

## **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA ELEVAR O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NA ZONA BIOCLIMÁTICA 1**

**Renata Dalbem (1); Eduardo Grala da Cunha (2); Romeu Vicente (3); Rui Oliveira (4);  
Antônio José Figueiredo (5); Antônio César S. B. da Silva (6)**

(1) Arquiteta e urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo UFPEL, renata\_dalbem@hotmail.com, Universidade Federal de Pelotas, Rua Benjamim Constant, 1359, Campus Porto, Centro, Pelotas-RS, Brasil, CEP 96010-020, Tel.: (53) 3284-5501 Ramal 5503

(2) Prof. Dr. Arquiteto e Urbanista da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo UFPEL, eduardogralacunha@yahoo.com.br, Universidade Federal de Pelotas, Rua Benjamim Constant, 1359, Campus Porto, Centro, Pelotas-RS, Brasil, CEP 96010-020, Tel.: (53) 3284-5501 Ramal 5503

(3) Prof. Dr. Engenheiro Civil do Departamento de Engenharia Civil, romvic@ua.pt br, Universidade de Aveiro, Campus Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal, Tel.: +(351) 2 3437-0845

(4) Mestre, Engenheiro Civil do Departamento de Engenharia Civil, ruifoliveira@ua.pt, Universidade de Aveiro, Campus Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal, Tel.: +(351) 2 3437-0845

(5) Dr. Engenheiro Civil do Departamento de Engenharia Civil, ajfigueiredo@ua.pt, Universidade de Aveiro, Campus Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal, Tel.: +(351) 2 3437-0845

(6) Prof. Dr. Arquiteto e Urbanista da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo UFPEL, antoniocesar.sbs@gmail.com, Universidade Federal de Pelotas, Rua Benjamim Constant, 1359, Campus Porto, Centro, Pelotas-RS, Brasil, CEP 96010-020, Tel.: (53) 3284-5501 Ramal 5503

### **RESUMO**

A necessidade de acelerar o processo de construção e reduzir os custos em habitações de interesse social no Brasil apoia-se na adoção de sistemas construtivos racionalizados e projetos padronizados, independente da região onde será construído e inserido. Esse procedimento gera edificações de baixa qualidade, com destaque no débil desempenho térmico e energético. A partir de 2013, com a publicação da NBR 15.575, passou a ser obrigatório atender uma série de critérios e requisitos, a fim de melhorar a qualidade das edificações no país, estando entre eles o desempenho térmico. Porém, os requisitos mínimos exigidos pela norma são pouco exigentes, o que não garante o adequado conforto térmico das edificações. O objetivo deste trabalho é aperfeiçoar o nível de eficiência energética da envoltória da habitação de interesse social através de simulação computacional, considerando critérios de avaliação da NBR 15.575 e índices de desempenho do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). O estudo conclui que com melhorias no envelope foi possível aumentar o conforto térmico em 9% das horas do ano e reduzir o consumo anual de energia para aquecimento em aproximadamente 30%.

Palavras-chave: Habitação de interesse social, NBR 15.575, RTQ-R, simulação dinâmica.

### **ABSTRACT**

The need to enhance the construction process and reduce costs of housing of social interest in Brazil is supported on the adoption of rationalized construction systems and standardized project layouts, regardless of the region where to be built. This procedure leads to poor quality buildings, in particular to low thermal performance and energy saving. From 2013, with the publication of NBR 15.575 Standard, it has become mandatory to meet a series of criteria and requirements in order to improve the overall quality of the buildings in the country, amongst them is the thermal performance. However, the minimum requirements required by the standard are not very demanding, which does not guarantee the thermal comfort of the buildings. The objective of this paper is to improve the energy efficiency level of the housing of social interest through computational simulation, considering criteria of NBR 15.575 and performance indices of

the Technical Regulation of Quality for the Level Energy Efficiency of Residential Buildings (RTQ- R). The study concludes that with improvements in envelope it was possible to increase thermal comfort by 9% of the time of year and reduce annual energy consumption for heating by approximately 30%.

Keywords: Social housing, NBR 15,575, RTQ-R, computer simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, entre 2010 e 2014, houve uma redução do déficit habitacional aproximadamente 2,8% ao ano, passando de 6,941 milhões em 2010, para 6,198 milhões de domicílios em 2014 (FIESP, 2016). Visando uma maior redução do déficit habitacional, foram criadas muitas políticas sociais para o incentivo de construções de habitações de interesse social. No entanto, a necessidade de reduzir o custo de construção, na maioria das vezes, leva a construções de edificações de baixa qualidade, resultando numa vida útil curta.

Para aprovação junto ao órgão financiador, dentre outras recomendações, a edificação deve atender a requisitos mínimos estabelecidos pela norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT 2013). A NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em 2008 e entrou em vigor em 2013. A norma divide-se em seis partes: requisitos gerais; sistemas estruturais; sistemas de pisos; sistemas de vedações verticais internas e externas; sistemas de coberturas e sistemas hidrossantários. Para cada uma delas é definida uma sequência de requisitos e critérios de desempenho e respectivos métodos de avaliação. Entre eles está quantificado o desempenho térmico dos edifícios.

