

A COMPATIBILIZAÇÃO DOS MÉTODOS SIMPLIFICADO E POR SIMULAÇÃO DA NBR 15575, SOB ANÁLISE DO RTQ-R: ZONA BIOCLIMÁTICA 2

Maicon Mota Soares (1); Antonio César Silveira Baptista da Silva (2); Eduardo Grala da Cunha (3)

(1) Professor do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, m_mottas@yahoo.com.br

(2) Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, antoniocesar.sbs@gmail.com

(3) Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, eduardogralacunha@yahoo.com.br

Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Rua Benjamin Constant, 1359, Pelotas - RS, 96010-020, Tel.: (53) 3284 5500

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo verificar a equivalência entre a metodologia de compatibilização dos métodos simplificado e de simulação da NBR 15575, com os níveis de eficiência energética obtidos pelo RTQ-R. O método de compatibilização da NBR 15575 foi realizado para a zona bioclimática 2 utilizando como caso-base uma edificação térrea de interesse social e conduzido através da simulação computacional de 300 configurações definidas aleatoriamente pelo método do hipercubo latino. A compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575 adotou critérios de graus-hora de desconforto (GhD) para o ano inteiro por meio de arquivo climático de referência, considerando a edificação com taxa constante de renovação do ar e desocupada (NBR 15575) e também naturalmente ventilada e ocupada conforme Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Os limites de GhD para reprovação ou aprovação em níveis Mínimo, Intermediário e Superior foram testados e comparados com os níveis de eficiência energética obtidos segundo os critérios do RTQ-R. Em cada intervalo (Mínimo, Intermediário e Superior) para as situações de verão e inverno, foram escolhidas três configurações representativas, totalizando 18 amostras. Obtidos os níveis de eficiência energética destas configurações, foi possível observar que, apesar das diferenças de critérios e condições de contorno, há correlação de desempenho, na qual configurações de nível Superior tendem a obter nível A ou B, enquanto as de nível Intermediário tendem a nível B e as de nível Mínimo nível B e eventualmente C.

Palavras-chave: Simulação computacional, Interesse social, Desempenho térmico, NBR 15.575.

ABSTRACT

This paper aims to verify the equivalence between the methodology of compatibilization of Simplified and Simulation methods of NBR15575, with the energy efficiency levels obtained by RTQ-R. The compatibilization method of NBR 15575 was carried out for the bioclimatic zone 2 using as case study a ground-level building of social interest and conducted through the computational simulation of 300 configurations randomly defined by the Latin Hypercube method. The compatibilization between Simplified and Simulation methods adopted discomfort degree-hours (GhD) criteria for the whole year by means of climate considering the building constant air changes per not being (NBR 15575) and also naturally and being, according to the Technical Regulation of Quality for the Energy Efficiency Level of Residential Buildings (RTQ-R). The GhD limits to reprove or approve with Minimum, Intermediate or Superior level were tested and compared with the energy efficiency level of the RTQ-R. For each interval (Minimum, Intermediate and Superior) of each situation (summer and winter) three representative configurations were chosen, totaling 18 samples. It was possible to observe that, despite the differences in criteria and boundary conditions, there is a correlation of performance, in which Superior level configurations tend to be level A or B, while Intermediate level tend to Level B and Minimum level tend to B and possibly C.

Keywords: Computer simulation, Social interest, Thermal performance, NBR 15575.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se garantir condições mínimas de conforto e bem-estar aos usuários de uma edificação, com um menor consumo de energia, fez com que fossem estabelecidos requisitos mínimos de desempenho das edificações no Brasil. Em 2005, é publicada a NBR 15.220- Desempenho térmico de Edificações (ABNT, 2005) que, dentre outros objetivos, estabeleceu a metodologia de cálculo das propriedades térmicas dos materiais e componentes, definiu o zoneamento bioclimático brasileiro, as estratégias bioclimáticas e os parâmetros a serem respeitados por edificações de interesse social, com o objetivo claro de coibir os absurdos decorrentes da falta de regramento, principalmente, às construções destinadas às pessoas de baixa renda. Com uma abordagem mais ampla, em 2008 é publicada a NBR 15575 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (ABNT, 2008) cuja proposta avalia todos os sistemas que compõe uma edificação, sob diversos aspectos de desempenho, dentre eles o desempenho térmico. Diversas versões foram publicadas até a versão atual da NBR 15575 - Desempenho de edifícios habitacionais (ABNT, 2013), vigente e obrigatória. De 2008 a 2013, além do nome, houveram algumas mudanças na norma, nem todas positivas, sobretudo no que se refere a avaliação de desempenho térmico pelo método de simulação.

