4, observa-se a energia necessária mensalmente para o aquecimento das três configurações, considerando a manutenção da temperatura interna em 17°C. A configuração 3 com a envolvente possuindo uma maior resistência térmica apresentou uma menor necessidade de aquecimento, chegando Q_h a respectivamente 240,58 kWh/ano, 727,38 kWh/ano e 1289,07 kWh/ano para a manutenção das temperaturas internas em 17°C, 18°C e 20°C respectivamente. Esses resultados indicaram uma necessidade de aquecimento por unidade de área, Q_h', na faixa de 3,3 kWh/m²ano, 9,9 kWh/m²ano e 17,6 kWh/m²ano respectivamente.

Observando as Figuras 2, 3 e 4 verificam-se as maiores necessidades de energia para o aquecimento do espaço interior nos meses de junho e julho, o que é previsível, considerando a análise prévia das temperaturas médias. Para a configuração 1 é necessário o aquecimento do espaço interior entre os meses de abril e outubro. Já para a configuração 2, o período de aquecimento é um pouco menor, entre maio e agosto. Para a configuração 3 o período de aquecimento compreende apenas os meses de junho e julho. Ou seja, para a configuração 1 seria necessário o aquecimento, considerando a manutenção da temperatura interior em 17°C, em praticamente 7 meses do ano, enquanto que para a configuração 3, esse período seria de apenas de 2 meses. Um aspecto marcante na análise é a diferença entre a necessidade de aquecimento para a configuração 1, muito recorrente em habitações de interesse social, com paredes de tijolo maciço com 10 cm de espessura, e a configuração 3, com uma maior inércia térmica e de melhor padrão construtivo, chegando próximo dos 1800% de economia.

Tabela 4 – apresentação da aplicação do modelo adaptado em três diferentes configurações da envolvente

Aspectos analisados	CONFIGURAÇÃO 01			CONFIGURAÇÃO 02			CONFIGURAÇÃO 03		
H _T (W/°C)	790,49			484,28			282,21		
H _V (W/°C)	62,42			62,42			62,42		
h (W/m ² °C)	11,61			7,44			4,69		
Q _i (kWh/mês)	134,34			134,34			134,34		
Necessidade de calor de aquecimento para as 3 configurações kWh/ano - Q_h									
Temperatura x características da envolvente	17°C	18°C	20°C	17°C	18°C	20°C	17°C	18°C	20°C
(Q_h) h < 5 (kWh/ano) Configuração 03	-	-	-	-	-	-	240,58	727,38	1289,07
(Q_h) h > 5 (kWh/ano) Configurações 01 e 02	4661,96	8842,41	11573,14	1858,94	4091,42	5595,60	-	-	-
Necessidade de calor de aquecimento para as 3 configurações - kWh/m²ano - Q_h'									
Temperatura x características da envolvente	17°C	18°C	20°C	17°C	18°C	20°C	17°C	18°C	20°C
(Q_h') h < 5 (kWh/m²ano) Configuração 03	-	-	-	-	-	-	3,3	9,9	17,6
(Q_h') h > 5 (kWh/m²ano) Configurações 01 e 02	63,50	120,4	157,6	25,3	55,7	76,2	-	-	-