A avaliação do desempenho térmico pode ser feita por três métodos: simplificado, simulação ou medição. No método simplificado, é verificado o atendimento aos requisitos e critérios para o envelope da edificação, com base na transmitância térmica (U) e na capacidade térmica (CT) das paredes externas e cobertura, estabelecidos de acordo com a zona bioclimática. Para atender o nível de desempenho mínimo obrigatório na ZB1 (ABNT, 2013), a transmitância térmica das paredes externas deve ser inferior ou igual a 2,5 (W/m<sup>2</sup>K) e a capacidade térmica deve ser superior ou igual a 130,00 (KJ/m<sup>2</sup>K). Para a cobertura a transmitância térmica tem um requisito, que deve ser inferior ou igual a 2,3 (W/m<sup>2</sup>K). Além das características do envelope é também definida uma proporção de área efetiva de ventilação janela/piso, cujo valor mínimo é de 7% na zona bioclimática 1, visando a ventilação natural (ABNT, 2013).

Se os critérios mínimos não forem atendidos pelo método simplificado deve-se obrigatoriamente proceder ao método de simulação, onde o nível de desempenho é definido através de uma diferença de temperatura mínima entre o ambiente interior e exterior, durante o inverno, e uma diferença de temperatura máxima para o verão, considerando os ambientes de permanência prolongada (ABNT,2013).

Existem diversos estudos sobre desempenho termoenergético de habitações de interesse social. Motta (2014) avaliou as prescrições da NBR 15.575 em habitações de interesse social na zona bioclimática 2 para diferentes configurações de envelope. O autor concluiu que o método de simulação facilita a aprovação de projetos, pois é menos exigente. Através do método de simulação, é possível a aprovação de projetos com configurações de envelope com valores inferiores aos estabelecidos pelo método simplificado da norma.

Barbosa *et al.*, (2016) realizou um estudo onde comprovou melhoria no desempenho térmico de edificações com a aplicação da normativa NBR 15.575. Foi simulado um modelo base, em desacordo com a NBR 15.575 e um modelo adaptado ao parâmetros prescritivos da norma, para os climas de Maceió e Pão de Açúcar, em Alagoas. A aplicação da norma resultou em uma redução superior a 60% de graus-hora de resfriamento em Maceió e 16% em Pão de Açúcar. Assim, dada a assimetria de resultados, verifica-se a necessidade de aperfeiçoamento da norma para contemplar adequadamente as particularidades dos climas locais.

Outra forma de avaliar o desempenho de edificações residenciais é através do RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INMETRO, 2012), publicado em 2012. O regulamento classifica as edificações em uma escala que varia de “A” maior eficiência, a “E”, menor eficiência, que permite a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Este regulamento é de caráter voluntário, porém espera-se que passe a ser obrigatório dentro de alguns anos.

Invidiata *et al.*, (2016) avaliaram o desempenho termoenergético de uma habitação de interesse social, através do método de simulação do RTQ-R com diferentes combinações de materiais construtivos, nas zonas bioclimáticas 1, 3 e 8. O melhor desempenho térmico na ZB1 foi obtido com a utilização de isolante térmico, paredes com transmitância térmica de 0,84 (W/m<sup>2</sup>K), cobertura com transmitância térmica de 0,60 (W/m<sup>2</sup>K), absorvância solar de 0,5 e janelas sem sombreamento. Nas ZB3 e ZB8 a melhor solução foi utilizando paredes com transmitância térmica de 0,84 (W/m<sup>2</sup>K), cobertura com transmitância térmica de 0,60 (W/m<sup>2</sup>K),

absortância solar de 0,3 e sombreamento nas aberturas. Ambos os casos obtiveram classificação Nível A de acordo com o RTQ-R.

Embora nos últimos anos os regulamentos de eficiência energética tenham avançado no Brasil, ainda devem ser feitas revisões para que o país obtenha resultados significativos na redução do consumo de energia das edificações.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é melhorar o nível de eficiência energética da envoltória de uma habitação de interesse social, configurada com o envelope atendendo às exigências da NBR 15.575, a fim obter uma edificação com um envelope que atenda aos requisitos de conforto e energia para classificação nível A (RTQ-R).

## 3. MÉTODO

Foi utilizado como objeto de estudo uma habitação de interesse social unifamiliar, localizada na zona bioclimática 1, configurada com uma solução de envelope atendendo aos requisitos mínimos de transmitância térmica, capacidade térmica e áreas de abertura exigidos no método simplificado da NBR 15.575. Foi realizada a classificação do nível de eficiência energética da edificação, através do procedimento metodológico de avaliação por simulação descrito no RTQ-R, utilizando o *software Energy Plus*®. Em seguida foi realizada uma análise de sensibilidade, variando dois parâmetros no envelope, tipo de vidro e espessura do isolamento térmico, a fim de obter uma solução que cumpra aos requisitos para nível A do RTQ-R. Assim, são obtidas duas soluções: a) caso base: cumprindo os requisitos mínimos exigidos pela NBR 15.575; b) caso 2: com desempenho nível A, de acordo com o RTQ-R. Entre elas foi realizada uma análise comparativa do conforto térmico, através do método adaptativo da ASHRAE 55 (2010), e do desempenho energético, através dos resultados de consumo de energia dos modelos.