A norma estabelece que, quando uma edificação não consegue atender aos pré-requisitos do método simplificado (prescritivo), essa avaliação deve ser realizada por simulação ou medição, nos quais, se for aprovada, atendendo aos determinados critérios de temperatura interna, poderá obter níveis mínimo, intermediário ou superior de desempenho. O método de simulação da NBR 15575 deve ser realizado considerando-se a edificação desocupada e sem cargas térmicas internas, em dias típicos de verão e inverno, o que de modo algum corresponde à realidade de ocupação e de uso da edificação real, conforme apontam Sorgato *et al.* (2012). Ferreira e Pereira (2012) afirmaram que os resultados obtidos com dados de dias típicos possuem pouca precisão na análise do desempenho. Sorgato, Melo e Lamberts (2013) apontam que uma das causas seria que a simulação de desempenho através de dias típicos carece de informações climáticas importantes para calcular a irradiação solar a que a edificação está exposta. Silva *et al.* (2014) investigaram a incerteza dos valores das variáveis desconsideradas pela NBR 15575 (ABNT, 2013) para a configuração dos modelos de simulação (data do dia típico de projeto, velocidade e direção do vento, algoritmos de cálculo da irradiação solar e tipo de céu) e concluíram que as variáveis desconsideradas pela NBR exercem considerável influência nos resultados dos níveis de classificação do desempenho térmico, o que causa falta de precisão do resultado final.

Como se não bastasse a falta de precisão do método de simulação adotado pela NBR 15575 (ABNT, 2013), os critérios de temperatura interna a serem atendidos, principalmente em condições de inverno, demonstram um total "*descompasso*" entre os climas do Brasil, as condições mínimas de conforto e a eficiência energética das edificações. Segundo a NBR 15575, uma edificação é aprovada se, durante o verão, a temperatura interna não ultrapassar a externa e, no inverno, se a temperatura interna for 3°C acima da externa. Disso resulta que para a cidade de Curitiba/PR, zona bioclimática 1, que possui uma temperatura externa típica de inverno de 0,7°C, bastaria que a edificação apresentasse uma temperatura interna de 3,7°C para ser aprovada. Por outro lado, para a cidade de Vitória da Conquista/BA, zona bioclimática 5, cuja temperatura externa típica de inverno é 10,7°C, se a temperatura interna não for superior ou igual à 13,7°C, esta será reprovada e provavelmente será necessário aumentar a capacidade de isolamento desta edificação (Soares, 2014). Ou seja, em Curitiba a edificação é aprovada com temperatura interna menor do que 4°C e sem isolamento. Imaginemos a quantidade de energia necessária para elevar e manter a temperatura interna em níveis mínimos aceitáveis em Curitiba. Esta deturpação de critérios de aprovação pelo método de simulação, certamente é uma das causas principais da incompatibilidade entre os métodos simplificado e por simulação de dias típicos adotados pela NBR 15575 (ABNT, 2013). Soares e Silva (2013) analisaram as prescrições do método simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013) em uma edificação unifamiliar, sob simulação de dias típicos e simulação anual, para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3. O estudo concluiu que propriedades térmicas que não são indicadas pelo método simplificado atenderam ao desempenho mínimo da norma, quando avaliadas pelo dia típico. A comparação entre o procedimento simplificado e o método de simulação da NBR 15575, realizada por Chvatal (2014), indicaram que o procedimento simplificado não representa de forma correta os impactos da transmitância e da absorvância da envolvente avaliados pelo método de simulação, podendo levar a uma classificação de desempenho equivocada. Soares (2014), em seu trabalho, além de comparar ambos os métodos, analisou e comparou o desempenho do método simplificado e o de simulação sob critérios de graus-hora de desconforto (GhD) anual e propôs uma metodologia de compatibilização entre estes, considerando a edificação sem ocupação, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013) e conforme padrões de uso e ocupação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INSTITUTO..., 2010).

Publicada por Soares e Silva (2017), a proposta da metodologia de compatibilização, considerando a

edificação sem ocupação, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013), estabeleceu a compatibilidade entre os métodos, de modo que, para ser aprovada por simulação, a edificação deve atingir, no mínimo, o mesmo desempenho especificado pelo método simplificado, sob critérios de graus-hora de desconforto (GhD).

No presente artigo, apresenta-se a proposta da metodologia de compatibilização seguindo padrões de uso e ocupação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (INSTITUTO..., 2010) e compara-se os resultados do método de compatibilidade com o nível de eficiência energética obtido através do RTQ-R para a zona bioclimática 2, caracterizada pela grande sazonalidade, com verões quentes e invernos bastante rigorosos.

2. OBJETIVO

O objetivo geral desse trabalho é verificar a equivalência entre a metodologia de compatibilização dos métodos simplificado e de simulação, com os níveis de eficiência energética obtidos pelo RTQ-R, utilizando como caso-base uma edificação térrea de interesse social na zona bioclimática 2.

3. MÉTODO

O trabalho como um todo seguiu a metodologia apresentada na Figura 1. No presente artigo a abordagem concentra-se nos resultados do método em destaque no quadro em vermelho na Figura 1. As demais partes do método serão sucintamente abordadas e podem ser consultadas em maiores detalhes nos trabalhos de Soares (2014) e Soares e Silva (2017).

Os estudos foram feitos com base na realização de simulação computacional, utilizando os softwares *EnergyPlus* versões 8.1 e 8.4 e *DesignBuilder* versão 3.0.0.105. O método deste trabalho está dividido em cinco etapas principais:

- (a) definição do objeto de estudo;
- (b) modelagem e configuração de simulação do caso-base, conforme NBR 15575;
- (c) modelagem e simulação das configurações, conforme NBR 15575;
- (d) critérios de análises das configurações, conforme NBR 15575; e
- (e) revisão dos valores de referência de GhD, segundo critérios de avaliação da NBR 15575;
- (f) estabelecimento de valores de referência para edificação ocupada e naturalmente ventilada;
- (g) análise de compatibilidade dos valores de referência com o RTQ-R.

