

ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL ATRAVÉS DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO REGULAMENTO BRASILEIRO¹

**INVIDIATA, Andrea (1); SOUSA, Raquel Fernandes de (2); MELO, Ana Paula (3);
FOSSATI, Michele (4); LAMBERTS, Roberto (5)**

(1) UFSC, e-mail: a.invidiarta@gmail.com; (2) UFSC, e-mail: raquelfersousa@gmail.com;
(3) UFSC, e-mail: a.pmelo@posgras.ufsc.br; (4) UFSC, e-mail: michele.fossati@ufsc.br;
(5) UFSC, e-mail: roberto.lamberts@ufsc.br

RESUMO

A proposta desta pesquisa é avaliar o desempenho termo energético de uma edificação de interesse social, através do método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), com diferentes combinações de materiais construtivos, em três zonas bioclimáticas brasileiras: Curitiba - Zona Bioclimática 1, Florianópolis - Zona Bioclimática 3 e Salvador - Zona Bioclimática 8. As simulações computacionais foram realizadas no programa de simulação computacional EnergyPlus. Para a mesma habitação, foram simuladas diferentes alternativas compostas por uma combinação de paredes, coberturas, absorção térmica solar, tipos de aberturas, áreas de ventilação e sombreamento. Os resultados mostraram que o caso que obteve melhor desempenho energético da envoltória, para a cidade de Curitiba, é com a utilização do isolante térmico e absorção térmica de 0,5 na envoltória, e janelas sem sombreamento. Nas cidades de Florianópolis e Salvador, o caso que obteve melhor desempenho energético é com a utilização de isolante térmico e absorção térmica de 0,3 na envoltória, e sombreamento nas aberturas dos ambientes de permanência prolongada. Ambos os casos apresentaram nível A de eficiência energética na envoltória de acordo com o RTQ-R.

Palavras-chave: Eficiência energética. RTQ-R. Simulação computacional. EnergyPlus.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the thermal performance of a building through building energy simulation according to the Brazilian regulation for Residential Buildings (RTQ-R). Different combinations of building materials applied in three Brazilian bioclimatic zones were considered: Curitiba - Bioclimatic Zone 1, Florianópolis - Bioclimatic Zone 3 and Salvador - Bioclimatic Zone 8. The building energy simulations were carried out in EnergyPlus program. Alternatives consist of a combination of walls, roofs, thermal solar absorptance, windows openings, ventilation areas and shading. Results showed that the case with thermal insulation and thermal absorptance of 0.5 in the building envelope, and no shading presented the best result of thermal performance for the city of Curitiba. For Florianópolis and Salvador the case that presented the best thermal performance adopts the use of thermal insulation and

¹INVIDIATA, Andrea; SOUSA, Raquel Fernandes de; MELO, Ana Paula; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. Análise do desempenho termo energético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

thermal solar absorptance of 0.3 in the building envelope, and the use of shading. Both cases presented level A in energy efficiency according to the Brazilian regulation.

Keywords: Energy efficiency. RTQ-R. Simulation. EnergyPlus.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia no Brasil vem crescendo rapidamente nas últimas décadas. Cerca de 49% da energia elétrica é consumida por edificações. Desta, mais de 28% por edificações residenciais (BEN, 2014). Além disso, o déficit habitacional no Brasil é de aproximadamente 5,5 milhões de unidades habitacionais (Brasil, 2011). Por esta razão, o Governo Federal lançou um programa para a construção de habitações de interesse social intitulado "Minha Casa Minha Vida". Através deste projeto, foram construídas mais de 3 milhões de habitações (Paulsen e Sposto, 2013). Porém, para acelerar o processo de construção e reduzir os custos da construção, as edificações de interesse social, tanto multifamiliares quanto unifamiliares, são projetadas utilizando as mesmas características construtivas em todo o país. A consequência disso é um baixo nível de eficiência energética das edificações que ao mesmo tempo gera um desconforto térmico interno para o usuário. Inúmeras pesquisas demonstram a necessidade de uma melhoria no projeto de edificações de interesse social (Vieira, et al., 2012; Lima, et al. 2012; Triana et al., 2015; Invidiata et al., 2015). Para obter edificações mais eficientes é fundamental que se projete de acordo com o clima onde a edificação se localiza. Os materiais utilizados na construção também têm uma forte influência sobre as condições de conforto e no consumo energético da edificação. A escolha correta dos materiais construtivos e das estratégias aplicadas na envoltória é fundamental para se projetar edificações mais eficientes e confortáveis.