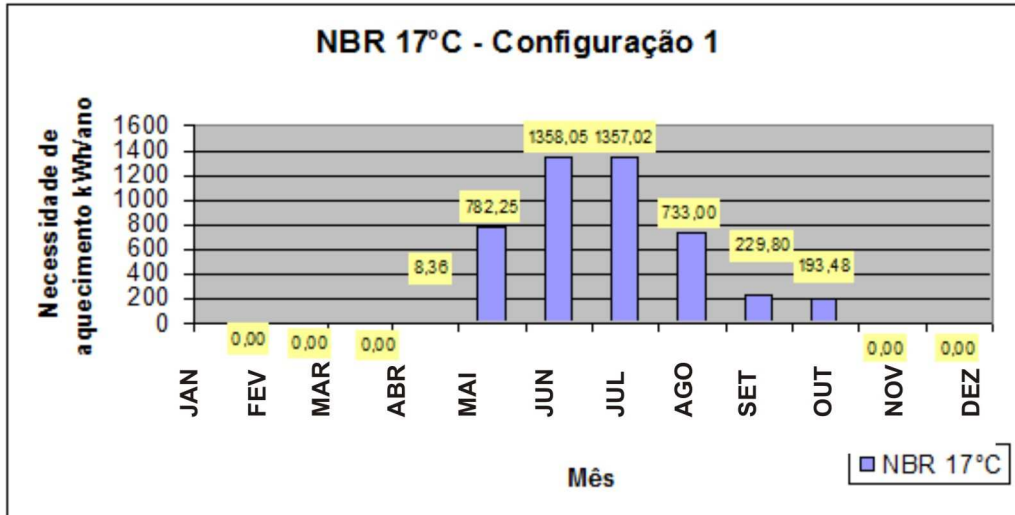


Figura 2 – Necessidade mensal de aquecimento– Configuração 01 (kWh/mês)

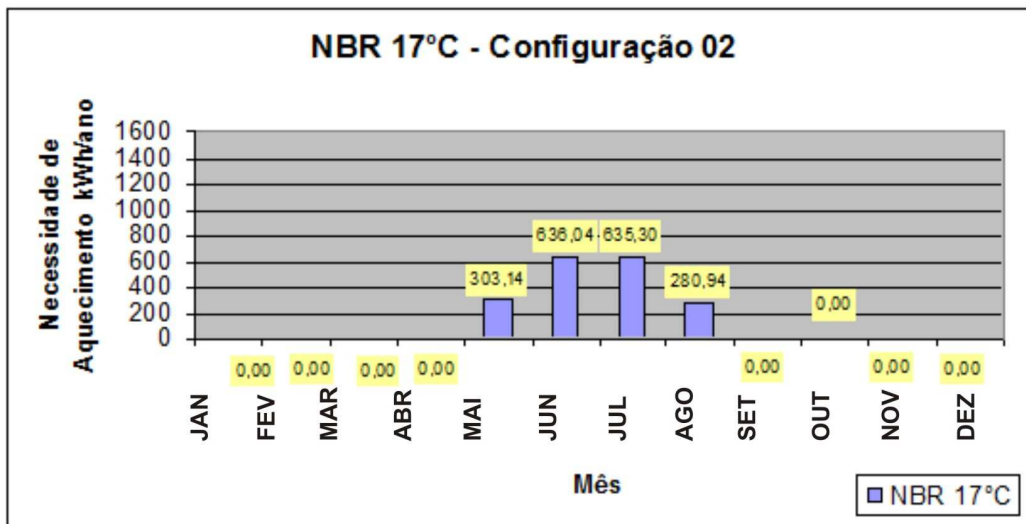


Figura 3 – Necessidade mensal de aquecimento – Configuração 02 (kWh/mês)