### 3.1. Objeto de estudo – caso base

A edificação adotada para o estudo é uma habitação de interesse social unifamiliar, desenvolvida por Oliveira (2012), atendendo às especificações mínimas do *Programa Minha Casa, Minha Vida “2”* (Ministério das Cidades, 2009).

A habitação possui 45,86m<sup>2</sup> e é constituída por dois dormitórios, sala de estar e cozinha integradas e banheiro. Cada ambiente foi modelado como uma zona térmica (ZT), conforme a Figura 1. A ZT1 corresponde ao dormitório 1, a ZT2 corresponde ao dormitório 2, a ZT3 corresponde a sala de estar e cozinha e a ZT 4 corresponde ao banheiro.

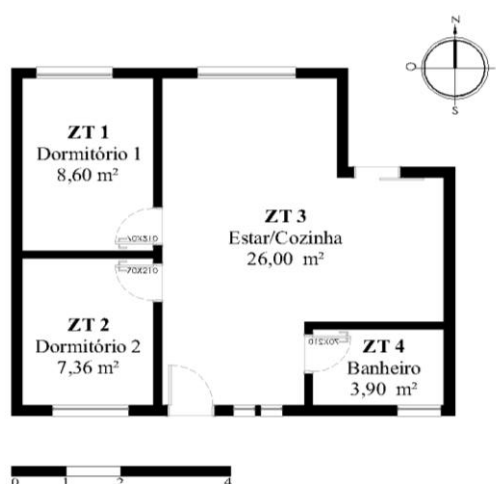


Figura 1 - Planta baixa - estudo de caso (Adaptado de Oliveira, 2012).

O fator de forma da edificação é de 1,39, que é a razão entre a área de envoltória (165,30 m<sup>2</sup>) e o volume total da edificação (119,24m<sup>3</sup>).

A edificação possui aberturas orientadas para norte e sul, sendo que o percentual de aberturas na fachada norte é de 19,18 % e na fachada sul é de 15,58%. A área total envidraçada corresponde a 9,45% da área opaca da edificação, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização do envelope

	Total	Norte	Leste	Sul	Oeste
Área do envelope opaco (m <sup>2</sup> )	66,63	16,18	16,77	16,91	16,77
Área do envelope translúcido (m <sup>2</sup> )	6,96	3,84	0,00	3,12	0,00
Área total de fachada (m <sup>2</sup> )	73,58	20,02	16,77	20,02	16,77
Percentual de abertura (%)	9,46	19,18	0,00	15,58	0,00

Para a configuração do envelope opaco do caso base, foram adotados materiais tradicionais da construção de habitações de interesse social no Brasil, de modo a se atender aos requisitos da transmitância e capacidade térmica exigidos pela NBR 15.575 para a zona bioclimática 1. As tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam as propriedades termofísicas dos materiais assim como os valores de transmitância e capacidade térmica dos elementos construtivos, calculados de acordo com o método apresentado na NBR 15220 (ABNT, 2005).

Tabela 2 - Composição das paredes externas

Composição – paredes externas	e (m)	$\lambda$ (W/(m.K))	p (kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/(kg.K))	R (m <sup>2</sup> .K)/W	CT kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Argamassa	0,02	1,15	1800,00	1,00	0,02	36,00
Bloco cerâmico 6 furos - 14x19x29	0,14	0,70	609,28	0,92	0,20	78,48
Argamassa	0,02	1,15	1800,00	1,00	0,02	36,00
<b>Resistência térmica total - <math>R_{si} + \sum R + R_{se}</math> ((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>						<b>0,40</b>
<b>Transmitância térmica – U (W/(m<sup>2</sup>.K))</b>						<b>2,47</b>
<b>Capacidade térmica total (kJ/(m<sup>2</sup>.K))</b>						<b>150,48</b>

e= espessura (m);  $\lambda$ = condutividade térmica (W/(m.K)); p=densidade de massa aparente (kg/m<sup>3</sup>); R=resistência térmica ((m<sup>2</sup>.K)/W); CT= capacidade térmica (kJ/(m<sup>2</sup>.K));

Tabela 3 - Composição das paredes internas

Composição – paredes internas	e (m)	$\lambda$ (W/(m.K))	p (kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/(kg.K))	R (m <sup>2</sup> .K)/W	CT kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Argamassa	0,02	1,15	1800,00	1,00	0,02	36,00
Tijolo maciço	0,11	1,00	1800,00	0,92	0,11	182,16
Argamassa	0,02	1,15	1800,00	1,00	0,02	36,00
<b>Resistência térmica total - ((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>						<b>0,31</b>
<b>Transmitância térmica (W/(m<sup>2</sup>.K))</b>						<b>3,18</b>
<b>Capacidade térmica total (kJ/(m<sup>2</sup>.K))</b>						<b>254,16</b>

e= espessura (m);  $\lambda$ = condutividade térmica (W/(m.K)); p=densidade de massa aparente (kg/m<sup>3</sup>); R=resistência térmica ((m<sup>2</sup>.K)/W); CT= capacidade térmica (kJ/(m<sup>2</sup>.K));