3.1 Definição do objeto de estudo

3.1.1 Tipologia e geometria

A escolha da edificação foi a definida por Oliveira (2012), de modo que atendesse as especificações do programa Minha Casa Minha Vida 2, possui sala e cozinha conjugadas, dois dormitórios e banheiro, com área total de 40,8 m².

3.1.2 Definição da temperatura do solo

A temperatura média do solo, para cada mês do ano, foi obtida no programa *SLAB* (vinculado ao *EnergyPlus*), considerando as temperaturas internas e externas e as cargas internas.

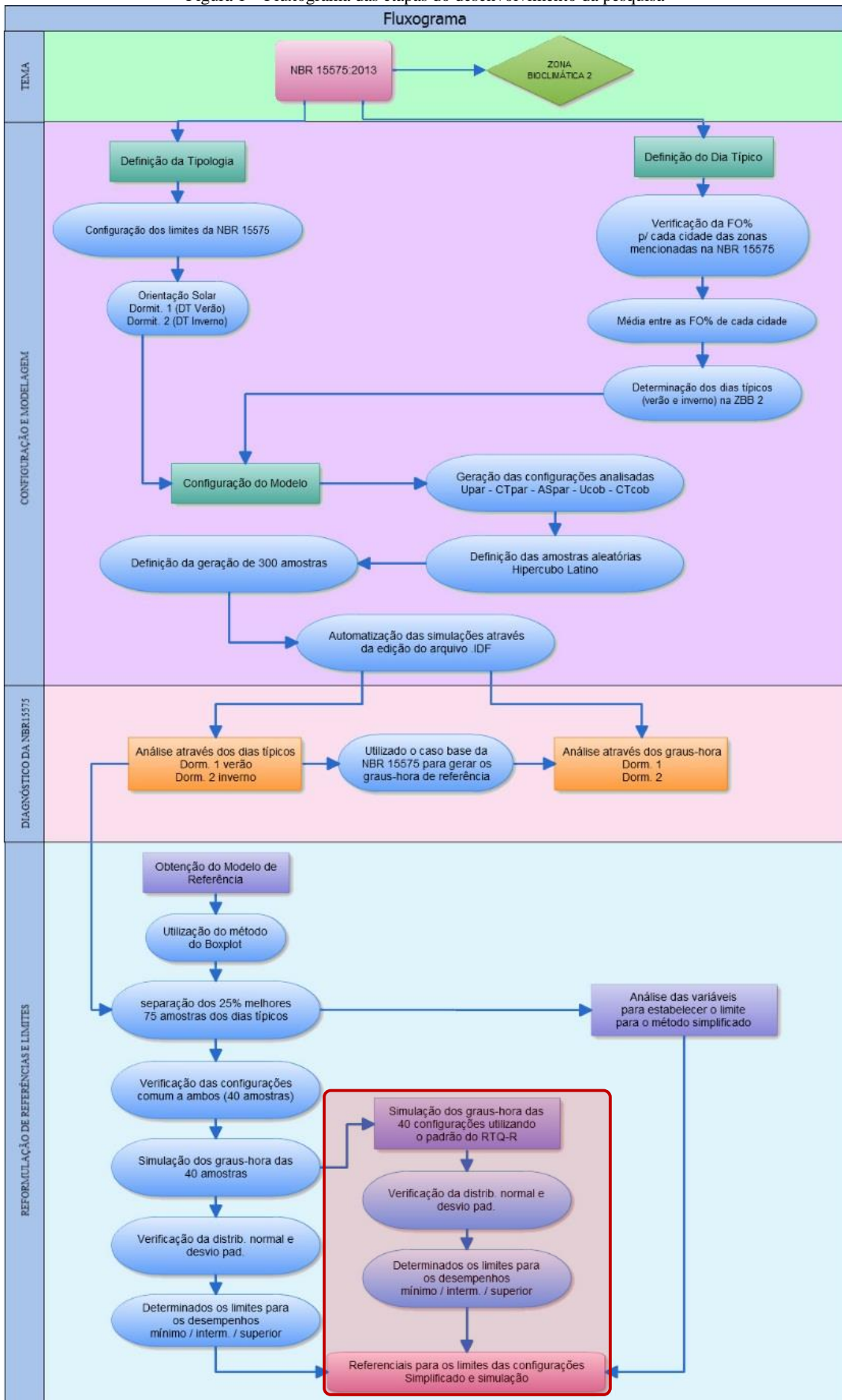
Testes realizados por Oliveira (2012), com casos extremos de paredes e coberturas com baixa transmitância (1,00 W/m²K) e alta transmitância (5,00 W/m²K), mostraram uma variação máxima de 2°C na temperatura do solo, para o mesmo objeto de estudo, na zona bioclimática 2, calculada pelo *SLAB*, entre os casos extremos.

Sem perda significativa de precisão, todas as simulações utilizaram as temperaturas de solo obtidas para o caso-base, listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura do solo definida pelo programa SLAB

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
°C	26	25	25	24	20	19	20	19	19	21	21	23

Figura 1 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento da pesquisa



3.1.3 Propriedades construtivas da envoltória

A configuração adotada como caso-base seguiu os valores limites estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013b). As paredes (externas e internas) são compostas de tijolo cerâmico 6 furos, com transmitância térmica de $2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ e capacidade térmica de $130 \text{ KJ/m}^2\text{K}$. As simulações foram realizadas para três matizes de cor: clara ($\alpha = 0,3$), média ($\alpha = 0,5$) e escura ($\alpha = 0,7$), conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013). Para o caso-base, utilizou-se a absorvância média.

