

Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2

The analysis and the compatibility of the simplified and simulation methods from NBR 15575: bioclimatic zone 2

Maicon Motta Soares
Antônio César Silveira Baptista da Silva

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo analisar e avaliar a pertinência dos limites estabelecidos e propor uma metodologia de compatibilização entre os métodos de avaliação de desempenho térmico adotados pela NBR 15575. Os estudos foram realizados para a zona bioclimática 2 utilizando como caso-base uma edificação térrea de interesse social. Os estudos foram conduzidos através da simulação computacional de 300 configurações definidas aleatoriamente pelo método do hiper-cubo latino. A edificação foi modelada e configurada pelo programa DesignBuilder versão 3.0.0.105 e simuladas conforme os critérios da NBR 15575 para o dia típico de verão e inverno, e também para o ano inteiro por meio de arquivo climático de referência. A análise inicial mostra que não há compatibilidade entre os métodos “simplificado” e “por simulação” dos dias típicos, já que neste último praticamente todas as configurações são aprovadas. O método de simulação anual por grau-hora se mostrou mais coerente com os requisitos do método simplificado. Ao se estabelecer critérios de grau-hora de desconforto (GhD), foi possível estabelecer 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. Os valores limites do método simplificado se mostraram coerentes entre si, cabendo apenas uma sugestão de aumento do valor mínimo da capacidade térmica.

Palavras-chaves: Simulação computacional. Interesse social. Desempenho térmico.

Abstract

This paper aims to analyse and evaluate the relevance of the established limits, as well as to propose a compatibility methodology between the methods of evaluation of thermal performance adopted by NBR 15575. The studies were conducted for bioclimatic zone 2, taking a one-storey, social housing building as caso base. The studies were performed through a computer simulation of 300 randomly defined configurations using the Latin Hypercube method; the building was modelled and configured by the 3.0.0.105 Design Builder program version and then simulated according to NBR 15575's criteria for a typical summer and a typical winter day, as well for the entire year through a reference climate file. The results show that there is no compatibility between the simplified method and the simulation method in the typical days, since in the latter almost all configurations are approved. The annual simulation method by degree-hours proved to be more coherent with the requirements of the simplified method. By establishing discomfort degree-hours (DDH) criteria, it was possible to establish the compatibility between the methods, so that, in order to be approved by simulation, the building must present at least the performance specified by the simplified method. The limit values of the simplified method proved to be coherent, requiring only the indication of an increase in the minimum value of the thermal capacity.

Keywords: Computer simulation. Social interest. Thermal performance.

Maicon Motta Soares
Universidade Federal de Pelotas
Pelotas - RS - Brasil

Antonio César Silveira Baptista da Silva
Universidade Federal de Pelotas
Pelotas - RS - Brasil

Recebido em 26/03/16
Aceito em 19/08/16

Introdução

A crescente preocupação com a qualidade das edificações foi o fator principal para a criação da NBR 15575: desempenho de edifícios habitacionais em 2013 (ABNT, 2013b).

A NBR 15575 (ABNT, 2013b) especifica requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho para edificações habitacionais.

A Parte 4 da NBR 15575 trata do desempenho térmico de edificações e apresenta recomendações prescritivas das paredes e coberturas, quanto às suas propriedades térmicas. A partir dessas recomendações, é possível realizar uma avaliação simplificada da edificação. A norma estabelece que, quando uma edificação não consegue atender aos pré-requisitos do método simplificado, 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.

Sorgato *et al.* (2012) apresentaram críticas e sugestões referentes à NBR 15575 (ABNT, 2013b), em suas partes 1, 4 e 5, as quais tratam sobre o desempenho térmico. Os autores observaram a não consideração do uso real da edificação sob avaliação e também a falta de avaliação da variação anual de temperatura no desempenho térmico da edificação.

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.

Outros trabalhos criticam o método de simulação estabelecido pela NBR 15575. Ferreira e Pereira (2012) afirmaram que os resultados obtidos com dados de dias típicos possuem pouca precisão na análise do desempenho. Silva *et al.* (2014) investigaram a incerteza dos valores das variáveis desconsideradas pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) 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). Os autores 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. Em outro estudo, Sorgato, Melo e Lamberts (2013)

mostraram também que a avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais, através do procedimento de simulação da NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), é diretamente influenciada pela configuração dos dias típicos de verão e de inverno. A falta de algumas informações como o tipo de céu e a data do dia típico de projeto são parâmetros importantes para calcular a irradiação solar a que a edificação está exposta e, dependendo da configuração, pode viabilizar ou não a aprovação de um sistema construtivo.

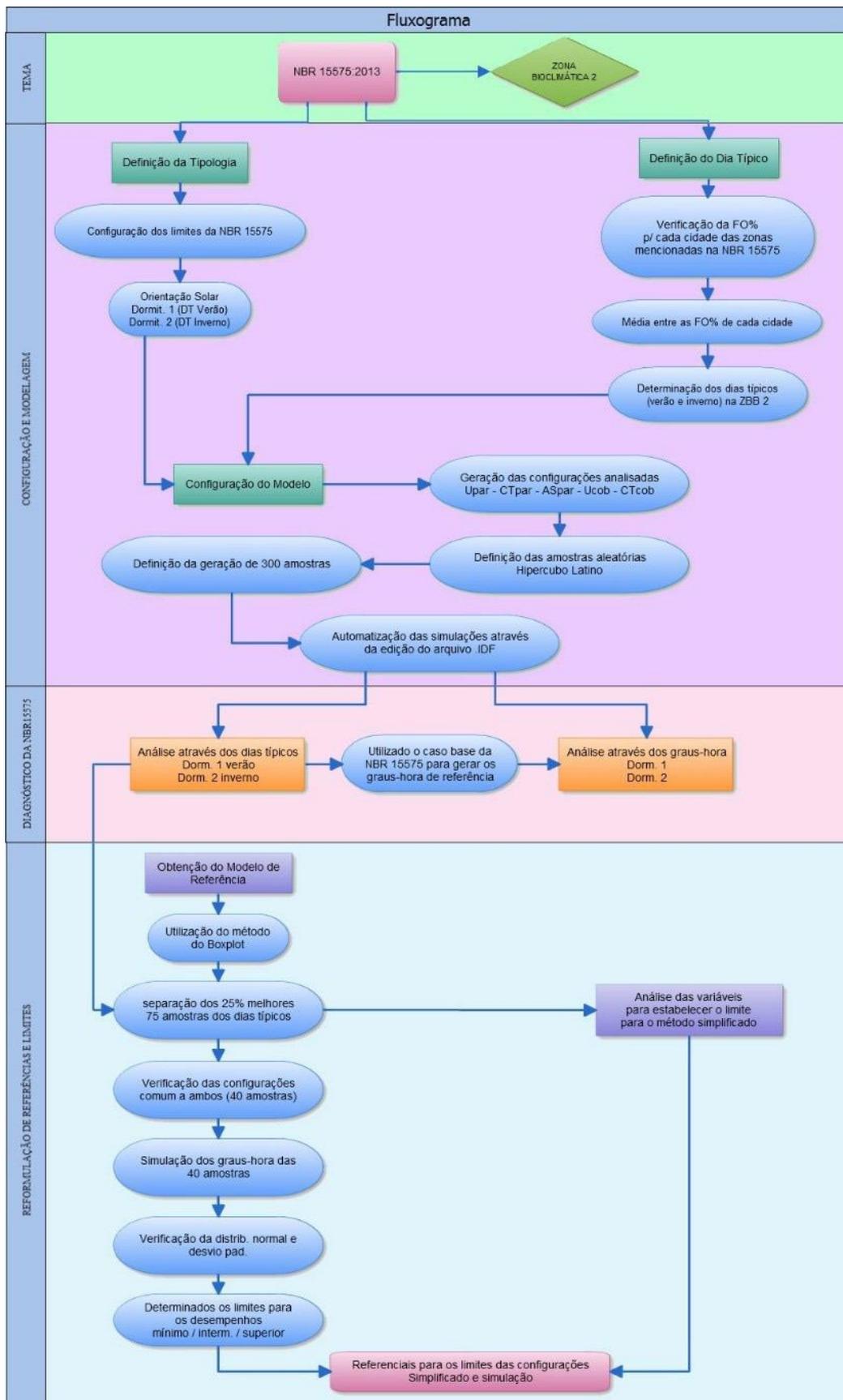
Soares e Silva (2013) analisaram as prescrições da NBR 15575 em relação às propriedades térmicas da envoltória. O estudo comparou o desempenho de uma edificação unifamiliar, por meio da simulação do dia típico com a simulação anual, para as zonas bioclimáticas 1, 2 e 3. O estudo concluiu que propriedades térmicas que não são indicadas para essas zonas bioclimáticas atenderam ao desempenho mínimo da norma, quando avaliadas pelo dia típico. Os casos que apresentaram melhor desempenho na simulação anual foram os que possuíam transmitância térmica baixa, mesmo tendo capacidade térmica abaixo do limite da norma.

Sorgato *et al.* (2012) apresentaram a proposta de um procedimento de simulação para avaliar o desempenho térmico da envoltória de edificações residenciais. O procedimento proposto busca avaliar o desempenho térmico, considerando a realidade de uso das edificações residenciais, devendo ser modelada de acordo com o projeto arquitetônico, considerando cargas internas de ocupação e iluminação. Chvatal (2014), em sua pesquisa, procurou analisar e comparar o procedimento simplificado com os resultados obtidos pelo método de simulação da NBR 15575. Os resultados 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) comprova que os critérios de aprovação, especialmente os do inverno, aprovam edificações sem condições internas minimamente aceitáveis e reprovam outras em condições bem melhores.

Assim, este artigo concentra-se em avaliar a incompatibilidade entre os métodos e os critérios adotados tanto no simplificado quanto na simulação, exemplificados na zona bioclimática 2.