Tabela 4 - Composição da cobertura

Composição - cobertura	e (m)	$\lambda$ (W/(m.K))	p (kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/(kg.K))	R (m <sup>2</sup> .K)/W	CT kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Telha fibrocimento	0,008	0,65	1800,00	0,84	0,01	12,10
Câmara de ar	> 0,05	-	-	-	0,14	0,00
Forro de madeira	0,02	0,12	450,00	1,34	0,17	12,06
<b>Resistência térmica total ((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>						<b>0,46</b>
<b>Transmitância térmica (W/(m<sup>2</sup>.K))</b>						<b>2,18</b>
<b>Capacidade térmica total (kJ/(m<sup>2</sup>.K))</b>						<b>24,16</b>

e= espessura (m);  $\lambda$ = condutividade térmica (W/(m.K)); p=densidade de massa aparente (kg/m<sup>3</sup>); R=resistência térmica ((m<sup>2</sup>.K)/W); CT= capacidade térmica (kJ/(m<sup>2</sup>.K));

Tabela 5 - Composição da laje de piso

Composição – laje de piso	e (m)	$\lambda$ (W/(m.K))	p (kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/(kg.K))	R (m <sup>2</sup> .K)/W	CT kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Radier - concreto	0,10	1,75	2200,00	1,00	0,06	220,00
Argamassa	0,02	1,15	1800,00	1,00	0,02	36,00
Revestimento cerâmico	0,01	1,30	2300,00	0,965	0,01	22,20
<b>Resistência térmica total - ((m<sup>2</sup>.K)/W)</b>						0,29
<b>Transmitância térmica (W/(m<sup>2</sup>.K))</b>						3,42
<b>Capacidade térmica total (kJ/(m<sup>2</sup>.K))</b>						278,20

e= espessura (m);  $\lambda$ = condutividade térmica (W/(m.K)); p=densidade de massa aparente (kg/m<sup>3</sup>); R=resistência térmica ((m<sup>2</sup>.K)/W); CT= capacidade térmica (kJ/(m<sup>2</sup>.K));

As paredes e o piso possuem uma absorvância solar ( $\alpha$ ) de 0,2, enquanto que a cobertura possui uma absorvância solar de 0,6. A emissividade ( $\varepsilon$ ) dos três fechamentos é de 0,9.

Na configuração das janelas do caso base foram utilizados vidros simples de 3 mm, que possuem transmitância térmica de 5,89 (W/(m<sup>2</sup>.K)) e um fator solar (FS) de 0,86.

### 3.2. Configuração de acordo com o RTQ-R

A configuração dos modelos efetuou-se de acordo com os valores-padrão apresentados no RTQ-R (INMETRO, 2012) para ocupação, iluminação, equipamentos, temperatura do solo, ventilação natural e sistema de ar condicionado.

Foi adotado o padrão mínimo de ocupação, sendo duas pessoas por dormitório e quatro pessoas no ambiente de estar e cozinha. As agendas de ocupação foram modeladas separadamente para os dias de semana e para os finais de semana, conforme descrito no regulamento.

A taxa metabólica foi adotada de acordo com o tipo de atividade desempenhada em cada ambiente. Os valores recomendados pelo RTQ-R são de 81 W/pessoa nos dormitórios e de 108 W/pessoa na sala/cozinha.

O padrão de iluminação foi modelado para os ambientes de permanência prolongada, separadamente para os dias de semana e finais de semana, conforme descrito no regulamento. A densidade de potência instalada de iluminação foi de 6 W/m<sup>2</sup> nas salas e de 5 W/m<sup>2</sup> nos dormitórios.

A densidade de carga interna com equipamentos recomendada foi de 1,5 W/m<sup>2</sup> para a sala de estar, considerada no período de 24 h, durante todo o período da simulação.

A temperatura do solo foi determinada utilizando-se o programa *Slab*, vinculado ao *EnergyPlus*<sup>®</sup>. Foi realizada uma simulação inicial para a verificação das temperaturas médias mensais do ar interno, em que o solo foi considerado em condição adiabática. Em seguida, as temperaturas médias mensais do ar interno obtidas, foram configuradas e simuladas com o pré-processador *Slab*, que corrige as temperaturas médias mensais do solo.

Foi configurado o sombreamento das janelas através de persianas que funcionam através de uma agenda, onde foi definido o período de sombreamento durante a primavera e o verão, de 21 de setembro até 20 de março, entre as 8:00 h às 18:00 h. Foi utilizada uma persiana externa horizontal, já existente no *EnergyPlus*, com refletância de 0,8, condutividade de 0,90 (W/m.K) e espessura de 0,001m. O dispositivo de sombreamento modelado não interfere na ventilação natural.

A ventilação dos modelos foi configurada de acordo com o RTQ-R, onde a abertura de janelas ocorre quando a temperatura do ar do ambiente é igual ou superior à temperatura de termostato, 20°C, ou quando houver condições favoráveis, ou seja, quando a temperatura do ar interno for superior à temperatura externa.

O condicionamento artificial foi definido para os ambientes de permanência prolongada no período noturno, das 21:00 h às 8:00 h. No período diurno é definida a ventilação natural, das 8h00min às 21h00min, controlada conforme descrito no parágrafo anterior.

### 3.3. Arquivo climático

Para representar a zona bioclimática 1 foi utilizado o arquivo climático da cidade de Curitiba-PR. A Tabela 6 apresenta dados da temperatura de bulbo seco (TBS) média, máxima e mínima, umidade relativa (UR) média e velocidade média do vento da cidade estudada.