Para tanto, o objetivo da presente pesquisa é avaliar o desempenho termo energético de diferentes soluções construtivas aplicadas na envoltória de uma edificação unifamiliar de interesse social. O desempenho da edificação é avaliado em três zonas bioclimáticas brasileiras – ZB1, ZB3 e ZB8 – representadas, respectivamente, por Curitiba, Florianópolis e Salvador. As avaliações foram realizadas através do método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2012). Os resultados das simulações são expressos em indicadores de conforto térmico (graus-hora para resfriamento) e desempenho energético (consumos relativos para aquecimento e refrigeração). Os indicadores representam o desempenho da envoltória para verão, para inverno e quando refrigerada artificialmente.

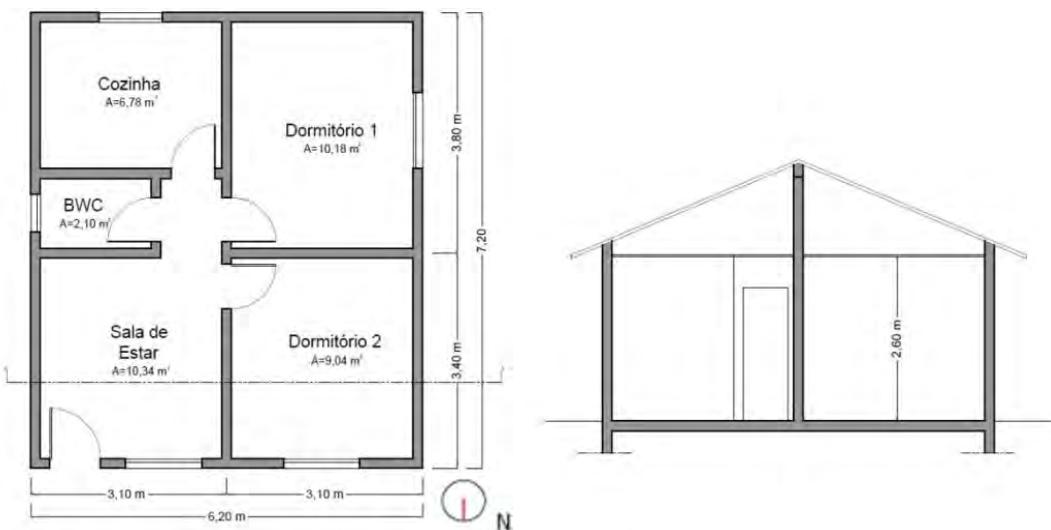
3 MÉTODO

3.1 Estudo de caso

O modelo geométrico do edifício residencial é um projeto padrão de habitação popular unifamiliar (CAIXA, 2007). A edificação, com uma área

de 38,16 m², possui um pavimento em contato direto com o solo e pé-direito de 2,60 m. É composta por uma cozinha, um banheiro e três ambientes de permanência prolongada: sala e dois dormitórios. A aberturas da sala e do dormitório 2 estão orientadas para o norte (Figura 1).

Figura 1 – Planta baixa e corte do edifício residencial.



Fonte: adaptado CAIXA (2007).

A edificação, no seu caso base (Caso 01), apresenta paredes internas e externas em concreto maciço (10 cm). A cobertura é inclinada em duas águas, com telha cerâmica, estrutura de madeira e forro em PVC. O piso é em concreto maciço com revestimento de piso cerâmico. As janelas são de correr com vidro simples incolor de 3 mm, sem elementos de sombreamento.