Figura 1 - Fluxograma das etapas do desenvolvimento da pesquisa



As demais limitações serão abordadas em momento oportuno, conforme trabalho de Soares (2014), no qual se adotou os procedimentos e padrões de uso e ocupação do regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais (RTQ-R) (INSTITUTO..., 2010), na compatibilização dos métodos.

A escolha da zona bioclimática 2 como ambiente de estudo deve-se à grande sazonalidade, com verões quentes e invernos bastante rigorosos.

O objetivo geral desse trabalho é avaliar as prescrições de desempenho térmico da NBR 15575 (ABNT, 2013b) e propor uma metodologia de compatibilização entre os métodos simplificado e de simulação, utilizando, como caso-base, uma edificação térrea de interesse social na zona bioclimática 2.

Método

Os estudos foram feitos com base na realização de simulação computacional, utilizando os softwares *EnergyPlus* versão 8.1 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;
- (c) modelagem e simulação das configurações propostas a serem analisadas;
- (d) critérios de análises das configurações; e
- (e) revisão dos valores de referência.

As etapas do método são demonstradas no fluxograma da Figura 1.

Definição do objeto de estudo

Tipologia e geometria

A edificação escolhida será a definida por Oliveira (2012), a qual atende às especificações do programa Minha Casa Minha Vida 2, possuindo dois dormitórios, sala e cozinha conjugadas e banheiro, totalizando 40,8 m², conforme Figura 2.

Definição da temperatura do solo

Simulações realizadas por Sorgato *et al* (2014), através do procedimento de simulação da NBR 15575-1, mostraram que as condições do piso da edificação em contato com o solo impactam significativamente no desempenho térmico da residência.

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.

Conforme Oliveira (2012), testes com casos extremos de paredes e coberturas com baixa transmitância (1,00 W/m²K) e alta transmitância (5,00 W/m²K), para o mesmo objeto de estudo, na zona bioclimática 2, demonstraram uma variação máxima de 2°C na temperatura do solo, 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.

Figura 2 - Planta baixa da edificação (caso-base)



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

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 W/m²K e capacidade térmica de 130 KJ/m²K. 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, 2013b). Para o caso-base, utilizou-se a absorvância média.

Para a cobertura utilizou-se o valor da transmitância térmica de 2,30 W/m²K. 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 KJ/m²K 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).

Ventilação

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013b), as simulações foram consideradas com 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. 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 nova configuração da taxa de ventilação com 5 ren/h.

Padrão de ocupação

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013b), a edificação estará sem ocupação ou quaisquer ganhos internos.

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 3. 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 4.

Definição do dia típico

A norma não apresenta dias típicos para a zona bioclimática 2. Para determinação dos dias típicos de verão e inverno, utilizou-se o método de tratamento da Akutsu e Vittorino (1991), o mesmo utilizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) na determinação dos dias típicos estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013b).

Adotou-se o arquivo climático *TMY* de Santa Maria, RS, pertencente à zona bioclimática 2, com frequência de ocorrência (FO%) de 5% para o verão e 95% para o inverno. Os dias típicos mais característicos são: dias 27 de dezembro (verão) e 28 de junho (inverno), conforme Tabela 2.

Figura 3 - Orientação do dorm.1 no dia típico verão



Figura 4 - Orientação do dorm.2 no dia típico inverno

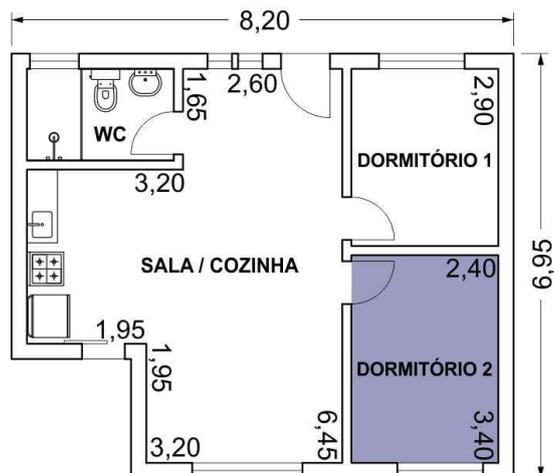


Tabela 2 - Dados dos dias típicos para a Zona Bioclimática 2

Dia típico de verão ZB2				
Data	Temperatura máxima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação solar (W.h/m ²)
27/dez	34,8	15,6	22,8	5113
Dia típico de inverno ZB2				
Data	Temperatura mínima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de bulbo úmido (°C)	Radiação solar (W.h/m ²)
28/jun	2,0	21,0	7,0	3261

Observa-se que a temperatura externa do dia típico de inverno, da ZB2, é de 2,0°C. Segundo os critérios da NBR 15575, são aprovadas todas as edificações que apresentem temperatura interna 3°C superior à externa, ou seja, basta que a temperatura interna alcance 5°C para que uma edificação da zona bioclimática 2 seja aprovada por ter atendido aos quesitos mínimos.

Modelagem e configuração de simulação do caso-base

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, como *designday*.

Modelagem e simulação das configurações propostas a serem analisadas

Para definir as configurações dos fechamentos opacos a serem analisadas, foram verificados os trabalhos de Oliveira (2012), Silva e Ghisi (2014), além da NBR 15220-2 (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.

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 3. A probabilidade também define o percentual dos valores nas amostras geradas, ou seja, quanto

maior a probabilidade, maior a ocorrência do valor nas amostras.

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 sensibilidades e análises de incertezas utilizando diferentes técnicas matemáticas.

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. Além disso, cada ambiente teria a simulação para o dia típico correspondente e também para o ano todo, resultando em um conjunto de 1.200 simulações.

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.

Critérios de análises das configurações

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 4.

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.

Revisão dos valores de referência

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, nos dias típicos de verão e inverno e se separou as 25% (75 amostras) melhores em cada caso.

Com as 75 melhores combinações, tanto para o dia típico de inverno quanto para o dia típico de verão, foram verificadas quais configurações estavam presentes em ambos os dias típicos.

Tabela 3 - 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

Tabela 4 - 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

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 +1σ (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 - 1σ (desvio padrão) da amostra. A Figura 5 ilustra os limites de desempenho térmico em relação à distribuição da normal.

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).

Modelo de análise dos resultados

Para a análise dos dias típicos, foram feitas figuras com os dados de temperaturas internas do dormitório 1 (referente à temperatura interna

verão) e do dormitório 2 (temperatura interna inverno). Os dados dessas temperaturas estão colocados em eixos que se cruzam exatamente nas temperaturas limites. A temperatura interna de inverno é de 5°C e a de verão de 34,8°C. O gráfico foi dividido em quadrantes para melhor entendimento das configurações analisadas, como mostra a Figura 6.

Para o método de análise de graus-hora, os resultados das amostras são avaliados por atenderem ou não, o desempenho térmico mínimo estabelecido pelo caso-base. As combinações que se encontram no quadrante inferior esquerdo atingiram o desempenho mínimo, ou seja, aquelas que estão com o somatório dos graus-hora abaixo de 9.205 e 9.329, respectivamente para inverno e verão, ilustrado na Figura 7.

Análise dos resultados

Comparação dos dias típicos de inverno e verão com graus-hora de desconforto

Os resultados obtidos foram apresentados, simultaneamente, para o dia típico de inverno e verão. Para o dia típico de inverno a condição mínima de aprovação, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013b), é $T_i > T_e + 3^\circ\text{C}$. Como a temperatura externa do dia típico de inverno é 2°C, são aprovados todos os casos em que a temperatura interna atinja pelo menos 5°C.

Figura 5 - Gráfico da distribuição normal dos desempenhos

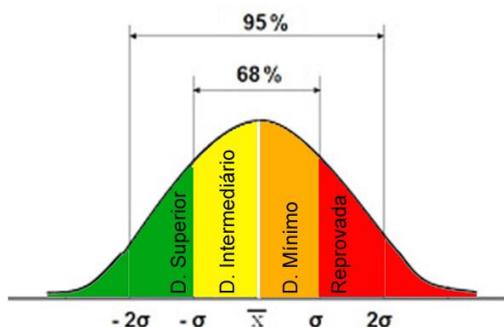


Tabela 5 - Níveis de desempenho para o dormitório 1(N-O)

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

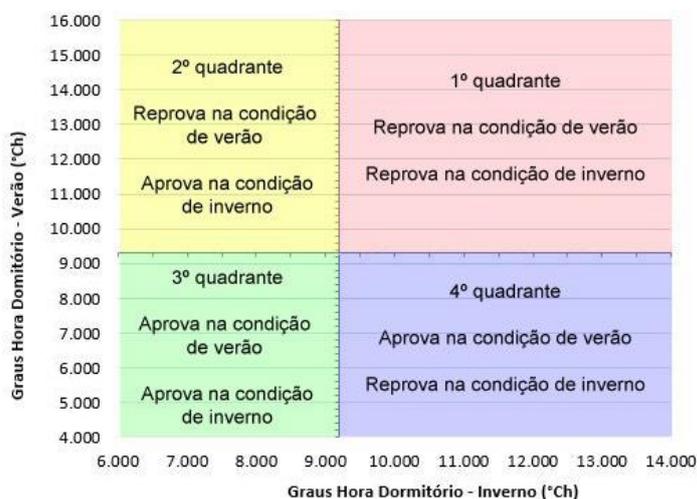
Tabela 6 - Níveis de desempenho para o dormitório 2(S-L)

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

Figura 6 - Quadrantes indicando o critério de avaliação das configurações para os dias típicos de inverno e verão



Figura 7 - Quadrantes indicando o critério de avaliação das configurações para os dias típicos de inverno e verão



As próximas figuras apresentam os resultados das simulações em função da transmitância e capacidade térmica das paredes. Algumas combinações apresentam um ou mais valores fora dos limites indicado na própria NBR 15575 (ABNT, 2013b) para o método simplificado. Nos resultados, quando necessário, já constam as melhorias previstas pela NBR 15575 (sombreamento de 50% da janela, taxa de renovação de ar para 5,0 ren/h e ambas), aplicadas na situação de verão quando a edificação não alcança desempenho mínimo.