O arquivo climático utilizado nas simulações foi disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), elaborado por Maurício Roriz (ANTAC – GT Conforto e Energia) mediante dados registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 2001 a 2010.

Tabela 6 - características climáticas de Curitiba/PR -ZB1

Médias	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TBS média ( °C)	19,6	20,9	19,9	17,9	15,0	14,7	15,4	15,7	14,6	17,6	18	19,4
TBS média das máx. ( °C)	30,5	29,1	29,2	28,2	26,6	23,9	26,5	27,9	29,6	31,0	28,0	32,2
TBS média das mín. ( °C)	14,2	13,9	13,7	8,3	6,2	3,7	5,2	6,2	5,1	9	12,7	10,2
UR média (%)	81	77	77	81	78	83	71	78	78	83	82	76
Vel. média do vento (m/s)	2,7	2,3	2,1	1,6	1,9	1,9	1,7	2,1	2,5	2,5	2,6	2,2

TBS: Temperatura de bulbo seco; UR: Umidade Relativa

### 3.4. Análise de sensibilidade para atender nível A conforme o RTQ-R

Para atender ao nível A conforme o RTQ-R, foram simuladas 7 situações a partir do caso base, apresentadas na Tabela 7. Primeiramente foram substituídos os vidros simples por um vidro duplo, da marca CEBRACE, do tipo insulado de 24mm, que é composto pelo vidro Cool-Lite KNT 164 de 6 mm, câmara de ar de 12 mm e vidro Cool-Lite KNT 164 de 6 mm. O fator solar do envidraçado é de 0,47 e a transmitância térmica é de 1,75 W/(m<sup>2</sup>K). Foi utilizada uma caixilharia de PVC da linha EuroDur 3S da marca Kömmerling®, que possui transmitância térmica de 1,8 W/(m<sup>2</sup>.K). Foi utilizada a solução de persianas de PVC da linha Rolaplust, da marca Kömmerling.

Em seguida, foi adicionado isolamento térmico em todo o envelope opaco da edificação (paredes externas, piso e cobertura), de modo a melhorar o envelope para atender aos limites para nível A na ZB1. Os valores de transmitância térmica de todos os casos foram calculados pelo *EnergyPlus*®.

Tabela 7 - Descrição dos casos simulados

Casos simulados	Espessura do isolamento (m)	Tipo de vidro	U paredes externas (W/m <sup>2</sup> K)	U cobertura (W/m <sup>2</sup> K)	U laje de piso (W/m <sup>2</sup> K)	U vidro (W/m <sup>2</sup> K)
Caso base	0,00	Simple	2,60	2,19	4,09	5,90
Caso 1	-0,00	Duplo	2,60	2,19	4,09	1,90
Caso 2	0,01	Duplo	1,58	1,42	2,02	1,90
Caso 3	0,02	Duplo	1,13	1,05	1,34	1,90
Caso 4	0,03	Duplo	0,88	0,83	1,01	1,90
Caso 5	0,04	Duplo	0,72	0,69	0,80	1,90
Caso 6	0,05	Duplo	0,61	0,59	0,67	1,90
Caso 7	0,06	Duplo	0,53	0,51	0,573	1,90

### 3.5. Método para análise de resultados

Foi analisado o nível de eficiência energética da envoltória da edificação conforme o RTQ-R, o desempenho térmico e o desempenho energético do caso base, acordando com a NBR 15.575 e do caso 2, com desempenho nível A.

#### 3.5.1. Classificação do Nível de Eficiência Energética de acordo com o RTQ-R

Para a avaliação do desempenho da envoltória pelo método de simulação do RTQ-R, devem-se realizar simulações para a edificação em duas condições: ventilada naturalmente e condicionada artificialmente. Deve-se comparar o desempenho da edificação sob avaliação com os valores de referência das tabelas de classificação de acordo com a zona bioclimática (PBE EDIFICA, 2016). Também se deve atender aos pré-requisitos estabelecidos quanto ao programa e ao arquivo climático utilizados na simulação (INMETRO, 2012).

Para a simulação da edificação ventilada naturalmente, comparam-se os indicadores de graus-hora de resfriamento (GH<sub>R</sub>) dos ambientes de permanência prolongada com os níveis de eficiência das tabelas de classificação. A temperatura-base para o cálculo dos graus-hora de resfriamento é de 26°C.

O procedimento da avaliação da edificação condicionada artificialmente compara os consumos relativos para aquecimento (C<sub>A</sub>) e para refrigeração (C<sub>R</sub>) dos ambientes de permanência prolongada com os níveis de eficiência das tabelas de classificação. A Tabela 8 apresenta os valores de classificação do nível de eficiência energética da ZB1.