Para identificar o melhor desempenho energético da edificação, a partir do caso base, foram elaborados casos com diferentes combinações de componentes da envoltória. As variações de coberturas e paredes são listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Variações de coberturas e paredes

Código	Especificação	Transmitância térmica [W/m ² K]	Capacidade térmica [kJ/m ² K]
Cobertura	C1 Forro em PVC e telha cerâmica	1,92	21
	C2 Forro em PVC, telha cerâmica e isolante térmico	0,70	49
	C3 Laje pré-moldada e telha cerâmica	1,79	185
	C4 Laje pré-moldada, telha cerâmica e isolante térmico	0,60	187
Parede	P1 Concreto maciço	4,40	240
	P2 Blocos de concreto	2,78	209
	P3 Blocos cerâmicos	2,46	152
	P4 Blocos cerâmicos e isolante térmico	0,84	167

Fonte: autores

As variações de absorções térmicas, tipos de vidro e sombreamento são listadas na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta os 13 casos avaliados para a cidade de Curitiba.

Tabela 2 – Variações de absorções térmicas, vidros e sombreamento

Código		Especificação	
Absorção térmica	A1	0,70	
	A2	0,30	
	A3	0,35	
	A4	0,50	
Vidro	V1	Simples incolor 3 mm	
	V2	Duplo incolor 2 x 3 mm	
S1		Persianas integradas na sala e nos dormitórios	

Fonte: autores

Tabela 3 – Características dos diferentes casos na ZB1

Casos	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Parede	P1	P2	P3	P3	P3	P3	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P4
Absorção térmica da parede	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A4	A4	A4
Cobertura	C1	C1	C1	C1	C1	C2	C1	C1	C3	C1	C3	C4	C4
Absorção térmica da cobertura	A1	A1	A1	A3	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A4	A4	A4
Área de ventilação [%]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Vidro	V1	V2	V1	V1	V1								
Sombreamento	-	-	-	-	S1	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: autores

A Tabela 4 apresenta os 17 casos avaliados nas cidades de Florianópolis e Salvador.

Tabela 4 – Características dos diferentes casos nas ZB3 e ZB8

Casos	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Paredes	P1	P2	P3	P3	P3	P3	P4	P3	P4								
Absorção parede	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A2	A1	A1	A2	A2	A2	A2
Cobertura	C1	C1	C1	C1	C1	C2	C1	C1	C3	C1	C3	C1	C1	C3	C3	C4	C4
Absorção cobertura	A1	A1	A1	A3	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A3	A3	A1	A3	A3	A3	A3
Área de vent. [%]	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	90	50	90	90	50
Vidro	V1	V2	V1														
Sombreamento	-	-	-	-	S1	-	-	-	-	-	S1						

Fonte: autores

3.2 Aplicação do RTQ-R

Os diferentes casos da edificação residencial foram avaliados pelo método de simulação do RTQ-R (BRASIL, 2012). O RTQ-R classifica as edificações residenciais, de "A" a "E", de acordo com seu nível de eficiência energética. Sendo "A" a classificação atribuída às edificações mais eficientes, e "E" às menos eficientes. O RTQ-R avalia a envoltória e o sistema de aquecimento de água das edificações. Nesta pesquisa, foi avaliado, unicamente, o sistema da envoltória da edificação unifamiliar.

O desempenho termo energético da envoltória da unidade habitacional autônoma (UH) é obtido através de simulações computacionais de acordo com a Zona Bioclimática em que a UH está inserida. A envoltória é avaliada em três diferentes condições:

- desempenho da envoltória para verão, calculado através do indicador de graus-hora para resfriamento (GH_R) de cada ambiente de permanência prolongada. Este parâmetro é calculado para todas as zonas bioclimáticas. As horas de desconforto são obtidas somando-se, no período de um ano, o número de graus-hora acima de $26^{\circ}C$;
- desempenho da envoltória para inverno, calculado através do consumo relativo anual ($kWh/m^2.\text{ano}$) para aquecimento (CA) de cada ambiente de permanência prolongada. Este parâmetro é calculado apenas para as zonas bioclimáticas frias (Zonas Bioclimáticas 1 a 4);
- desempenho da envoltória quando condicionada artificialmente, calculado através do consumo relativo anual ($kWh/m^2.\text{ano}$) para refrigeração (CR) de cada dormitório (excluindo-se dormitórios de serviço) para todas as zonas bioclimáticas. Este parâmetro tem apenas caráter informativo, ou seja, não é utilizado para a classificação final da habitação.