As Figuras 8 e 9 reúnem os casos com U_{par} abaixo do limite da norma, no caso $U_{par} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $U_{par} = 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, respectivamente, ambos com CT_{par} entre 40 e 265 $\text{kJ/m}^2\text{K}$ e demais variáveis com valores diversos (AS_{par} , U_{cob} e CT_{cob}).

Observou-se que, sob os critérios de aprovação para o dia típico de inverno, todas as combinações são aprovadas, inclusive algumas configurações

com $U_{cob} = 4,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Em ambos os casos, as temperaturas internas de inverno não ultrapassam os 9°C e percebeu-se que as maiores temperaturas de inverno e menores de verão estão associadas a maiores CT_{par} .

Para o dia típico de verão com $U_{par} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, percebeu-se que, com a configuração padrão, houve um número significativo de reprovações. Mas, quando aplicadas 5 ren/h e/ou sombreamento, foi possível atingir o desempenho mínimo em 80% das configurações anteriormente reprovadas. As configurações reprovadas para o verão se caracterizaram por possuírem $U_{cob} > 2,95 \text{ W/m}^2\text{K}$ ou, simultaneamente, baixa capacidade térmica de parede e cobertura. Para $U_{par} = 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, notou-se que quase a totalidade das configurações reprovadas possuíam $CT_{par} < 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. As configurações aprovadas com $CT_{par} < 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ caracterizaram-se por obterem $U_{cob} < 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, $CT_{cob} > 110 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ e $AS_{par} \leq 5,0$.

Figura 8 - Comparação das simulações para $U_{par} 1,00 W/m^2/K$

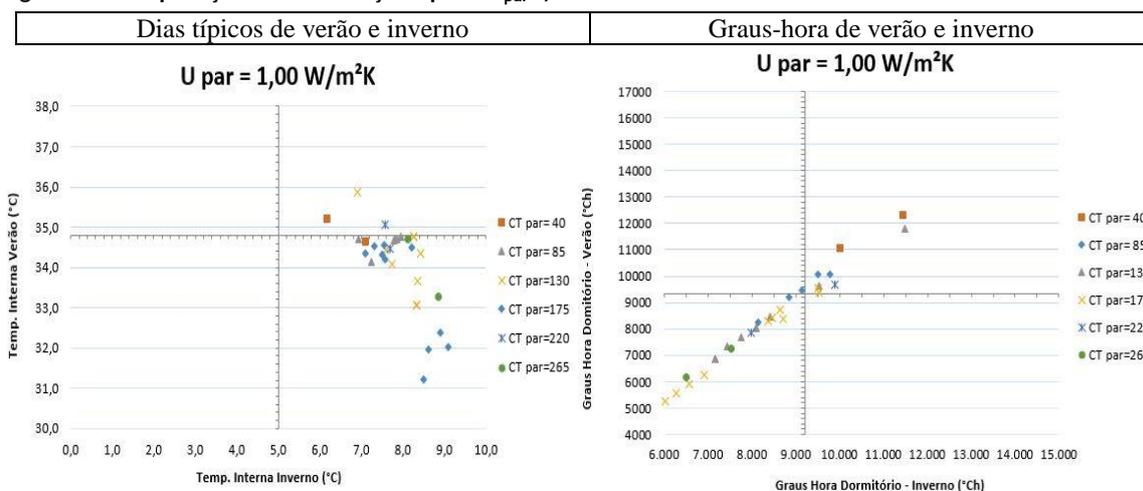
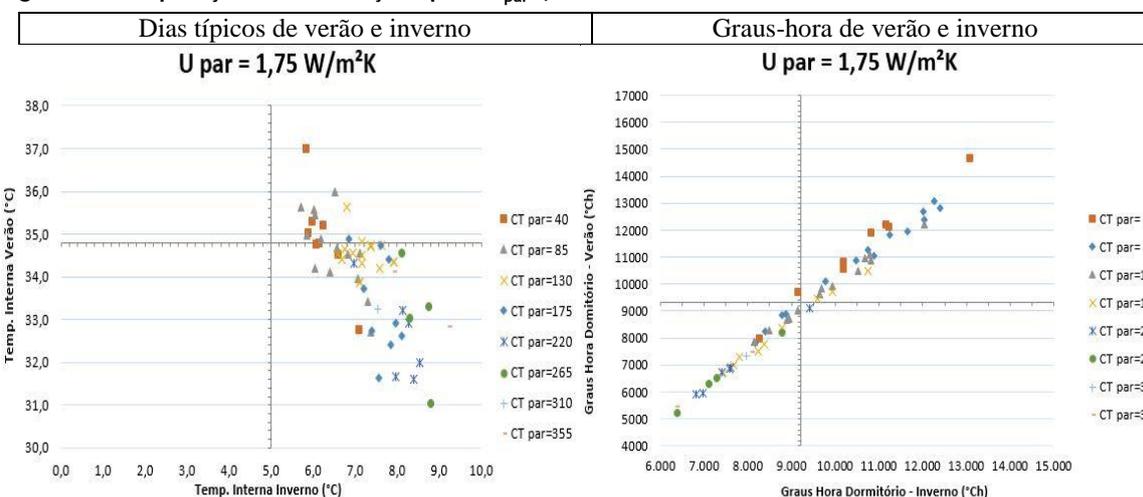


Figura 9 - Comparação das simulações para $U_{par} 1,75 W/m^2/K$



Na análise por graus-hora, foi possível perceber que o número de combinações aprovadas foi bem menor em relação aos dias típicos. Em uma análise mais detalhada, percebeu-se que das 20 configurações que atingiram o desempenho térmico mínimo 16 delas estavam com todas as variáveis dentro dos limites da NBR 15575 (ABNT, 2013b). Raras combinações com $CT_{par} = 85 kJ/m^2K$ conseguiram aprovação. Ao contrário da análise pelos dias típicos por graus-hora, as configurações reprovadas para verão foram as mesmas reprovadas para inverno.

Na Figura 10, foi possível perceber que apenas uma combinação não atingiu o desempenho térmico mínimo no dia típico de inverno, na qual $CT_{par} = 40 kJ/m^2K$ e $CT_{cob} = 20 kJ/m^2K$, ou seja, mesmo no limite máximo de U_{par} , o método de simulação aprova configurações com $CT_{par} < 130 kJ/m^2K$, que representa o limite mínimo pelo método simplificado.

Pela análise de graus-hora, os resultados se mostraram melhores a partir de $CT_{par} \geq 130 kJ/m^2K$. Para as configurações com $CT_{par} \geq 220 kJ/m^2K$, 96% das amostras atenderam ao desempenho térmico mínimo, independentemente dos valores da U_{cob} e CT_{cob} . Destaca-se o grande número de configurações com $CT_{par} = 130 kJ/m^2K$ que não atingiram o desempenho térmico mínimo, sendo que aproximadamente 50% dessas configurações estavam com os valores limites dentro do estabelecido na norma para o método simplificado. Isso demonstra que é pertinente a condução de uma alteração dos limites estabelecidos para $CT_{par} \geq 175 kJ/m^2K$. O caso-base foi estabelecido conforme os limites de aprovação para o método simplificado, porém, a NBR 15575 (ABNT, 2013b) não limita grandezas como CT_{cob} e AS_{par} , cujos valores podem conduzir uma configuração adequada ao método simplificado, a ser reprovada por simulação. É justamente nesses casos que a elevação do CT_{par}

possibilita atingir o nível de aprovação por simulação.

Nas Figuras 11, 12 e 13, que apresentam, respectivamente, as configurações com $U_{par} = 3,25$, $4,00$ e $4,75$ W/m^2K , foi possível perceber que, pelos dias típicos, a maioria das configurações ainda são aprovadas, sendo algumas com $CT_{par} < 130$ kJ/m^2K . Para $U_{par} = 3,25$ W/m^2K percebeu-se que aproximadamente metade das configurações com $CT_{par} = 40$ kJ/m^2K foram aprovadas para o inverno, embora amplamente reprovadas para o verão. Para todos os valores de U_{par} , notou-se que a maioria das configurações foram facilmente aprovadas. Com $U_{par} = 4,00$ W/m^2K , uma configuração com $U_{cob} = 4,25$ W/m^2K , $CT_{par} = 265$

kJ/m^2K , $AS_{par} = 7,0$ e $CT_{cob} = 245$ kJ/m^2K atingiu o desempenho térmico mínimo.

Para a análise com $U_{par} = 4,75$ W/m^2K , é surpreendente o número elevado de configurações que atingiram o desempenho térmico mínimo, sob critérios de dias típicos.

Sob o aspecto de graus-hora, as combinações com $U_{par} > 2,50$ W/m^2K foram reprovadas em sua expressiva maioria, representando um forte indício de que o valor limite de $U_{par} \leq 2,50$ W/m^2K esteja correto. Para $U_{par} = 3,25$ W/m^2K , apenas 40% delas atingiram o desempenho térmico mínimo. Nenhuma das configurações com $CT_{par} < 130$ kJ/m^2K alcançou aprovação.