Tabela 8: Tabela de classificação pelo método de simulação – ZB1

ZB1 – CURITIBA/PR				
Eficiência	EqNum	GH <sub>R</sub> (°Ch)	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .a)	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .a)
A	5	GH <sub>R</sub> ≤ 143	C <sub>R</sub> ≤ 0,713	C <sub>A</sub> ≤ 16,700
B	4	143 < GH <sub>R</sub> ≤ 287	0,713 < C <sub>R</sub> ≤ 1,426	16,700 C <sub>A</sub> ≤ 33,400
C	3	287 < GH <sub>R</sub> ≤ 430	1,426 < C <sub>R</sub> ≤ 2,138	33,400 C <sub>A</sub> ≤ 50,099
D	2	430 < GH <sub>R</sub> ≤ 574	2,138 < C <sub>R</sub> ≤ 2,851	50,099 C <sub>A</sub> ≤ 66,799
E	1	574 < GH <sub>R</sub>	2,851 < C <sub>R</sub>	66,799 < C <sub>A</sub>

A determinação do equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) é realizada por meio de equações estabelecidas para cada zona bioclimática. Para a ZB1, o equivalente numérico da envoltória é obtido por meio da Equação 1:

$$EqNumEnv = 0,08 \times EqNumEnvResfr + 0,92 \times EqNumEnvA \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

EqNumEnv: equivalente numérico da envoltória;

EqNumEnvResfr: equivalente numérico da envoltória para resfriamento; e

EqNumEnvA: equivalente numérico da envoltória para aquecimento.

De acordo com a pontuação final obtida no equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv) é atribuída uma classificação que varia do nível A (mais eficiente) ao E (menos eficiente).

### 3.5.2. Método para análise do desempenho térmico

A análise do desempenho térmico foi realizada utilizando os modelos configurados com ventilação natural durante 24 horas, conforme descrito na Tabela 9, através do método adaptativo da ASHRAE *Standard 55* (2010). Para a análise do conforto é utilizada a temperatura operativa horária das zonas térmicas, obtidas no *EnergyPlus* através da variável de saída *Zone Operative Temperature*.

Tabela 9: Descrição dos casos para análise do desempenho térmico

Casos simulados	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K)				Ventilação natural		Condicionador de ar	
	Par.	Cob.	Piso	Vidro	Período	Setpoint (°C)	Período	Setpoint
Caso base: NBR 15.575	2,47	2,18	3,42	5,90	24 h	20	-	-
Caso 2: nível A	0,53	0,51	0,57	1,90	24 h	20	-	-

O método adaptativo (ASHRAE 55, 2010) determina uma temperatura operativa de conforto relacionando com a temperatura externa, conforme a Equação 2, e define faixas de conforto em relação à temperatura neutra, para índices de 90% e 80 % de aceitabilidade.

$$T_{oc} = 18,9 + 0,255 T_{ext} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

T<sub>oc</sub> = Temperatura operativa de conforto;

T<sub>ext</sub> = Temperatura média mensal externa.

### 3.5.3. Método para análise do desempenho energético

Foi realizada uma análise comparativa do consumo de energia anual de aquecimento e refrigeração dos dois casos, configurados com condicionador de ar noturno e ventilação natural diurna, conforme apresentado na Tabela 10. Os resultados de consumo são obtidos no *EnergyPlus*, através das variáveis *Heating:Electricity* e *Cooling:Electricity*. O objetivo foi verificar consumo de energia referentes ao sistema de climatização (aquecimento e refrigeração) da edificação base, e verificar o potencial de redução desse consumo, aplicando uma envoltória atendendo a classificação nível A (RTQ-R).

Tabela 10: Descrição dos casos para análise do desempenho energético

Casos simulados	Transmitância térmica (W/m <sup>2</sup> K)				Ventilação natural		Condicionador de ar	
	Par.	Cob.	Piso	Vidro	Período	Setpoint (°C)	Período	Setpoint (°C)
Caso base: NBR 15.575	2,47	2,18	3,42	5,90	9:00-21:00	20	21:00-9:00	22-24
Caso 2: nível A	0,53	0,51	0,57	1,90	9:00-21:00	20	21:00-9:00-	22-24

## 4. RESULTADOS

Neste item, são apresentados os resultados da classificação do nível de eficiência energética do caso base e as alterações que foram necessárias para obter nível A, de acordo com o método de simulação do RTQ-R (item 3.5.1). Foi também analisado o conforto térmico e o consumo de energia dos diferentes casos.

### 4.1. Caso base

Na zona bioclimática 1 os graus-hora de resfriamento (GH) das três zonas térmicas analisadas ficaram abaixo do limite para nível A, que é 143°Ch, (obtendo-se assim a classificação de nível A), onde o equivalente numérico de resfriamento (EqNum<sub>Resfr</sub>) é igual a 5. O consumo de aquecimento (C<sub>A</sub>) dos três ambientes ficaram dentro da faixa de classificação para o nível C, entre 33,40 e 50,10 kWh/(m<sup>2</sup>.a), onde o equivalente numérico de aquecimento (EqNum<sub>A</sub>) corresponde a 3. Os resultados e os níveis de classificação dos ambientes são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Resultados do caso base para a classificação do Nível de EE – ZB1

Zona Térmica	Resfriamento			Refrigeração			Aquecimento		
	GH <sub>Resfr</sub> (°Ch)	Nível	EqNumResfr	C <sub>R</sub> (kWh/m <sup>2</sup> a)	Nível	EqNumR	C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> a)	Nível	EqNumA
ZT1	13,63	A	5	0,15	A	5	35,58	C	3
ZT2	13,17	A	5	0,20	A	5	36,18	C	3
ZT3	114,17	A	5	0,00	A	5	43,45	C	3
ZT4	7,45	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-
<b>Total</b>	148,41	A	5	0,07	A	5	41,52	C	3

O equivalente numérico da envoltória (EqNum<sub>Env</sub>) na ZB1 é determinado através da Equação 1, apresentada anteriormente. O resultado para o EqNum<sub>Resfr</sub>, que foi 5, corresponde a 8% da pontuação final e o resultado do EqNum<sub>A</sub>, que foi 3, corresponde a 92%. Assim o resultado do EqNum<sub>Env</sub> foi de 3,16, classificando-se a envoltória como nível C.