Todos os parâmetros de simulação utilizados para a análise da eficiência energética da edificação são referentes ao RTQ-R (BRASIL, 2012). O programa de simulação utilizado foi o *EnergyPlus* versão 8.1 (DOE, 2013).

4 RESULTADOS

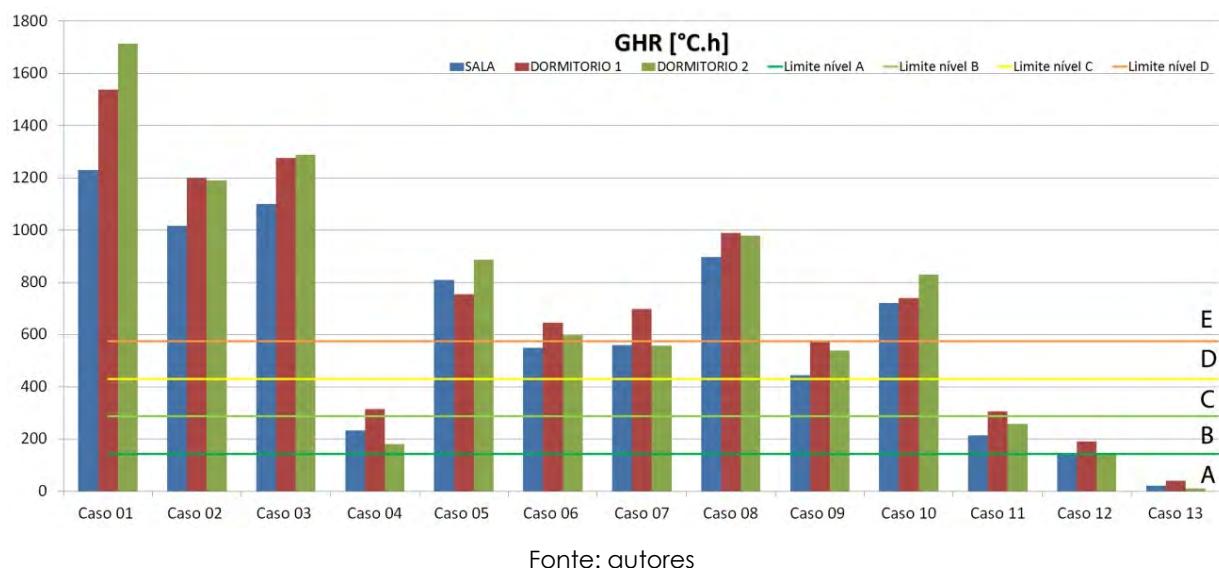
4.1 Zona Bioclimática 1 – Curitiba

A Figura 2 apresenta os resultados da envoltória para verão para a cidade de Curitiba. O Caso 01 obteve o pior desempenho. A sua envoltória é composta por: paredes de concreto maciço com alta absorvância térmica solar (0,70); cobertura de forro de PVC e telha cerâmica, também com alta absorvância térmica solar (0,70); e aberturas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. O caso que obteve melhor desempenho foi o Caso 13, tendo como características principais da envoltória: paredes em blocos cerâmicos com isolante térmico; cobertura de laje pré-moldada com isolante térmico e telha cerâmica; e aberturas de

vidro simples com área de ventilação de 50%, sem sombreamento. As absorções térmicas das paredes e coberturas atribuídas ao Caso 13 possuem valor de 0,50.

A redução dos graus-hora do Caso 13, em relação ao pior caso para resfriamento (Caso 01), foi de 4.410 GH_R (98,42%). O segundo caso com melhor desempenho foi o Caso 12. Suas características são idênticas às do Caso 13, com exceção das paredes que, neste caso, não possuem isolante térmico. Seu desempenho reduziu 4.008 GH_R (89,44%) em relação ao pior caso.