Figura 10 - Comparação das simulações para $U_{par} = 2,50$ Wm^2/K

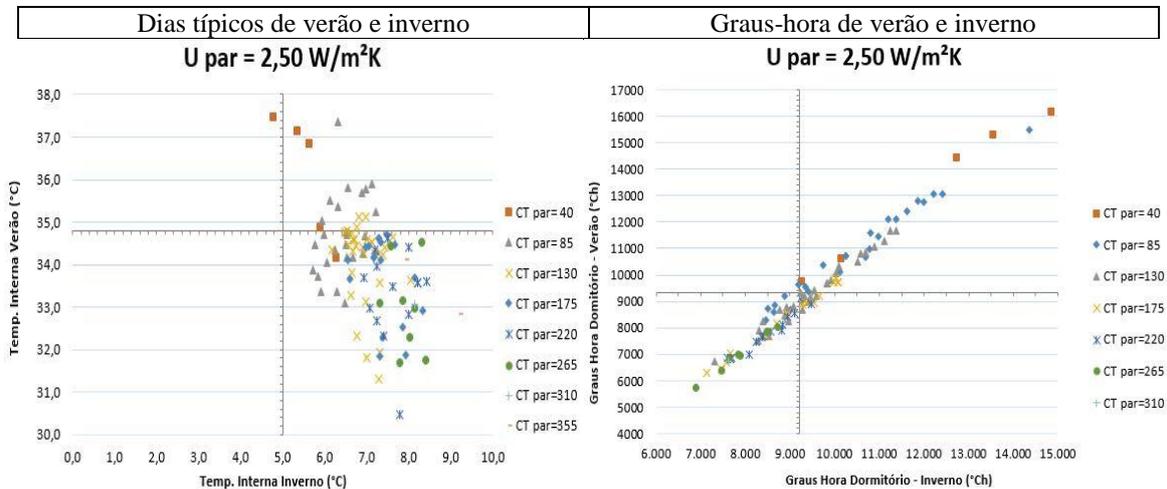


Figura 11 - Comparação das simulações para $U_{par} = 3,25$ Wm^2/K

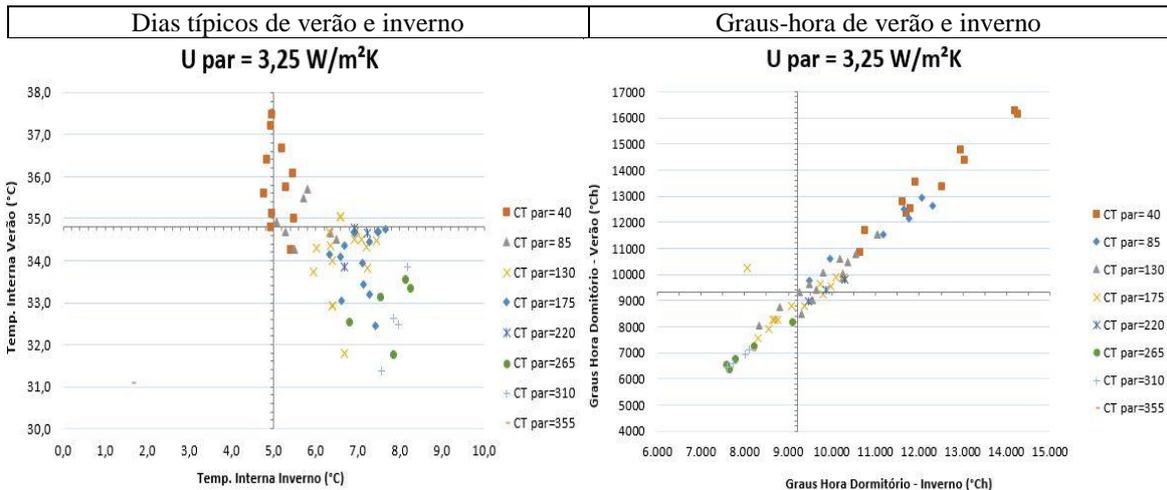


Figura 12 - Comparação das simulações para $U_{par} = 4,00 \text{ W/m}^2\text{K}$

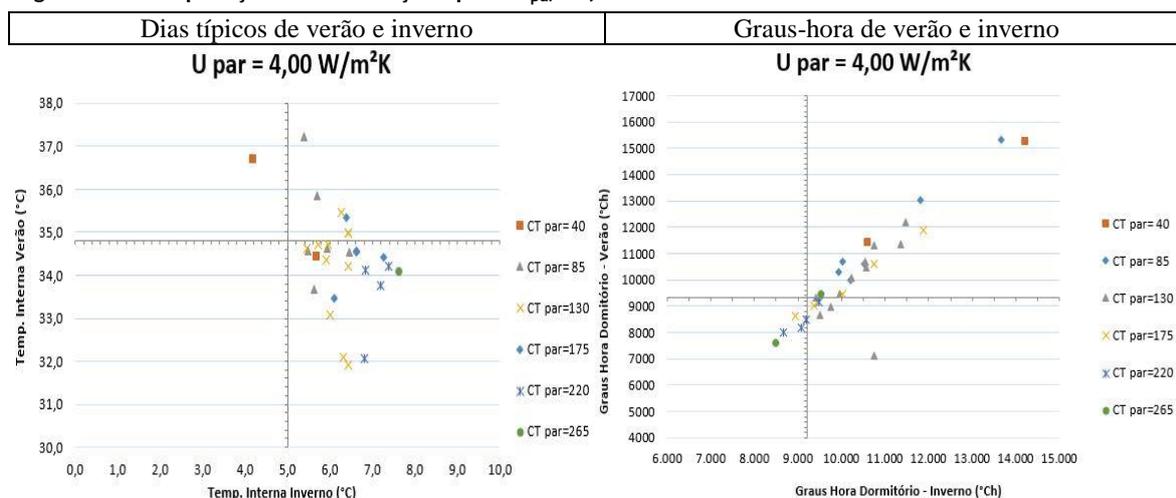
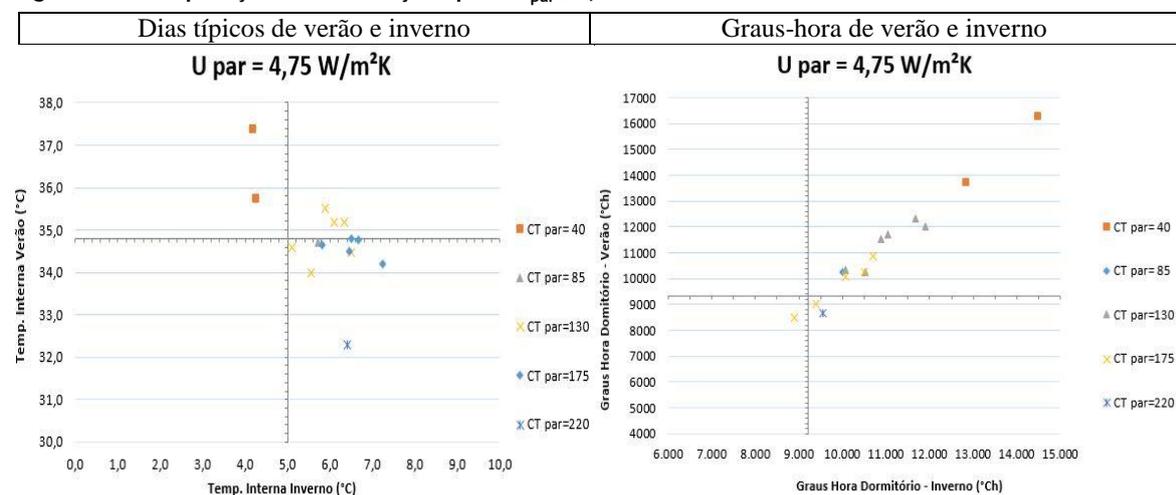


Figura 13 - Comparação das simulações para $U_{par} = 4,75 \text{ W/m}^2\text{K}$



Para $U_{par} = 4,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, com relação ao dormitório 2 (inverno), apenas 17% das amostras atingiram o desempenho térmico mínimo. Para o dormitório 1 (verão), esse percentual aumentou para 44% das que atingiram o desempenho térmico mínimo. Isso se explica devido ao fato de o dormitório 1 estar localizado na orientação solar favorável para a incidência solar no período de inverno, que é o período mais crítico para a zona bioclimática 2.

Na análise de $U_{par} = 4,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, praticamente todas as configurações foram reprovadas e com elevada quantidade de graus-hora, como é o caso da configuração com $CT_{par} = 40 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, que atingiu mais de 16.000 graus-hora de desconforto no verão e mais de 14.000 graus-hora de desconforto no inverno, ou seja, a quantidade de graus-hora de desconforto é superior aos graus-hora externo. Nessa análise, as amostras que

atingiram o desempenho térmico mínimo tiveram a $U_{cob} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $CT_{cob} \geq 220 \text{ kJ/m}^2\text{K}$.

Diferente da análise anterior, as amostras com melhores resultados foram aquelas que apresentaram $CT_{par} \geq 265 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, em que 100% delas atingiram o desempenho térmico, ou seja, se uma edificação possuir valores de $CT_{par} \geq 265 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, será possível obter a aprovação.

Das 214 combinações, com pelo menos uma variável fora dos limites da NBR 15575 (ABNT, 2013b), apenas 57 delas, o que equivale a 26%, não atingiram o desempenho térmico mínimo pelo dia típico. Em alguns casos, mesmo que todas as variáveis da configuração não tenham atendido à norma, ainda assim, atingiu-se a temperatura base para o desempenho térmico.

Pode-se verificar que o método de simulação pelo dia típico aprova, sem maiores dificuldades, configurações que não seriam aprovadas pelo

método simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013b).

As análises pelos graus-hora tiveram um comportamento bem diferente. Além de uma coerência entre análise de inverno e verão, o método através dos graus-hora apresentou maior correlação entre as configurações e os resultados, levando em consideração os valores limites estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013b).

Porém, a análise refere-se a 9.329 GhD, que corresponde a quase 60% dos GhD do ambiente externo. Cabe nesse momento questionar os valores limites especificados pelo método simplificado, adotados como caso-base. A revisão desses limites parte para obtenção de novos valores de referência de graus-hora.