### 4.2. Análise de sensibilidade para obter nível A

Para atender ao nível A na zona bioclimática 1, foram simulados 7 casos com variações do tipo de vidro e espessura do isolamento térmico. Os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados para atender nível A na ZB1

Casos	Isolamento (m)	Vidro	GH <sub>Resfr</sub> (°Ch)			C <sub>A</sub> (kWh/m <sup>2</sup> a)		
			ZT1	ZT2	ZT3	ZT1	ZT2	ZT3
Caso base	-	Simples	13,63	13,17	114,17	35,58	36,18	43,45
Caso 1	-	Duplo	10,36	9,76	99,75	34,44	34,63	42,68
Caso 2	0,01	Duplo	1,35	1,23	37,89	21,25	21,35	31,52
Caso 3	0,02	Duplo	0,00	0,00	14,02	14,57	14,60	25,25
Caso 4	0,03	Duplo	0,00	0,00	5,68	10,62	10,54	21,33
Caso 5	0,04	Duplo	0,00	0,00	1,92	8,09	7,98	18,64
Caso 6	0,05	Duplo	0,00	0,00	0,14	6,40	6,24	16,72
Caso 7	0,06	Duplo	0,00	0,00	0,00	5,25	5,08	15,27

Na Figura 2, observa-se que nenhuma das zonas térmicas (ZT) apresentou graus-hora de resfriamento acima de 143°Ch, limite para nível A. Com o aumento da espessura de isolamento térmico o resultado de graus-hora diminui, até chegar a zero em todas as zonas, como ocorre no caso 7.



Para obter nível A em aquecimento, o resultado do consumo de todas as zonas térmicas deve ser inferior a 16,70 (kWh/m<sup>2</sup>a). Na figura 3 pode-se observar que nas ZT1 e ZT2 é possível obter-se nível A com apenas 2 cm de isolamento térmico no envelope, porém na ZT3 são necessários 6 cm de isolamento. Isso ocorre devido a uma maior área de superfície em contato com o exterior.

Assim, conclui-se que o caso 7 foi a única solução que atendeu aos limites de graus-hora de resfriamento e consumo de aquecimento, estabelecidos pelo RTQ-R, em todas as zonas térmicas.

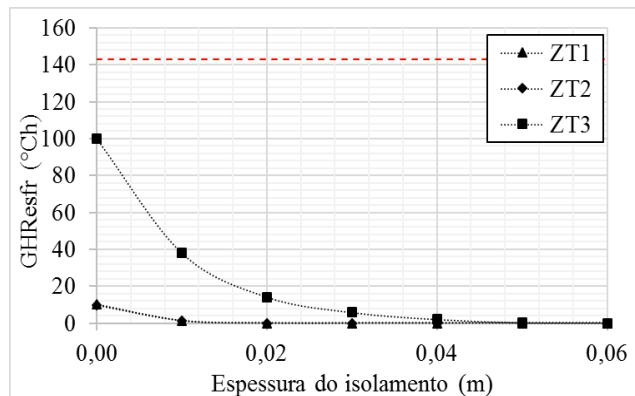


Figura 2: Graus-hora em relação a variação da espessura do isolamento térmico (Nota: as linhas correspondentes a ZT1 e ZT2 ficam sobrepostas).

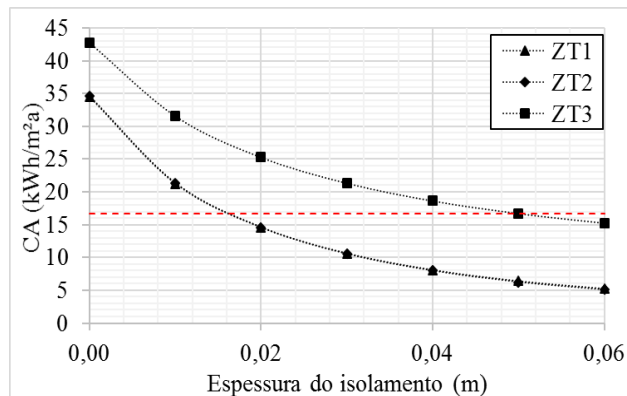


Figura 3: Consumo de aquecimento em relação a variação da espessura do isolamento térmico (Nota: as linhas correspondentes a ZT1 e ZT2 ficam sobrepostas).

### 4.3. Análise do conforto térmico

Na Figura 4 foi analisado o percentual de horas em conforto térmico considerando todas as horas do ano, com índice de 80% de aceitabilidade estabelecido pela ASHRAE 55 (2010). O conforto térmico no caso base foi de apenas 26%, sendo que obteve 74% de desconforto por frio. Enquanto, no caso 2, atendendo a classificação Nível A (RTQ-R), o conforto térmico aumentou para 35%, com 65% de desconforto por frio. Nenhum dos casos apresentou desconforto por calor.