Figura 2 – GH_R dos diferentes casos na Zona Bioclimática 1



Fonte: autores

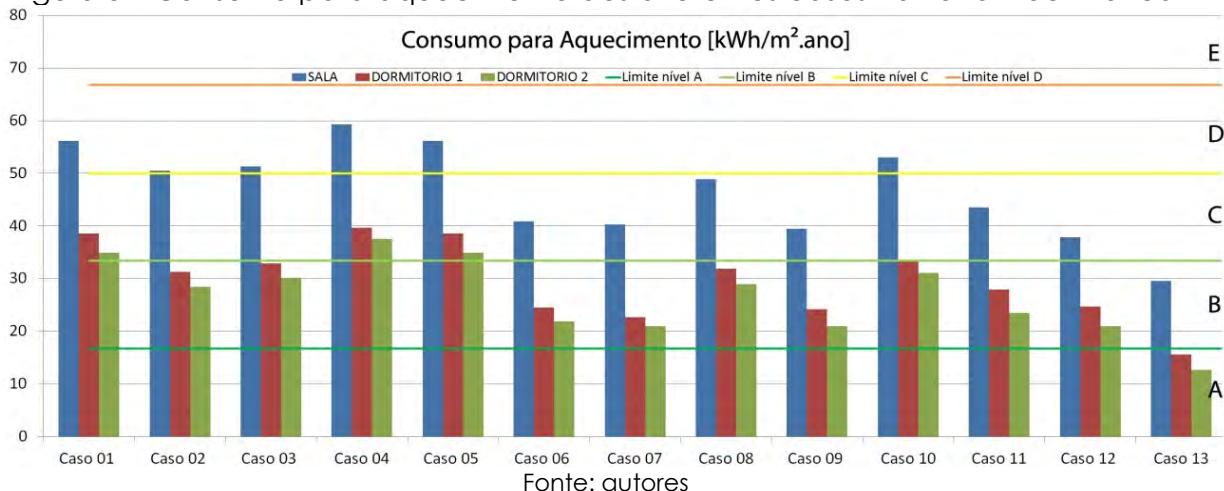
A Figura 3 apresenta os resultados de consumo para aquecimento nos diferentes casos simulados na cidade de Curitiba. O caso que obteve pior desempenho, Caso 04, tem sua envoltória composta por paredes de blocos cerâmicos, cobertura de forro de PVC com telha cerâmica e janelas com vidro simples, área de ventilação de 50% e sem sombreamento. A absorção térmica atribuída às paredes e cobertura corresponde à 0,70. O caso que obteve melhor desempenho foi o Caso 13.

Em relação ao pior caso para aquecimento (Caso 04), o Caso 13 apresentou uma redução de 78,7 kWh/m².ano (57,61%) do consumo. O Caso 12, segundo melhor caso, obteve uma redução de 53 kWh/m².ano (38,80%) do consumo para aquecimento quando comparado com o pior caso.

A Figura 4 apresenta os resultados de consumo para refrigeração nos diferentes casos simulados na cidade de Curitiba. O caso de pior desempenho, Caso 09, tem sua envoltória composta por paredes de blocos cerâmicos, cobertura de laje pré-moldada e telha cerâmica, janelas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. A absorção térmica atribuída às paredes e cobertura corresponde a 0,70. O caso que obteve melhor desempenho para refrigeração foi o Caso 04.

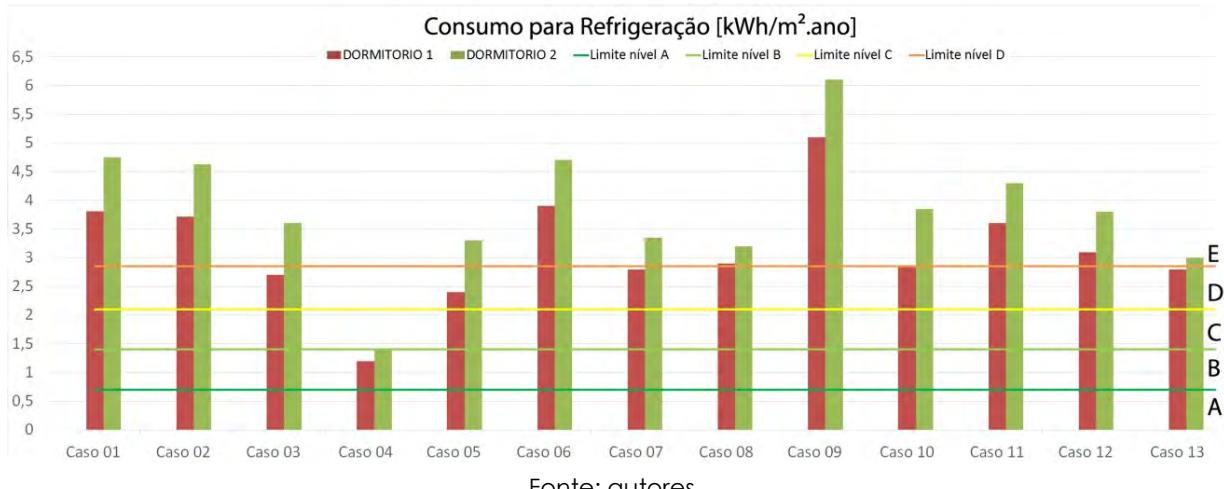
Em relação ao pior caso para refrigeração (Caso 09), o Caso 04 obteve redução de 8,6 kWh/m².ano (76,79%) do consumo. O Caso 05, segundo melhor caso, tem suas características idênticas às do Caso 09, com exceção da cobertura que é composta por forro de PVC e telhas cerâmicas. O Caso 05 apresentou uma redução de 5,5 kWh/m².ano (49,11%) do consumo para refrigeração quando comparado com o pior caso.