Análise de comportamento das variáveis simuladas para a determinação dos limites para o método simplificado

Para avaliar os novos valores de referência, foi verificado quantas vezes cada variável apareceu entre as 75 melhores configurações, tanto para inverno quanto para verão.

As figuras a seguir foram divididas em decorrência de cada dormitório (1 e 2). A Figura 14 ilustra as ocorrências para a transmitância térmica de paredes.

É possível perceber pela análise gráfica, que o valor da transmitância térmica das paredes de 2,50 W/m²K representa um divisor, visto que até esse valor existe o número maior de ocorrências. Pode-se constatar, igualmente, que as menores transmitâncias são mais importantes para o desempenho do dormitório 2 (inverno) do que para o dormitório 1 (verão). Para a condição de inverno, 87% das 75 amostras possuíam transmitância da parede igual ou inferior a 2,50 W/m²K, enquanto

para a condição de verão 69% das 75 amostras possuíam transmitância da parede igual ou inferior a 2,50 W/m²K. O valor de transmitância da parede de 2,50 W/m²K apresenta-se muito pertinente para ser adotado como valor limite.

Para a capacidade térmica das paredes, a Figura 15 ilustra as ocorrências para os dois dormitórios.

Com relação a CT_{par}, o valor de 175 kJ/m²K se destaca como possível limite inferior, já que para ambos os dormitórios, na maioria das 75 amostras (73% do verão e 77% do inverno), há ocorrências de valores maiores ou iguais a 175 kJ/m²K. Esse valor já havia sido apontado nas análises anteriores. A NBR 15575 (ABNT, 2013b) adota o valor limite da CT_{par} ≥ 130 kJ/m²K.

Referente à absorvância solar das paredes, a Figura 16 mostra as ocorrências para os dois dormitórios.

Nessa análise, é possível perceber a influência da absorvância solar em relação à orientação solar, visto que a cor mais clara é boa para o dormitório 1 e ruim para o dormitório 2. Em relação à cor mais escura ocorre o contrário: é boa para o dormitório 2 e ruim para o dormitório 1. Somando-se os resultados de ambos os dormitórios, a cor média foi a que apresentou maior frequência. Nesse sentido, a NBR 15575 (ABNT, 2013b) parece estar adequada a não determinar uma absorvância limite para a ZB2.

Em relação à transmitância térmica da cobertura, os resultados estão na Figura 17.

Observando as ocorrências da transmitância térmica da cobertura, é possível perceber a diferença entre U_{cob} = 2,30 W/m²K e U_{cob} = 2,95 W/m²K, ficando bem marcado o limite de U_{cob} ≤ 2,30 W/m²K, estabelecido na NBR 15575.

Na última verificação, a Figura 18 ilustra as ocorrências referentes à capacidade térmica da cobertura.

Figura 14 - Ocorrência dos valores de transmitância térmica das paredes nos dormitórios 1 e 2

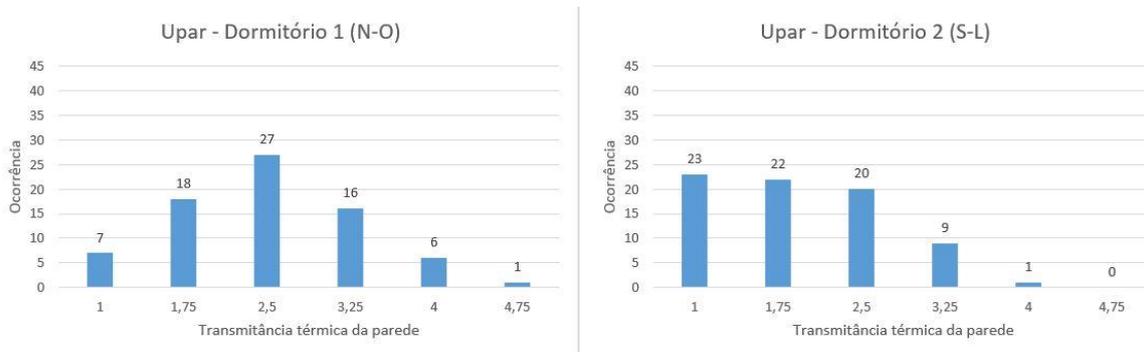


Figura 15 - Ocorrência dos valores de capacidade térmica das paredes nos dormitórios 1 e 2

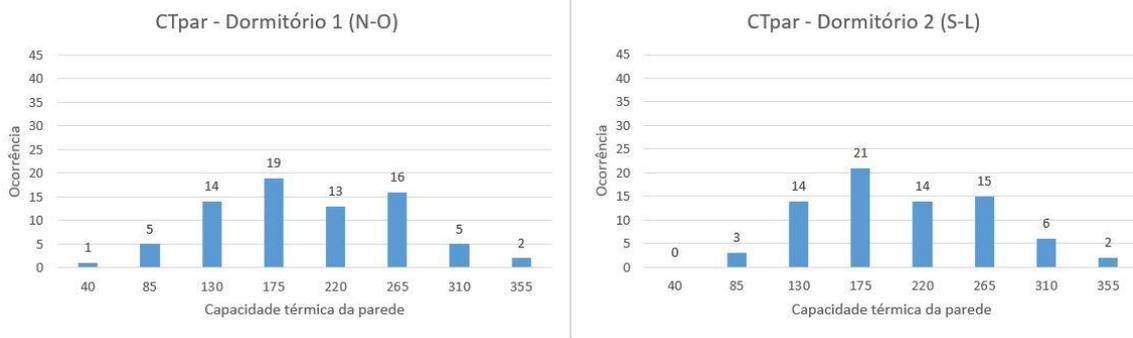


Figura 16 - Ocorrência dos valores de absorvância solar das paredes nos dormitórios 1 e 2

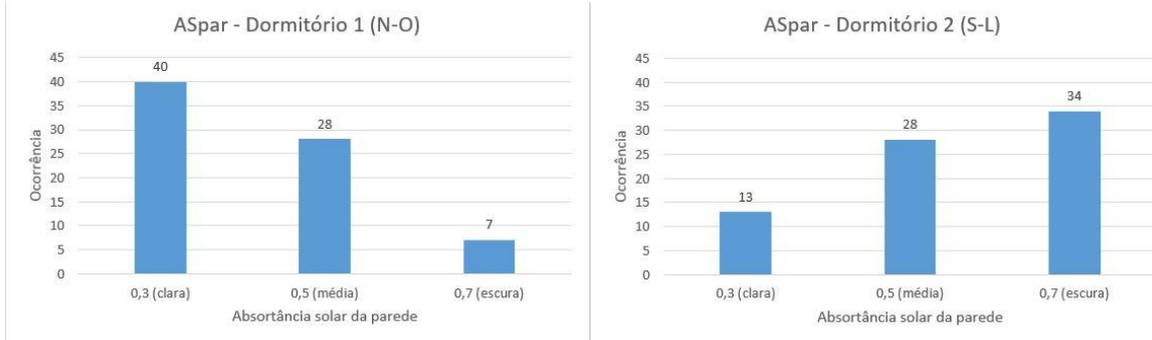


Figura 17 - Ocorrência dos valores de transmitância térmica da cobertura nos dormitórios 1 e 2

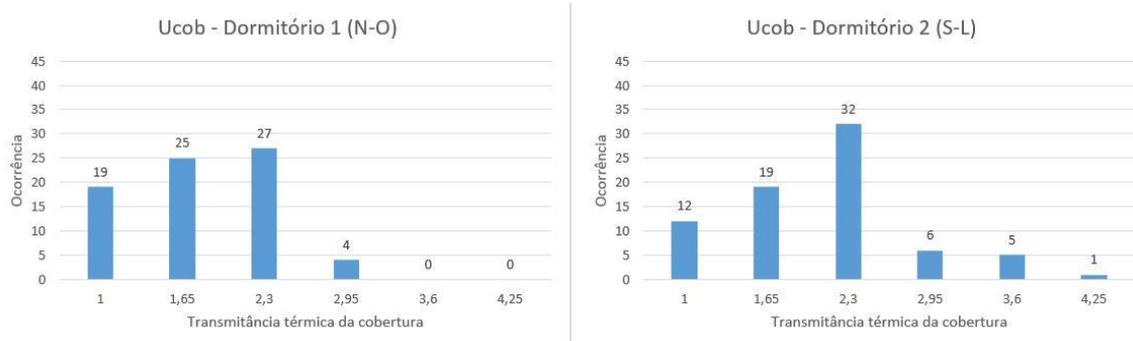
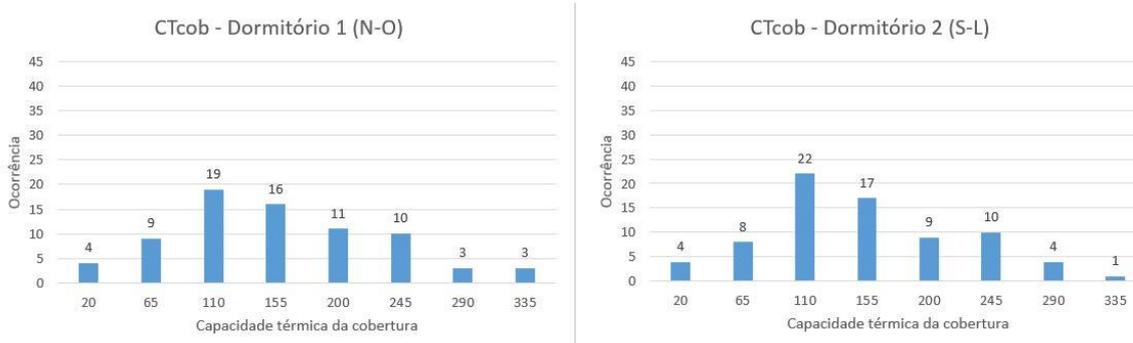


Figura 18 - Ocorrência dos valores de capacidade térmica da cobertura nos dormitórios 1 e 2



Em relação à CT_{cob} , fica bem destacado o valor de $110 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. A NBR 15575 (ABNT, 2013b) não menciona nenhum valor limite para CT_{cob} , mas, como visto nos resultados anteriores, valores muito baixos não apresentam bons resultados no desempenho térmico da edificação.