Para a cobertura utilizou-se o valor da transmitância térmica de $2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Isso equivale a, aproximadamente, uma cobertura com telha de fibrocimento, câmara de ar e forro de placas concreto de 3,0 cm. Como a NBR 15575 (ABNT, 2013b) não estabelece valor para Capacidade Térmica da cobertura, utilizou-se o valor de $110 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ que, segundo Silva e Ghisi (2013), é o valor típico com maior probabilidade de ocorrência. A cobertura foi configurada com absorvância média ($\alpha = 0,5$) para todas as simulações.

Com relação a área de ventilação, adotou-se 7% da área do piso, de modo a atender ao mínimo exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2013b).

3.1.4 Ventilação

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013b), as simulações foram consideradas com uma taxa de uma renovação de ar por hora (1 ren/h) do ambiente, inclusive para os áticos das coberturas, o qual foi considerado como zona térmica independente. Nessa condição de ventilação, considera-se que não há nenhum elemento impedindo a incidência de radiação solar no interior da edificação. Caso a unidade habitacional não atenda aos critérios estabelecidos para o período do verão, nas condições acima, a NBR 15575 (ABNT, 2013b) estabelece a necessidade de nova simulação, considerando-se uma taxa de ventilação com 5 ren/h, ou sombreada ou mesmo sombreada com 5 ren/h.

3.1.5 Orientação solar

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013b), na simulação para o período de verão, a edificação foi orientada de modo que o dormitório 1 tivesse a janela voltada para a fachada orientada a oeste e uma parede para a fachada orientada a norte, conforme Figura 2. Para o período de inverno, a edificação foi posicionada de modo que o dormitório 2 tivesse a janela disposta para a fachada orientada a sul e uma parede voltada para a fachada orientada a leste, conforme Figura 3.

Figura 2 – Orientação do dorm.1 no dia típico verão



Figura 3 – Orientação do dorm.2 no dia típico inverno



3.2 Modelagem e configuração de simulação do caso-base, conforme NBR 15575

O processo de modelagem da edificação foi feito no programa computacional *DesignBuilder versão 3.0.0.105*, devido à interface gráfica de fácil manuseio e configuração, utilizando o cálculo do *EnergyPlus versão 8.1*. Os componentes construtivos, tanto paredes quanto coberturas, foram modelados como componentes equivalentes, conforme metodologia de Ordenes *et al* (2003). Após a modelagem, foi gerado um arquivo em formato *IDF* e importado para o programa *EP-Launch*, diretamente na suíte do *EnergyPlus*, onde foi executada a simulação com o arquivo TMY de Santa Maria-RS durante o ano todo.

3.3 Modelagem e simulação das configurações, conforme NBR 15575

Para definir as configurações dos fechamentos opacos a serem analisadas, foram verificados os trabalhos de Oliveira (2012), Silva e Ghisi (2014), além da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que traz, na sua parte 3, o cálculo de transmitância e capacidade térmica para algumas composições de paredes e coberturas. Por meio desses trabalhos, foram estabelecidas as diferentes transmitâncias e capacidades térmicas adotadas.

3.3.1 Definição das amostras aleatórias

Para se estabelecer as probabilidades de ocorrência buscou-se, como referência, os valores adotados no trabalho de Silva e Ghisi (2014). Os valores de maiores probabilidades foram baseados nos valores limites da NBR 15575 (ABNT, 2013b), pois as habitações de interesse social possuem suas configurações próximas a esses limites. Após, através do cálculo da distribuição da normal, foram estabelecidos os valores de probabilidades adotados, conforme ilustra a Tabela 2. A probabilidade também define o percentual dos valores nas amostras geradas, ou seja, quanto maior a probabilidade, maior a ocorrência do valor nas amostras.

Tabela 2 – Probabilidades dos parâmetros

Parâmetro	Valor	Probabilidade
Transmitância térmica parede (U_{par})	1,00 / 1,75 / 2,50 / 3,25 / 4,00 / 4,75	0,1 / 0,2 / 0,35 / 0,2 / 0,1 / 0,05
Capacidade térmica da parede (CT_{par})	40 / 85 / 130 / 175 / 220 / 265 / 310 / 355	0,1 / 0,2 / 0,3 / 0,2 / 0,1 / 0,07 / 0,02 / 0,01
Absortância Solar da parede (AS_{par})	0,3 / 0,5 / 0,7	0,33 / 0,34 / 0,33
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	1,00 / 1,65 / 2,30 / 2,95 / 3,60 / 4,25	0,1 / 0,2 / 0,35 / 0,2 / 0,1 / 0,05
Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})	20 / 65 / 110 / 155 / 200 / 245 / 290 / 335	0,1 / 0,2 / 0,3 / 0,2 / 0,1 / 0,07 / 0,02 / 0,01

Para gerar as combinações aleatórias com as respectivas probabilidades, utilizou-se o método do hipercubo latino, por meio do programa SimLab v.2.2.1, capaz de executar análises de sensibilidade e análises de incertezas utilizando diferentes técnicas matemáticas.