Figura 3 – Consumo para aquecimento dos diferentes casos na Zona Bioclimática 1



Fonte: autores

Figura 4 – Consumo para resfriamento dos diferentes casos na Zona Bioclimática 1



Fonte: autores

A Tabela 3 apresenta a classificação energética dos diferentes casos na Zona Bioclimática 1. Os casos que obtiveram os melhores desempenhos (Casos 09, 11, 12 e 13) possuem suas coberturas compostas por laje pré-moldada e telha cerâmica. O Caso 13, único que obteve nível A na classificação energética final da envoltória, adota isolamento térmico em toda envoltória e absorção térmica no valor de 0,50. O Caso 12, segundo melhor na classificação geral, têm isolamento apenas na cobertura. Os Casos 09 e 11 não possuem isolamento térmico.

Tabela 5 – Nível de eficiência energética dos diferentes casos - Zona Bioclimática 1

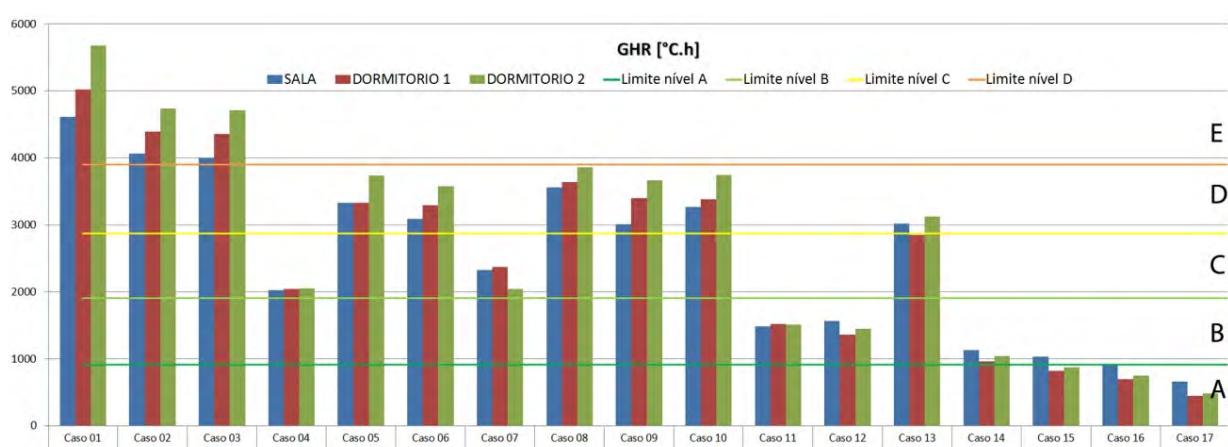
ZB1 Curitiba	Caso 01	Caso 02	Caso 03	Caso 04	Caso 05	Caso 06	Caso 07	Caso 08	Caso 09	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13
Envoltória para Verão	E	E	E	B	E	E	D	E	D	E	B	A	A
	1,0	1,0	1,0	3,7	1,0	1,3	1,7	1,0	2,0	1,0	3,7	4,7	5,0
Envoltória para Inverno	C	C	C	C	C	B	B	B	B	C	B	B	A
	2,7	3,3	3,3	2,7	3,0	3,7	3,7	3,7	3,7	3,3	3,7	3,7	4,7
Envoltória se refrigerada artificialmente	E	E	E	B	E	E	E	E	E	E	E	E	E
	1,0	1,0	1,5	4,0	1,47	1,0	1,47	1,0	1,0	1,47	1,0	1,0	1,47
Envoltória geral	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	B	B	A
	2,5	3,1	3,1	2,7	2,8	3,47	3,49	3,4	3,5	3,1	3,7	3,7	4,7