Esses resultados mostraram o percentual de ocorrência das 75 melhores amostras. Porém, cabe destacar que os valores que tiveram maiores números de aparições não necessariamente serão os melhores valores a se utilizar para buscar melhor desempenho térmico na edificação. Eles foram ilustrados para justificar a adoção dos novos valores limites a serem utilizados nas análises seguintes. Os valores limites ficaram estabelecidos conforme Tabela 7.

Para verificar qual ou quais valores estão relacionados a um melhor desempenho térmico, deve-se ponderar as configurações totais geradas para cada valor. Por exemplo: $U_{par} = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ aparece em muito mais configurações que a $U_{par} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$, conforme ocorrência definida para cada valor pelo método do hipercubo latino.

Então, para estabelecer a ocorrência real de cada valor das variáveis, foi necessário verificar quantas combinações foram geradas, no universo das 300 combinações, e dividir o resultado pelo número de

aparições entre as 75 melhores configurações dos dormitórios 1 e 2.

Cabe destacar que existem casos em que a configuração está presente em ambos os dormitórios. Para que essa configuração não seja computada duas vezes, foi necessário somar-se as ocorrências de cada um dos dormitórios e, com esse total, subtrair-se as ocorrências que acontecem em ambos.

A Tabela 8 e a Figura 19 apresentam a ocorrência real da U_{par} .

Nessa análise é possível perceber um percentual bem elevado da $U_{par} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ em relação às demais, mostrando que cerca de 80% das suas configurações estão entre as 75 melhores dos dormitórios. Analisando os demais valores, percebe-se uma queda mais suave, que só é acentuada para $U_{par} = 4,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, com pouco mais de 6% entre as 75 melhores.

A Figura 19 demonstra que quanto menor a transmitância das paredes maior a chance da edificação ter um melhor desempenho.

Para os valores de capacidade térmica das paredes, a Tabela 9 e a Figura 20 mostram a ocorrência real.

Tabela 7 - Novos limites adotados para o método simplificado

Transmitância térmica da parede (U_{par})	Capacidade térmica da parede (CT_{par})	Transmitância térmica da cobertura (CT_{cob})	Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})
2,50	175	2,30	110

Tabela 8 - Ocorrência real da transmitância térmica das paredes

U_{par}	Ocorrência (nº vezes)				Ocorrência em relação às 300 combinações (nº vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
1,00	7	23	7	23	30	76,67%
1,75	18	22	15	25	60	41,67%
2,50	27	20	12	35	105	33,33%
3,25	16	9	6	19	60	31,67%
4,00	6	1	0	7	30	23,33%
4,75	1	0	0	1	15	6,67%

Figura 19 - Gráfico da ocorrência real da transmitância térmica das paredes



Tabela 9 - Ocorrência real da capacidade térmica das paredes

CT_{par}	Ocorrência (n° vezes)				Ocorrência em relação às 300 combinações (n° vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
40	1	0	0	1	30	3,33%
85	5	3	1	7	60	11,67%
130	14	14	2	26	90	28,89%
175	19	21	11	29	60	48,33%
220	13	14	8	19	30	63,33%
265	16	15	12	19	21	90,48%
310	5	6	5	6	6	100%
355	2	2	1	3	3	100%

Figura 20 - Gráfico da ocorrência real da capacidade térmica das paredes



Analisando os dados, é possível identificar a baixa ocorrência de configurações com $CT_{par} \leq 130$ kJ/m²K, ou seja, em nenhuma delas foi possível atingir 30% de ocorrência real. Isso justificaria a alteração da capacidade térmica mínima da parede de 130 kJ/m²K para 175 kJ/m²K. Outro dado interessante é o excelente desempenho das configurações com $CT_{par} \geq 310$ kJ/m²K, pois todas as combinações com esse valor na variável estavam entre as 75 melhores configurações para os dormitórios 1 e 2, independentemente dos valores das outras variáveis.

Em relação à absorvância solar das paredes, a Tabela 10 e a Figura 21 mostram os resultados da ocorrência real.

Nessa análise é possível perceber que a absorvância de maior ocorrência real foi a com cor clara (0,3). A cor média (0,5) foi a que teve ocorrência menor, mas, levando-se em consideração a ocorrência em ambos os dormitórios, foi a que mais esteve presente e a que mais se justificaria utilizar.

A Tabela 11 e a Figura 22 apresentam os dados referente à ocorrência da transmitância térmica da cobertura.

Pela figura é possível perceber os três valores de maior ocorrência real em relação à transmitância térmica da cobertura, destacando bem o limite de $U_{cob} \leq 2,30$ W/m²K. Cabe explanar o grande percentual da $U_{cob} = 1,00$ W/m²K, que mais de 60% das amostras com esse valor estão entre as 75 melhores configurações nos dois dormitórios. Assim como se pode perceber com as paredes, quanto menor a transmitância da cobertura maior a chance de um melhor desempenho da edificação.

É importante salientar que houve uma pequena elevação entre as transmitâncias térmicas de 2,95 W/m²K e 3,6 W/m²K. Para verificar se essa hipótese é coerente, foram configuradas essas combinações e simuladas manualmente e confirmou-se o apontado na figura. Verificou-se que 3 das 5 amostras entre as 75 melhores possuíam $CT_{par} \geq 220$ kJ/m²K, fazendo com que a configuração tivesse um desempenho favorável.

Tabela 10 - Ocorrência real da absortância solar das paredes

AS _{par}	Ocorrência (nº vezes)				Ocorrência em relação às 300 combinações (nº vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
0,3 (clara)	40	13	10	43	99	43,43%
0,5 (média)	28	28	23	33	102	32,35%
0,7 (escura)	7	34	7	34	99	34,34%

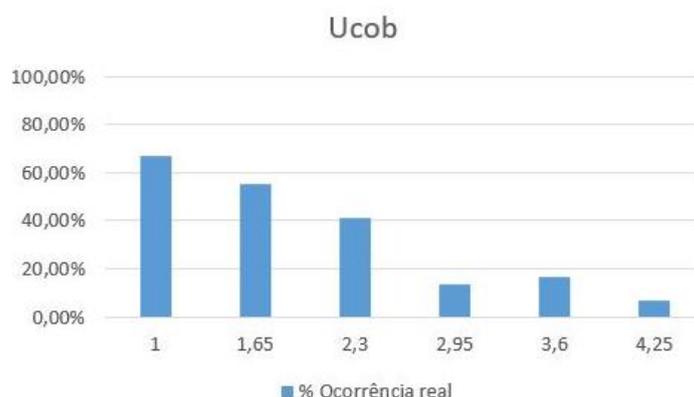
Figura 21 - Gráfico da ocorrência real da transmitância térmica da cobertura



Tabela 11 - Ocorrência real da transmitância térmica da cobertura

U _{cob}	Ocorrência (nº vezes)				Ocorrência em relação às 300 combinações (nº vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
1,00	19	12	11	20	30	66,67%
1,65	25	19	11	33	60	55,00%
2,30	27	32	16	43	105	40,95%
2,95	4	6	2	8	60	13,33%
3,60	0	5	0	5	30	16,67%
4,25	0	1	0	1	15	6,67%

Figura 22 - Gráfico da ocorrência real da transmitância térmica da cobertura



Na análise em relação à capacidade térmica da cobertura, os dados estão ilustrados na Tabela 12 e Figura 23.

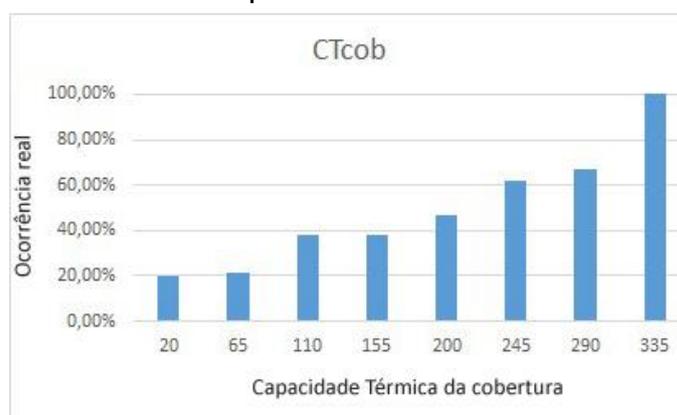
Referente aos dados de ocorrência real da CT_{cob}, é possível perceber que quanto maior a CT_{cob}, melhor é o desempenho térmico. Diferentemente

da capacidade térmica da parede, que com o CT_{par} ≥ 310 kJ/m²K já se atingia os 100% de ocorrência, na capacidade térmica da cobertura esse percentual de 100% só foi atingido para CT_{par} ≥ 335 kJ/m²K. Isso indica que a influência da CT_{cob} é menor do que a CT_{par} no desempenho térmico da edificação.

Tabela 12 - Ocorrência real da capacidade térmica da cobertura

CT _{cob}	Ocorrência (nº vezes)				Ocorrência em relação às 300 combinações (nº vezes)	% Ocorrência real
	Dorm.1	Dorm.2	Ambos	Total		
20	4	4	2	6	30	20,00%
65	9	8	4	13	60	21,67%
110	19	22	7	34	90	37,78%
155	16	17	10	23	60	38,33%
200	11	9	6	14	30	46,67%
245	10	10	7	13	21	61,90%
290	3	4	3	4	6	66,67%
335	3	1	1	3	3	100%

Figura 23 - Gráfico da ocorrência real da capacidade térmica da cobertura



Conclusão parcial das análises das variáveis

A análise por meio da ocorrência real serviu para ilustrar como cada uma das variáveis influencia no desempenho térmico na edificação, e que valores individuais proporcionam melhores resultados de desempenho térmico independentemente dos valores de outras variáveis que estão vinculadas à edificação.