3.3.2 Automação para simulação das combinações geradas

A partir das combinações geradas, deve-se executar as simulações para cada ambiente a ser analisado que, nesse caso, são os dormitórios 1 e 2.

Um conjunto de algoritmos para a automatização das simulações foi desenvolvido em *Python*, além do suporte de linguagem de rotinas *Shell Scripts* para o desenvolvimento de alguns passos fundamentais para o processo.

3.4 Critérios de análises das configurações, conforme NBR 15575

Para o estabelecimento do número de graus-hora a ser utilizado como parâmetro do nível de desempenho mínimo, simulou-se o caso-base. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros de graus-hora anual do caso-base

Transmitância térmica da parede (U_{par})	Capacidade térmica da parede (CT_{par})	Absortância solar da parede (AS_{par})	Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})	Graus-hora (dorm.1)	Graus-hora (dorm.2)	Nº da combinação
2,50	130	0,5	2,30	110	9205	9329	193

Analisando o valor de 9.329 graus-hora de desconforto (GhD), sendo 7.235 GhD de resfriamento e 2.094 GhD de aquecimento, para temperaturas base entre 18°C e 29°C, estabelecida por Givoni (1992), obtido no caso-base, percebe-se que este fica em torno de 60% dos graus-hora de desconforto no exterior da edificação, registrada em 15.548 graus-hora. Entretanto, este é assumido como referência de desempenho do caso-base pelo método simplificado e, posteriormente, é proposta revisão desse valor de referência.

3.5 Revisão dos valores de referência de GhD, segundo critérios de avaliação da NBR 15575

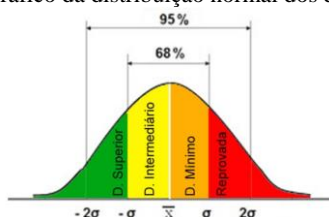
Para estabelecer novos valores de referência e com isso utilizar os dados como limites para determinação no desempenho térmico, utilizou-se o *boxplot* ou gráfico caixa. Assim, as 300 combinações foram organizadas das melhores para as piores configurações e se separou as 25% (75 amostras) melhores em cada caso.

Com as 75 melhores combinações, foram verificadas quais configurações estavam presentes em ambos os dormitórios.

Dessas, foram obtidos os valores dos graus-hora total (GhD de resfriamento e GhD de aquecimento) que foram organizados em ordem crescente. Para estabelecer o limite dos graus-hora para o desempenho térmico mínimo, foi utilizado o método estatístico por meio da distribuição normal, utilizando uma significância de 68% da amostra, o que equivale à média +1 σ (desvio padrão). O desempenho térmico intermediário foi definido como o valor da média da amostra. Em relação ao desempenho térmico superior, o limite máximo foi determinado como o valor da média -1 σ (desvio padrão) da amostra. A Figura 4 ilustra os limites de

desempenho térmico em relação à distribuição da normal.

Figura 4 - Gráfico da distribuição normal dos desempenhos



Os desvios padrão calculados para os dormitórios 1 e 2 foram, respectivamente, de 606 Gh e 685 Gh. Com esses dados, foi elaborada uma tabela com os novos critérios de avaliação do desempenho térmico das edificações, através da utilização dos graus-hora de referência. As Tabelas 5 e 6 mostram os parâmetros de referência para determinação dos níveis de desempenho térmico, para o método da simulação computacional, baseado nos novos valores de referência para a NBR 15575 (ABNT, 2013b).

Tabela 5 – Níveis de desempenho para o dormitório 1(N-O)

Critérios de desempenho no dormitório 1(N-O)		
Mínimo	Intermediário	Superior
6614<Gh≤7220	6008<Gh≤6614	Gh≤6008

Tabela 6 – Níveis de desempenho para o dormitório 2(S-L)

Critérios de desempenho no dormitório 2(S-L)		
Mínimo	Intermediário	Superior
7484<Gh≤8169	6799<Gh≤7484	Gh≤6799

3.6 Estabelecimento de valores de referência para edificação ocupada e naturalmente ventilada

3.6.1 Padrão de Ocupação

Foram feitas também as simulações das 300 combinações levando em consideração o padrão de ocupação estabelecido pelo RTQ-R (2010). A adoção da utilização dos ganhos internos serviu para gerar novas possibilidades de análises, querendo ou não utilizar a configuração dos ganhos internos de calor e mantendo o mesmo padrão entre os valores e configurações limites. O padrão de ocupação dos ambientes foi estabelecido conforme a tabela 3.39 do RTQ-R. Através desses dados, foi possível também definir a taxa metabólica, conforme tabela 3.40 do RTQ-R. Além do mais, foram utilizados mais dados do RTQ-R (2010), referentes ao padrão de uso (tabela 3.41 do RTQ-R), densidade de potência da iluminação (tabela 3.42 do RTQ-R) e carga interna dos equipamentos (tabela 3.43 do RTQ-R).