Fonte: autores

4.2 Zona Bioclimática 3 – Florianópolis

A Figura 5 apresenta os resultados da envoltória para verão para a cidade de Florianópolis. O Caso 01 obteve o pior desempenho. A sua envoltória é composta por: paredes de concreto maciço com alta absorvância térmica (0,70); cobertura de forro de PVC e telha cerâmica, também com alta absorvância térmica (0,70); e aberturas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. O Caso 17 obteve o melhor desempenho, tendo como características principais da envoltória: paredes em blocos cerâmicos com isolante térmico; cobertura de laje pré-moldada com isolante térmico e telha cerâmica; aberturas de vidro simples com área de ventilação de 90% com persianas integradas; e absorvância térmica de 0,30.

A redução dos graus-hora do Caso 17, em relação ao pior caso para resfriamento (Caso 01), foi de 13.721 GH_R (89,63%). O segundo caso que obteve melhor desempenho para resfriamento foi o Caso 16, com redução de 12.947 GH_R (84,58%) quando comparado com o Caso 01.

Figura 5 – GH_R dos diferentes casos na Zona Bioclimática 3

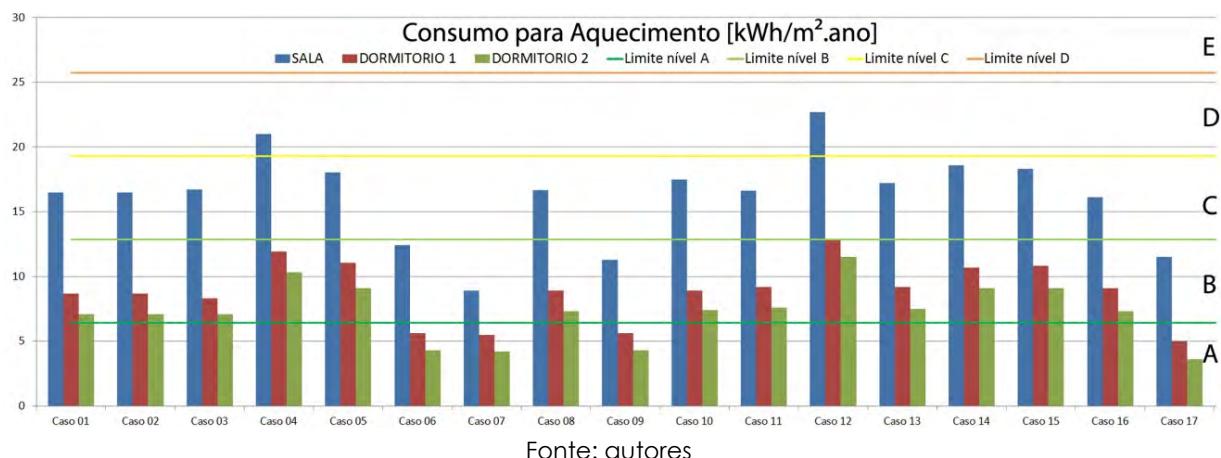
Fonte: autores

A Figura 6 apresenta os resultados de consumo para aquecimento nos diferentes casos simulados na cidade de Florianópolis. O caso que obteve pior desempenho, Caso 12, tem sua envoltória composta por paredes de

blocos cerâmicos, cobertura de forro de PVC com telha cerâmica e janelas com vidro simples, área de ventilação de 50% com persianas integradas. A absorção térmica atribuída às paredes e cobertura corresponde à 0,30 e 0,35, respectivamente. O caso que obteve melhor desempenho para aquecimento foi o Caso 07. Sua envoltória é composta por paredes de blocos cerâmicos com isolante térmico, cobertura de forro de PVC com telha cerâmica, janelas de vidro simples e área de ventilação de 50%, sem sombreamento. A absorção térmica das paredes e cobertura corresponde à 0,70.