Análise dos graus-hora adotando os novos valores de referência

Nessa parte do trabalho serão analisados os graus-hora das 300 configurações, levando em consideração os novos valores limites dos graus-hora, que foram estabelecidos tomando-se como base os novos valores de referência. Os limites dos graus-hora estão divididos em dois parâmetros: um estabelecido para o dormitório 1, orientado para norte-oeste, e o outro para o dormitório 2, orientado para sul-leste.

As três cores, colocadas dentro das figuras, representam o nível de cada desempenho alcançado pelas configurações. A cor laranja representa os limites para o desempenho térmico mínimo. A cor amarela representada os limites para o desempenho térmico intermediário. A cor verde representa os limites estabelecidos para o

desempenho térmico superior. As configurações que não estiverem dentro desses limites são consideradas como reprovadas (não atingiram o desempenho térmico mínimo).

A Figura 24 apresenta os resultados para a $U_{par} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Em relação a essa análise, foi possível verificar que, das configurações aprovadas, 37,5% obtiveram nível de desempenho superior. Porém, o mais importante foi que todos os casos cujos parâmetros estavam de acordo com os novos limites propostos alcançaram aprovação, nesse caso superior, o que confirma a pertinência dos limites adotados para essas variáveis.

Na Figura 25, os resultados são apresentados para a $U_{par} = 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Analisando os dados dos graus-hora, é perceptível que 86% das configurações que obtiveram, pelo menos, o desempenho térmico mínimo, encontram-se entre as combinações dentro dos novos limites adotados. As configurações com $CT_{par} = 175 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ que foram reprovadas estavam com as demais variáveis fora dos limites estabelecidos. Observou-se que apenas um caso, cujas variáveis estavam dentro dos limites estabelecidos, foi reprovado, isso aconteceu para o dormitório 1. Nessa situação, a configuração

estava com o valor de $CT_{cob} = 245 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, situação na qual durante o dia a cobertura absorve muito calor e passa a irradiar o calor à noite para o interior da edificação.

Outro dado importante é a utilização do valor do novo limite máximo de graus-hora, em vez dos 9.329 Gh utilizados para o caso-base anterior. Se fossem utilizados os graus-hora de referência antigos, muito mais configurações seriam aprovadas, mesmo estando fora dos limites estabelecidos.

As análises dos graus-hora para $U_{par} = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ estão expostos na Figura 26.

Observou-se que 88% das configurações que atingiram o nível de desempenho mínimo possuíam o $CT_{par} > 175 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, salvo uma configuração que tinha $CT_{par} = 130 \text{ kJ/m}^2\text{K}$. Isso reforça a coerência do novo limite de $CT_{par} \geq 175 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ e o novo valor de referência dos graus-hora, levando em consideração os dois dormitórios.

Figura 24 - Análise dos graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ (novos valores de referência)

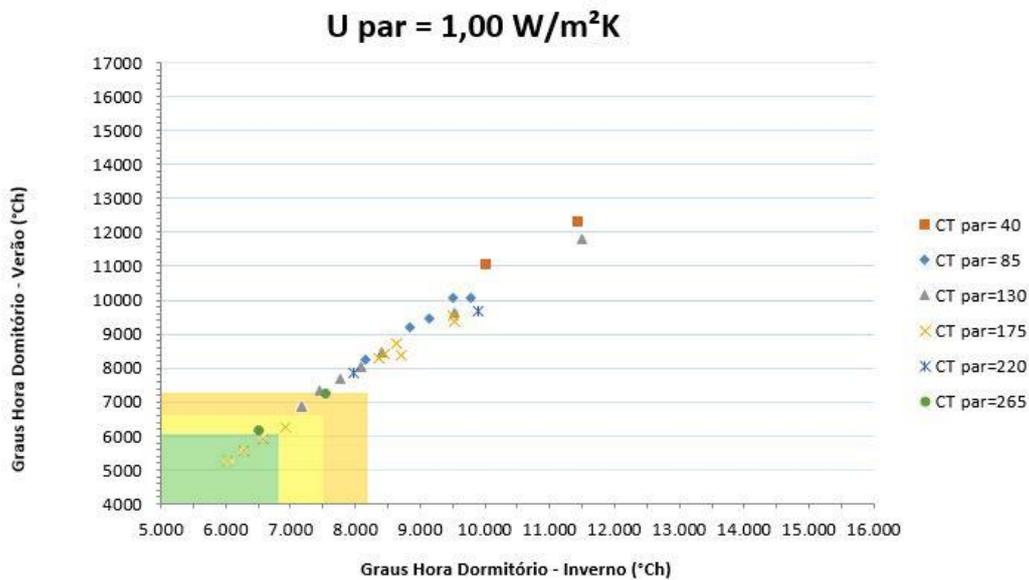


Figura 25 - Análise dos graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ (novos valores de referência)

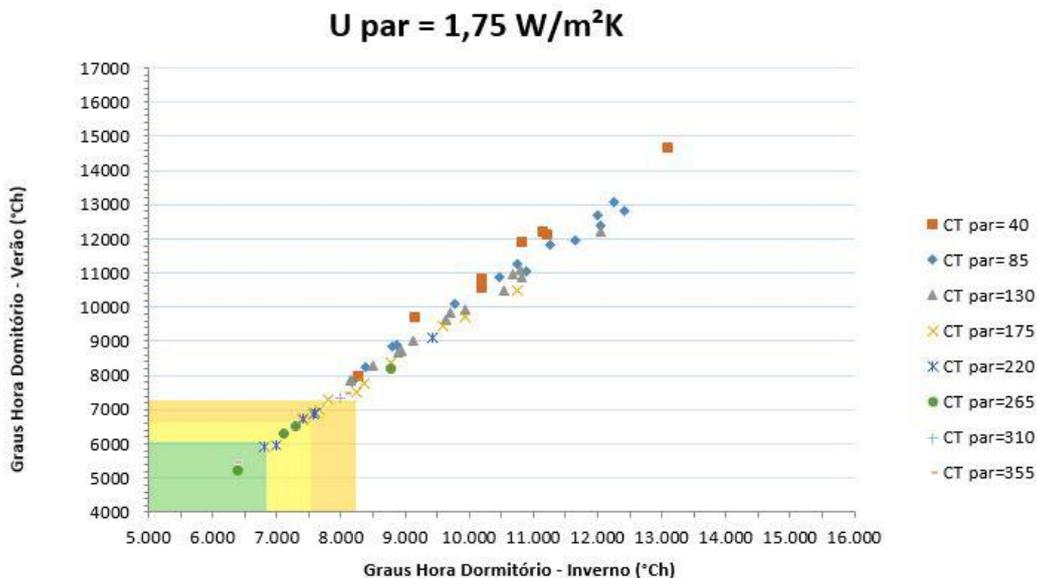
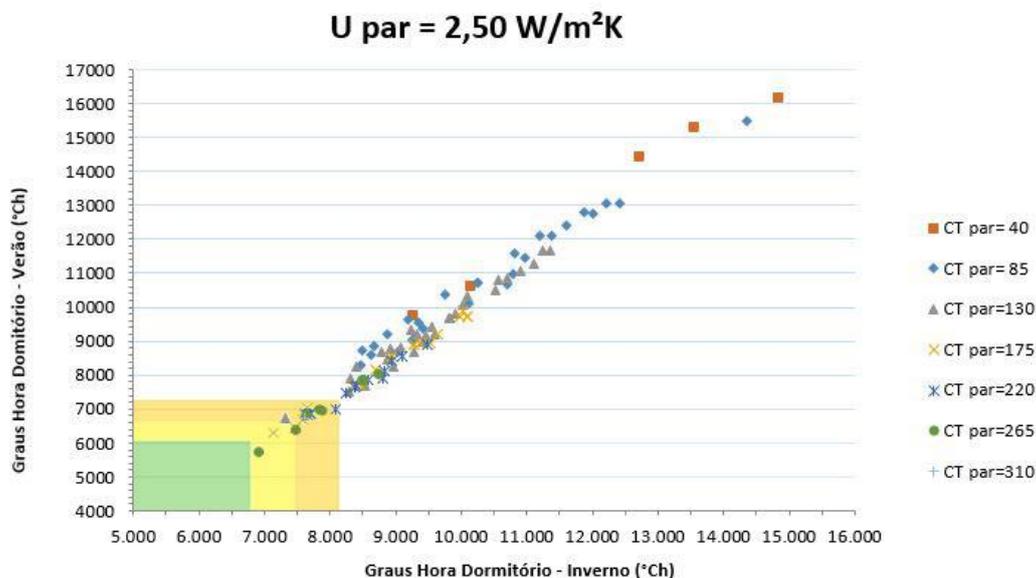


Figura 26 - Análise dos graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} = 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ (novos valores de referência)



Quanto à absorvância, há uma tendência de que a intermediária apresente melhores resultados ao longo do ano. Isso acontece porque as absorvâncias clara e escura se mostram favoráveis para um período do ano e desfavoráveis para outro, fazendo com que a configuração venha a ter um somatório maior de graus-hora no ano.

Para $U_{par} = 3,25 \text{ W/m}^2\text{K}$, os dados são apresentados na Figura 27.