3.6.2 Ventilação Natural

O RTQ-R (INMETRO, 2010) recomenda valores de 0,33 e 460 em relação ao coeficiente de rugosidade (categoria 1). Esses valores representam como se a edificação estivesse localizada em centros urbanos com pelo menos 50% das dos prédios possuem alturas maiores que 21m. Assim como Oliveira (2012), que trabalhou com habitações de interesse social e utilizou a categoria 2, pois a grande maioria desse tipo de habitação não está inserida em centros urbanos, e sim mais afastadas. A mesma adoção será utilizada nesse trabalho, onde foi adotado o coeficiente de rugosidade e a camada limite de 0,22 e 370. Nesse trabalho, a edificação foi configurada utilizando o padrão de uso da ventilação natural, através do uso do controle automático por meio da temperatura. Com isso, as aberturas (janelas) só serão abertas se a temperatura do ar no interior da habitação estiver acima da temperatura de *setpoint* e também quando for maior que a temperatura do ar no exterior. As aberturas estão configuradas para terem um controle de operação durante as 24 horas do dia. A temperatura de *setpoint* foi definida baseado no trabalho de Martins *et al* (2009) e definida em 25°C. Em relação a configuração do funcionamento das venezianas no programa *DesignBuider*, foi adotado os mesmos parâmetros utilizado por Oliveira (2012), onde estabeleceu que as venezianas permanecerão fechadas durante todo o dia, entre os meses de outubro e março, e abertas das 8:00 às 17:00, durante os meses de Abril à Setembro.

3.7 Análise de compatibilidade dos valores de referência com o RTQ-R

Para essa análise, foram utilizadas as 40 melhores combinações comuns aos dois dormitórios, (pois nem todas as 75 combinações estavam presentes em ambos os dormitórios, apenas as 40 combinações) como feito na análise anterior, só que com os valores dos graus-hora com o padrão de ocupação do RTQ-R. Após, foram obtidos as médias e o desvio padrão das amostras, para poder estabelecer os níveis e os limites de cada desempenho térmico. Para isso, se estabeleceu que o valor da média da amostra seria o limite máximo para o desempenho intermediário. Para o desempenho mínimo, o valor limite máximo adotado foi a média + 1σ

(desvio padrão). Já para o desempenho superior, o valor limite máximo adotado foi a média - 1σ (desvio padrão), também baseado no método da análise anterior. Foi determinado para o dormitório 1 (verão) e para o dormitório 2 (inverno), respectivamente, os desvios padrão de 568 Gh de 753 Gh. Com esses dados, foi montada uma tabela com os critérios de avaliação do desempenho térmico das edificações através da utilização dos graus-hora de referência levando em consideração o padrão de ocupação do RTQ-R.

Tabela 7 - Critérios de desempenho de verão com padrão de ocupação

Critérios de desempenho no dormitório 1 com RTQ-R(N-O)		
Mínimo	Intermediário	Superior
2764 ≥ Gh > 2196	2196 ≥ Gh > 1628	1628 ≥ Gh

Tabela 8 - Critérios de desempenho de inverno com padrão de ocupação

Critérios de desempenho no dormitório 2 com RTQ-R(S-L)		
Mínimo	Intermediário	Superior
3550 ≥ Gh > 2797	2797 ≥ Gh > 2044	2044 ≥ Gh

A partir dos intervalos apresentados nas Tabelas 7 e 8 selecionou-se configurações que fossem representativas destes intervalos. Assim, para cada intervalo (Mínimo, Intermediário e Superior) de cada um dos dormitórios (N-O ou S-L) foram escolhidos três casos, sendo um no centro do intervalo e outros dois próximos aos limites do intervalo. No caso do nível Superior, por só existir um limite, foram selecionados três casos com variação de cerca de 35% nos valores de GhD. Assim, obteve-se um conjunto de 18 amostras, 9 para cada dormitório (verão e inverno). Os casos simulados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Conjunto de casos representativos dos intervalos (Mínimo, Intermediário e Superior)

Configurações	Condição	Upar	Ctpar	Absort. Solar parede	Ucob	Ctcob	GhD	Nível
C01	VERÃO (Dorm.: N-O)	1	175	0,7	1	110	1012	Superior
C02		1	175	0,3	1	110	1315	
C03		1,75	220	0,5	1	65	1562	
C04		1,75	175	0,5	1,65	110	2177	Interm.
C05		1	265	0,5	2,3	65	1940	
C06		1	265	0,5	2,3	245	1633	
C07		1,75	310	0,3	2,3	20	2764	Mínimo
C08		2,5	175	0,5	1,65	245	2496	
C09		1,75	130	0,7	1,65	110	2241	
C10	INVERNO (Dorm.: S-L)	1,75	220	0,5	1	65	1948	Superior
C11		1	175	0,3	1	110	1534	
C12		1	175	0,7	1	110	1229	
C13		2,5	265	0,5	1,65	335	2790	Interm.
C14		1	265	0,5	2,3	65	2407	
C15		1	130	0,5	1,65	155	2064	
C16		2,5	175	0,7	2,3	110	3536	Mínimo
C17		2,5	175	0,5	1,65	245	3150	
C18		1	85	0,7	2,3	155	2811	

Cada um dos casos da Tabela 9 foi simulado, conforme os critérios do RTQ-R, como naturalmente ventilada e condicionada artificialmente, listados respectivamente nas Tabelas 10 e 11, para que fosse possível determinar o nível de eficiência energética da envoltória da edificação em análise, integrando, portanto, os limites propostos na avaliação, com o respectivo desempenho da envoltória acordando com o RTQ-R.