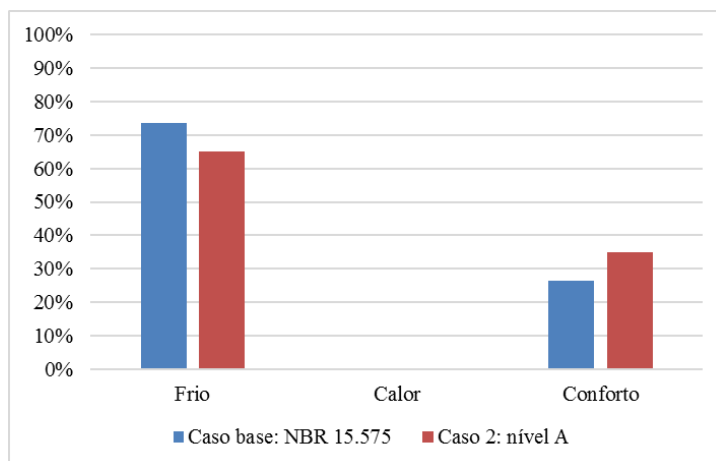


Figura 4 - Percentual de horas em conforto e desconforto dos casos analisados

### 4.4. Análise do consumo de energia

Foi realizada uma análise dos consumos de energia para aquecimento e refrigeração do modelo base e do modelo nível A. O modelo base teve resultado de consumo de aquecimento 40,13 kWh/(m<sup>2</sup>a) e de 0,07 kWh/(m<sup>2</sup>a) de consumo de refrigeração. O modelo nível A apresentou 11,32 kWh/(m<sup>2</sup>a) de consumo de aquecimento e 0,96 kWh/(m<sup>2</sup>a) de consumo de refrigeração. O modelo base representa um aumento de aproximadamente 70% do consumo de energia para aquecimento, em relação ao modelo nível A, enquanto para refrigeração a diferença no consumo é mínima.

## 5. CONCLUSÕES

Com esse estudo observa-se que mesmo cumprindo os requisitos mínimos exigidos no Brasil, pela NBR 15.575, a edificação não apresentou bons resultados de desempenho na zona bioclimática 1. Na avaliação do nível de eficiência energética da envoltória, pelo método de simulação do RTQ-R, a edificação foi classificada como nível A para resfriamento e nível C para aquecimento, e obteve classificação final nível C.

Foi realizada uma análise de sensibilidade variando 2 parâmetros na envoltória: tipo de vidro e espessura do isolamento térmico, com o objetivo de atender aos requisitos para a classificação nível A do RTQ-R. Para isso foi necessário substituir o vidro simples por um duplo e adicionar de 6 cm de isolamento térmico em toda a envoltória, a fim de reduzir as trocas de calor com o ambiente externo, reduzindo assim, as necessidades para aquecimento.

Conclui-se que com as melhorias realizadas no envelope, utilizando isolante térmico e um vidro com melhor desempenho, foi possível melhorar o conforto térmico em 9% das horas do ano e reduzir o consumo de energia para aquecimento em 70%.

Na sequência deste trabalho, será realizada a otimização do modelo, através de um algoritmo evolutivo multi-objetivo, estudado por Kämpf (2009) e Figueiredo *et al.*, (2016). O objetivo desta etapa é determinar as combinações ótimas de espessura de isolamento térmico e tipos de vidro para atender à classificação nível A do RTQ-R.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE STANDARD 55 – 2010. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “NBR 15220: Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações”, Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “NBR 15.575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos”, Rio de Janeiro, ABNT, 2013.
- BARBOSA, Gabriele L.; ARAÚJO, Mayana L.T. de; SANTOS, Daniela N.; BATISTA, Juliana O. Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: uma aplicação da NBR 15.575. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016, São Paulo.
- DOE – U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software. Disponível em < <https://energyplus.net/downloads>>. Acesso em: março de 2017.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Levantamento inédito mostra déficit de 6,2 milhões de moradias no Brasil. São Paulo, fev. 2016. Disponível em < <http://www.fiesp.com.br/noticias/levantamento-inedito-mostra-deficit-de-62-milhoes-de-moradias-no-brasil/>>. Acesso em: 08 de março de 2017.
- FIGUEIREDO, António J.; KAMPF, Jérôme H.; VICENTE, Romeu. Passive House Optimization for Portugal: overheating evaluation and energy performance. Energy and Buildings, v. 118, p. 181-196, 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R. Eletrobrás, Inmetro, 2012.
- INVIDIATA, Andrea; SOUSA, Raquel F.; MELO, Ana Paula; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Análise do desempenho termoenergético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016, São Paulo.
- KÄMPF, Jérôme H. On the modelling and Optimisation of Urban Energy Fluxes. Lausanne, 186 p., 2009. Tese de doutorado. École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- MOTTA, Maicon S. Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15.575/2013: Habitações de Interesse Social na zona bioclimática 2. Pelotas, 160p., 2014. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pelotas.
- OLIVEIRA, Liader da Silva, Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da zona bioclimática 2. Dissertação de Mestrado – PROGRAU, UFPel. Pelotas, 2012.
- PBE EDIFICA. Tabelas de Classificação Pelo MÉTODO DE Simulação. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/simulacao>>. Acesso em: 10 mar. 2016.