Em relação às configurações que atingiram o desempenho térmico mínimo, os resultados mostraram que para $U_{par} = 3,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ é possível atingir tal desempenho desde que $CT_{par} \geq 265 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ e $CT_{cob} \geq 65 \text{ kJ/m}^2\text{K}$, quando $U_{cob} \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

A Figura 28 mostra os resultados obtidos para a $U_{par} = 4,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Nos graus-hora dessa análise, nota-se que nenhuma configuração conseguiu atingir o nível mínimo de desempenho térmico, diferentemente da análise dos mesmos graus-hora utilizando-se o valor de referência do caso-base anterior, que era de 9.329 Gh, no qual foi demonstrada uma quantidade significativa de combinações que atingiram o desempenho térmico mínimo. Através desses dados, nota-se que a alteração nos limites dos graus-hora demonstrou-se positiva.

Os graus-hora para a $U_{par} = 4,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ estão ilustrados na Figura 29.

Como aconteceu na análise anterior, os graus-hora da $U_{par} = 4,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ também não obtiveram nenhuma configuração que atingisse o nível mínimo de desempenho térmico. Com isso, é possível verificar a relevância dos novos limites de graus-hora para os dormitórios, para reprovar configurações com U_{par} elevada.

Nessas análises dos graus-hora nota-se que as configurações que atingiram o nível de desempenho desejado estão mais coerentes com os limites estabelecidos. Em alguns casos, percebeu-se uma divergência entre os resultados de cada dormitório se comparado à mesma configuração. Isso aponta que, dependendo dos casos, seria necessário alterar a configuração dos fechamentos opacos de um dos dormitórios ou de outro ambiente de permanência prolongada, ou seja, os ambientes deveriam ter configurações diferentes na mesma edificação para atingir o nível satisfatório na edificação, como uma parede com acréscimo de isolamento em determinado ambiente ou mesmo a alteração de determinada característica em toda a edificação, de modo que ambos os dormitórios atendam ao mínimo.

Figura 27 - Análise dos graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} = 3,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (novos valores de referência)

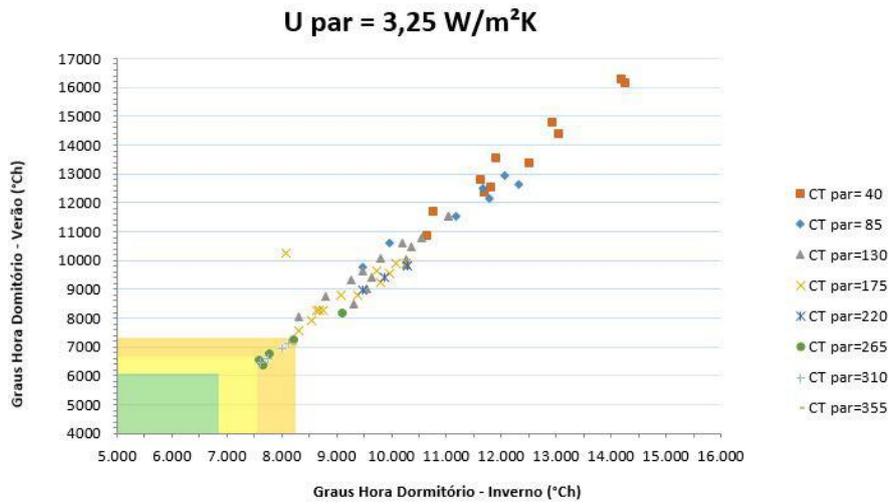


Figura 28 - Análise dos graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} = 4,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ (novos valores de referência)

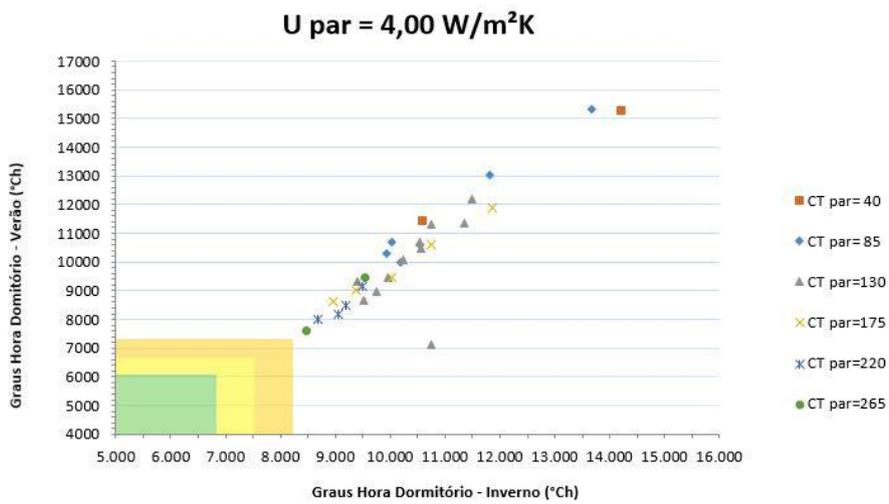
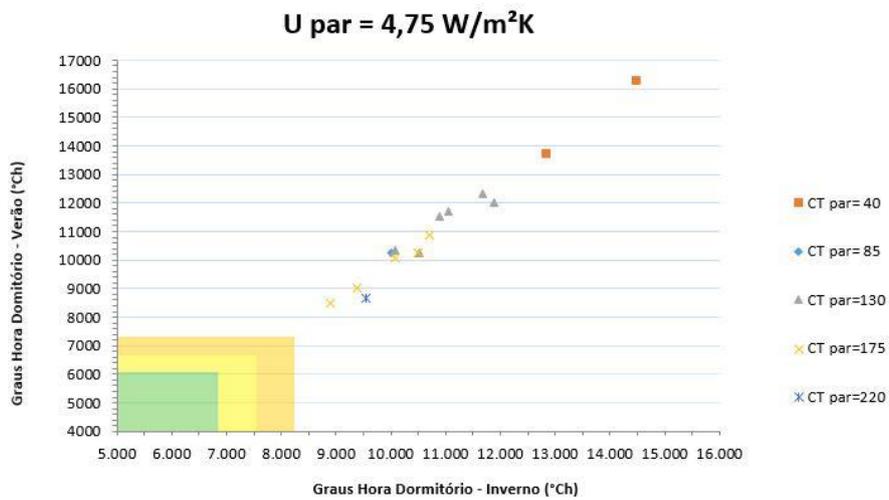


Figura 29 - Análise dos graus-hora para o dormitório 1e 2 com $U_{par} = 4,75 \text{ W/m}^2\text{K}$ (novos valores de referência)



Conclusões

Nas análises referentes ao dia típico de inverno, foi possível perceber um grande número de amostras que conseguiriam a aprovação sem dificuldades, por meio de simulação. Isso se mostrou possível pois para a obtenção de desempenho térmico mínimo era necessário atingir, pelo menos, 5°C de temperatura interna do ambiente. Com isso, abre-se um leque muito grande de combinações aptas a obterem o desempenho necessário, sem ao menos apresentarem características de propriedades térmicas compatíveis com a zona analisada. Esses resultados demonstraram a incoerência entre o método de simulação e o método simplificado.

Referente às análises do dia típico de verão, percebeu-se que a utilização das condicionantes estabelecidas na NBR 15575 (ABNT, 2013b) também facilita a aprovação de configurações com valores de fechamentos opacos muito além dos limites especificados na norma.

Na verificação dos resultados, foi possível perceber que estes se mostram bastante de acordo com os novos limites adotados e as configurações que atingiram o nível de desempenho atendiam aos limites das variáveis. Ficou evidente a relevância dos valores das variáveis, tanto individualmente quanto em combinação com as demais.

O trabalho oferece limites de graus-hora em função da simulação sem ocupação para os dormitórios de verão e inverno a serem avaliados e propõe uma revisão dos valores limites das propriedades térmicas do método simplificado e uma metodologia para estabelecer a coerência entre esses métodos de avaliação de desempenho térmico das edificações pela NBR 15575 (ABNT, 2013b).

Ao fazer uso de uma habitação de interesse social para desenvolver e testar essa metodologia, amplia-se a possibilidade de esses limites serem válidos para habitações de nível econômico mais elevado e outras tipologias, pois o vínculo da referência dos GhD é com as prescrições do método simplificado. Cabe destacar que as análises foram feitas assumindo contato com o solo, gerando uma estabilidade térmica na edificação.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: desempenho de edifícios habitacionais. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: desempenho de edifícios habitacionais: desempenho: parte: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Proposta de Procedimentos para o Tratamento de Dados Climáticos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES, Florianópolis, 1991. **Anais...** Florianópolis, 1991.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do Procedimento Simplificado da NBR 15575 Para Determinação do nível de Desempenho Térmico de Habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014.

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.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Building**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

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.

OLIVEIRA, L. da S. **Avaliação dos Limites das Propriedades Térmicas dos Fechamentos Opacos da NBR 15220-3, Para Habitações de Interesse Social, da Zona Bioclimática 2**. Pelotas, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

ORDENES, M. *et al.* **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no Visualdoe-3.1**. Florianópolis, 2003. Relatório Interno – Departamento de Engenharia Civil, UFSC.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise de Sensibilidade Global dos Parâmetros Termofísicos de Uma Edificação Residencial de Acordo Com o Método de Simulação do RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 135-148, jul./set. 2013.

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.

SILVA, A. S. *et al.* Incerteza do Método de Simulação da NBR 15575-1 Para a Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014.

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. 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.

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.

SORGATO, M. J. *et al.* Análise do Procedimento de Simulação da NBR 15575 Para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações Residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

Macon Motta Soares

Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo | Universidade Federal de Pelotas | Rua Benjamin Constant, 1359, Centro | Pelotas - RS - Brasil | CEP 96010-020 | Tel.: (53) 3284-5500 | E-mail: m_mottas@yahoo.com.br

Antonio César Silveira Baptista da Silva

Departamento de Tecnologia da Construção | Universidade Federal de Pelotas | E-mail: antoniocesar.sbs@gmail.com

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br