Tabela 10 - Condições de contorno de simulação naturalmente ventilada – Desempenho da envoltória no verão

Cálculo do indicador de graus-hora de resfriamento	$GH_R = \sum (T_o - 26^\circ\text{C})$	T_o : temperatura operativa horária (°C); T_a : temperatura do ar no ambiente (°C); T_r : temperatura radiante média (°C);
--	--	--

	$T_o = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot T_r$ $A = 0,5$
Modelagem do sistema de ventilação natural	<p>coeficiente de rugosidade do entorno (α) de 0,33 e $\delta = 460$ para a camada limite</p> <p>coeficientes de pressão superficial (CP)</p> <p>coeficiente de descarga (CD) = 0,6</p> <p>coeficiente do fluxo de ar por frestas (CQ) = 0,001 kg/s.m</p> <p>expoente do fluxo de ar (n) = 0,65</p> <p>O controle automático por temperatura habilita a abertura da janela quando a temperatura do ar do ambiente (T_{int}) é igual ou superior à temperatura do termostato ($T_{int} \geq T_{termostato}$) e também quando a temperatura do ar do ambiente é superior à temperatura externa ($T_{int} \geq T_{ext}$)</p> <p>$T_{termostato} = 20^\circ\text{C}$</p>
Padrão de ocupação	<p>Conforme RTQ-R (2010)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tabela 3.3. Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana, • Tabela 3.4. Taxas metabólicas para cada atividade • Tabela 3.5. Padrão de uso da iluminação • Tabela 3.6. Densidade de potência instalada de iluminação • Tabela 3.7. Cargas internas de equipamentos
Temperatura do solo dos modelos	Calculada pelo programa Slab para o caso base e utilizada nos demais casos.

Tabela 11 - Condições de contorno de simulação condicionada artificialmente – Desempenho da envoltória para inverno

Condições para cálculo do consumo relativo de energia	Consumo relativo de energia para refrigeração (C_R), dos dormitórios, e o consumo relativo para aquecimento (C_A), de todos os ambientes de permanência prolongada, calculados no período das 21 h às 8 h, e no período restante a edificação naturalmente ventilada.
Modelagem do sistema de condicionamento de ar	<ul style="list-style-type: none"> • sistema de condicionamento de ar instalado nos ambientes de permanência prolongada das UHs • temperatura do termostato de refrigeração de 24°C, • temperatura do termostato de aquecimento de 22°C • condicionamento artificial no período das 21 h às 8 h; • edificação ventilada naturalmente no período das 9 h às 20 h • taxa de fluxo de ar por pessoa de $0,00944 \text{ m}^3/\text{s}$; • modo de operação do ventilador contínuo; • eficiência do ventilador de 0,7 e eficiência do motor de 0,9; • razão entre o calor retirado do ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 3,00 W/W; • razão entre o calor fornecido ao ambiente e a energia consumida pelo equipamento (COP) de 2,75 W/W; • número máximo de horas não atendidas do sistema de condicionamento de ar de 10%; • capacidade do sistema de condicionamento de ar dos ambientes dimensionada automaticamente pelo programa de simulação

4. RESULTADOS

Cada uma das configurações foi simulada e seus resultados extraídos dos ambientes de permanência prolongada (sala e dormitórios 1 e 2) para as condições de verão (GhR) e de inverno (CA). Por fim se obteve o nível de eficiência energética da envoltória. Os resultados são apresentados na Tabela 12, onde pode-se observar, de um modo geral, a correlação entre os limites propostos para a NBR 15575 (ZB2) e os níveis de eficiência energética obtidos pelo RTQ-R. Naquelas configurações que se enquadram em nível Superior (verão e inverno), predominam os níveis A e B de eficiência energética, tanto referente a GhR, quanto CA. Porém, as configurações de verão nos níveis Intermediário e Mínimo não possuem uma correlação tão clara com o RTQ-R. As configurações de nível Mínimo possuem menor GhR e menor CA do que as de nível Intermediário, supostamente melhores. A configuração C05, que é idêntica à C14, foi muito mal avaliada pelo RTQ-R, quanto aos GhR, enquanto a C04 foi muito bem avaliada, apesar de ambas enquadrarem-se no nível Intermediário. A configuração C04 apresenta maior equilíbrio entre transmitâncias e capacidades térmicas de paredes e coberturas, enquanto C05 caracteriza-se por possuir baixa transmitância e alta capacidade térmica de paredes e alta transmitância e baixa capacidade térmica de cobertura. Esta configuração alcançou nível Intermediário sob critérios de GhD para o verão estabelecidos em 29°C enquanto o RTQ-R estabelece em 26°C .

Apesar dos diferentes critérios e condições de contorno entre o RTQ-R e a proposta de compatibilização da NBR 15575, poucos casos apresentaram inversão, como os descritos acima. Pode-se observar que as configurações de nível Superior tendem a obter nível A. Por muito pouco a configuração C01 não obteve A, o que resultaria em 67% das configurações neste nível.