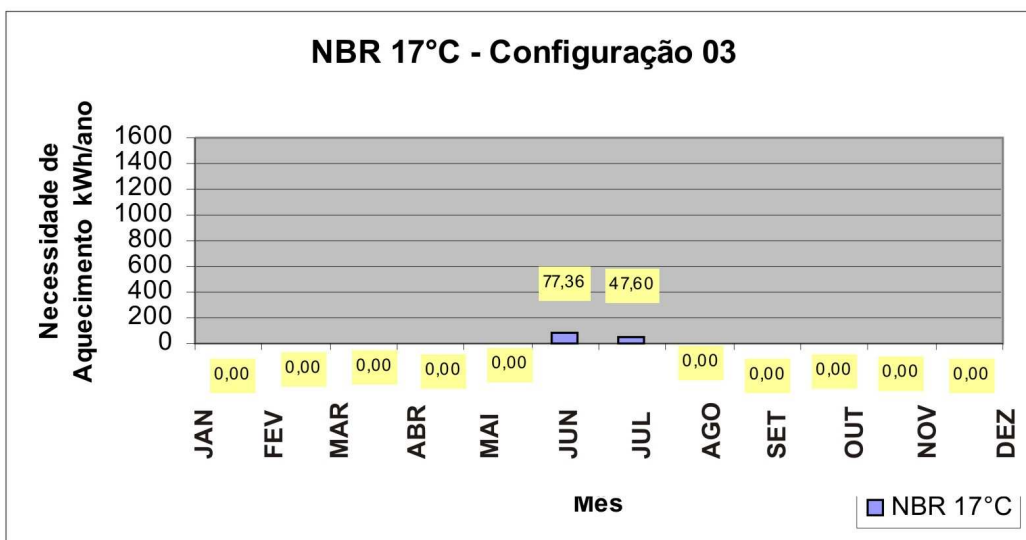


Figura 4 – Necessidade mensal de aquecimento – Configuração 03 (kWh/mês)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não houve maiores problemas no sentido da adaptação do modelo de determinação da necessidade de aquecimento sugerido pela prescrição normativa alemã EnEV (2007) para o contexto de Porto Alegre, RS. A base de dados disponibilizada no trabalho de Goulart et al. (1998) foi decisiva na consolidação do processo de adaptação. Obviamente que, o aprendizado com a normatização DIN e as prescrições EnEV deve ser aprofundado, ou seja, não deve parar nessa proposta inicial. A determinação da energia primária necessária para as edificações é um objetivo que pode ser alcançado com um estudo mais aprofundado.

Um segundo importante aspecto que deve ser mencionado é a limitação do modelo de análise com base na determinação dos graus-dia, já que a sazonalidade de utilização dos espaços não é considerada, e por conseguinte, a ocupação diferenciada dos ambientes ao longo dos dias não surte efeito nos dados gerados, porém, as informações obtidas com o processo permitem uma análise global bem sólida do consumo de energia para o período frio. Essa análise não pode estar dissociada de uma observação do desempenho térmico das edificações em período quente, já que o aumento demasiado da capacidade térmica da envolvente pode gerar acumulação indesejada de calor no período de verão.

Como próximas etapas de desenvolvimento da pesquisa, no que diz respeito às variáveis climáticas, objetiva-se aprofundar a análise das irradiâncias mensais e verificar o coeficiente de perda de calor unitário relacionado à área do edifício ($h, W/°C.m^2$) para diferentes tipologias arquitetônicas, objetivando rever a determinação dos intervalos de “h” no sentido da definição dos dados de cálculo G_T, F_{GT} e I_j . No que diz respeito às variáveis ganhos internos e aquecimento de água potável, deverá ser realizado um estudo no sentido de adaptar os valores da DIN 18599 (2005) para o contexto Portoalegrense.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Desempenho de edificações de até cinco pavimentos: parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ANBT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- BITTENCOURT, Leonardo. CÂNDIDO, Cristina. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 3ed., 2008.
- DIN V 18599 – **Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung (Teil 1 bis 10)**. Berlin: Beuth, 2005.
- DIN V 4108-6 – **Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarf**. Berlin: Beuth, 2003.
- DIN V 4701-10 – **Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Diagramme und Planungshilfen für ausgewählte Anlagensysteme mit Standardkomponenten**. Berlin: Beuth, 2003.
- DIN V 4701-12 – **Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung**. Berlin: Beuth, 2004.
- Goulart, S. V. G., Lamberts, R. e Firmino, S., **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. Florianópolis: UFSC, 1998.
- GRE. Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung E.V. **Energieeinsparung im Wohngebäudebestand**. Bauliche und anlagentechnische. Kassel, Berlin: GRE, 2007.
- GRE. Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung E.V. **Energieeinsparung 2002**. Kassel, Berlin: GRE, 2002.
- MAAS, Anton. **Vorlesungsskript. Die Energieeinsparungsverordnung EnEV 2007 – Wohngebäude**. Kassel, 2007.
- MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. **Uso de Instrumentos Computacionais para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Regulamentação de Etiquetagem Voluntária de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. Brasília: MME, 2007.
- MS - Ministério da Saúde, **Portaria nº 3523**, 28 de agosto de 1998. Brasília, 1998.
- RORIZ, Maurício. **Software Luz do Sol**. São Carlos, São Paulo, 1995.
- TOLEDO, Eustáquio. **Ventilação natural das habitações**. Maceió: EDUFAL, 1999.
- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (**Energieeinsparverordnung – EnEV**) vom 24.7.2007, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2007, Teil 1, Nr. 34, S. 1519-1563. 2007.
- VIEGAS, João Carlos. **Ventilação Natural de Edifícios de Habitação**. Lisboa: LNEC, 2 ed, 1996.

9. AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho gostariam de agradecer ao CNPq, que apoiou a realização da pesquisa com uma bolsa de estágio Pós-doutoral no departamento de Energia e Meio Ambiente, da Universidade de Kassel, Alemanha, durante os meses de setembro de 2007 e abril de 2008.