Tabela 12- Nível de eficiência energética da envoltória

Configurações	Condição	GHd	Nível	ENV Verão - ESTAR - GH Tbase 26		ENV Verão Dorm 1 - GH Tbase 26		ENV Verão Dorm 2 - GH Tbase 26		Nível ENV VERÃO		EqNum ENV verão	ENV Inverno - Consumo Aquec.		ENV Inverno Dorm 1 - Consumo Aquec.		ENV Inverno Dorm 2 - Consumo Aquec.		Nível ENV INVERNO		EqNum ENV INVERNO	ENV FINAL	
				EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb		EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb		EqNumEnvAmb	EqNumEnvAmb
C01	VERÃO (Dorm.: N-O)	1012	Superior	2150,6	A	2500,06	B	2460,68	B	A	4,63	19,91	B	14,59	A	14,41	A	B	4,38	4,49	B		
C02		1315		1482,38	A	1449,84	A	1429,95	A	A	5	13,81	A	10,02	A	8,91	A	A	5	5,00	A		
C03		1562		2353,38	B	2623,99	B	2597,26	B	B	B	4	16,28	B	14,4	A	11,68	A	B	4,38	4,21	B	
C04		2177	Interm.	4077,97	B	4273,91	B	4251,11	B	B	4	19,78	B	15,82	B	14,85	A	B	4,2	4,11	B		
C05		1940		5224,14	C	4976,58	C	4916,07	C	C	3	23,98	B	19,04	B	15,98	B	B	4	3,56	B		
C06		1633		4529,23	C	4813,29	C	4740,06	C	C	3	17,25	B	13,16	A	12,86	A	B	4,38	3,77	B		
C07		2764	Mínimo	4664,55	C	4310,54	B	4242,95	B	C	3,38	30,08	B	27,48	B	21,76	B	B	4	3,73	B		
C08		2496		3805,27	B	4326,64	B	4321,19	B	B	4	18,28	B	15,54	A	15,4	A	B	4,17	4,10	B		
C09		2241		5138,37	C	5550,12	C	5564,1	C	C	3	19,48	B	14,92	A	14,84	A	B	4,38	3,77	B		
C10	INVERNO (Dorm.: S-L)	1948	Superior	2721,15	B	2959,93	B	2974,05	B	B	4	16,28	B	14,4	A	11,68	A	B	4,38	4,21	B		
C11		1534		1482,38	A	1449,84	A	1429,45	A	B	4	13,81	A	10,02	A	8,91	A	A	5	4,56	A		
C12		1229		2150,6	A	2500,06	B	2460,68	B	A	5	11,81	A	8,49	A	6,59	A	A	5	5,00	A		
C13		2790	Interm.	3292	B	3979,67	B	3932,98	B	B	4	16,5	B	16,01	B	13,06	A	B	4,2	4,11	B		
C14		2407		5224,14	C	4976,58	C	4916,07	C	C	3	23,98	B	19,04	B	15,98	B	B	4	3,56	B		
C15		2064		3545,6	B	3675,4	B	3623,81	B	B	4	15,76	B	13,11	A	10,82	A	B	4,38	4,21	B		
C16		3536	Mínimo	7257,06	D	7724,23	D	7753,3	D	D	2	24,8	B	16,69	B	19,73	B	B	4	3,12	C		
C17		3150		3804,37	B	4326,67	B	4320,97	B	B	4	18,28	B	15,54	A	15,4	A	B	4,38	4,21	B		
C18		2811		6152,78	C	6361,62	C	6320,77	C	C	3	19,91	B	14,59	A	14,42	A	B	4,38	3,77	B		

5. CONCLUSÕES

A proposta de compatibilização entre os métodos simplificado e por simulação da NBR15575 foi elaborada com critérios e condições de contorno independentes do RTQ-R. No entanto, a comparação de métodos e frente aos resultados obtidos, pode-se observar a correlação de desempenho no qual configurações classificadas de nível Superior obteriam níveis de eficiência energética A ou B. Configurações classificadas de nível Intermediário obteriam níveis de eficiência energética B e configurações classificadas de nível Mínimo obteriam níveis de eficiência energética B ou eventualmente C.

Estes resultados reafirmam a metodologia e os critérios adotados na compatibilização dos métodos da NBR 15575, cujo principal objetivo era eliminar o "descompasso" entre os métodos Simplificado e por Simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos-Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: desempenho de edifícios habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.
- FERREIRA, C. C.; PEREIRA, I. M. Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações de Interesse Social de Acordo Com a NBR 15575, Para as Diversas Zonas Bioclimáticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. **Proceedings...** Juiz de Fora, 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R**. Eletrobrás, 2010.
- SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise Comparativa dos Resultados do Desempenho Térmico da Envoltória de Uma Edificação Residencial Pelos Métodos de Simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.
- SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. B. Avaliação dos Parâmetros de Desempenho Térmico da NBR 15575 Para as Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3 Para Habitações Térreas de Interesse Social no Método Simplificado. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELotas, 15., Pelotas, 2013. **Anais...** Pelotas, 2013.
- SOARES, M. M. **Avaliação dos Parâmetros de desempenho térmico da NBR 15575/2013**: Habitações de Interesse Social na zona bioclimática 2. Pelotas, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.
- SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. da. Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 181-198, jan./mar. 2017.
- SORGATO, M. J. *et al.* **Nota Técnica Referente à Avaliação Para a Norma de Desempenho NBR 15575 em Consulta Pública**. Florianópolis: LABEEE, 2012.
- SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do Método de Simulação de Desempenho Térmico da Norma NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., Brasília, 2013. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2013.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados no estudo do desenvolvimento do trabalho.