Em relação ao pior caso para aquecimento (Caso 12), o Caso 07 obteve redução de 28,6 kWh/m².ano (60,51%) do consumo. O Caso 17, segundo melhor caso, obteve uma redução de 27 kWh/m².ano (57,32%) do consumo para aquecimento quando comparado com o pior caso.

Figura 6 – Consumo para aquecimento dos diferentes casos na Zona Bioclimática 3



Fonte: autores

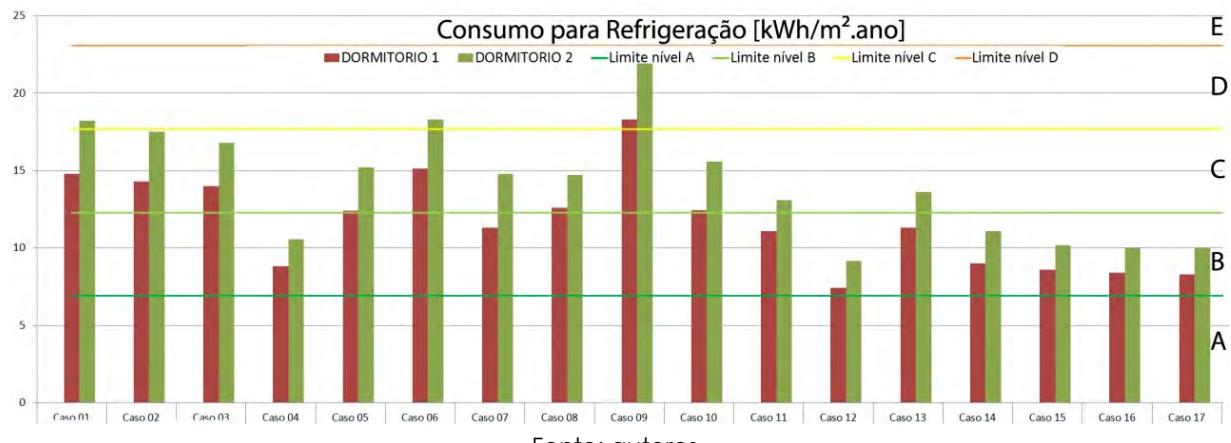
A Figura 7 apresenta os resultados de consumo para refrigeração da edificação unifamiliar nos diferentes casos na cidade de Florianópolis. O caso de pior desempenho, Caso 09, tem sua envoltória composta por paredes de blocos cerâmicos, cobertura de laje pré-moldada e telha cerâmica e janelas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. A absorção térmica atribuída às paredes e à cobertura corresponde à 0,70. O caso que obteve melhor desempenho foi o Caso 12.

Em relação ao pior caso para refrigeração (Caso 09), o Caso 12 obteve redução de 23,6 kWh/m².ano (58,83%) do consumo. O Caso 17, segundo melhor caso, tem suas características semelhantes às do Caso 12, porém, às suas paredes e à sua cobertura é adicionado isolante térmico. O Caso 17 obteve uma redução de 21,9 kWh/m².ano (54,55%) do consumo para refrigeração quando comparado com o pior caso.

A Tabela 5 apresenta a classificação energética dos diferentes casos na Zona Bioclimática 3. Os seis casos com melhores desempenhos (Casos 11, 12 e 14 ao 17) possuem valor de absorção térmica de 0,30. O Caso 17, único que obteve nível A na classificação energética final da envoltória, adota o isolante térmico em toda envoltória. Os Casos 15 e 16, segundos melhores

casos, possuem também aberturas de ventilação com 90% da área do vão da janela. Os piores casos, nível D, possuem alta absorção na envoltória, janelas não sombreadas e coberturas de telha cerâmica com forro de PVC.

Figura 7 – Consumo para resfriamento dos diferentes casos na Zona Bioclimática 3



Fonte: autores

Tabela 6 – Nível de eficiência energética dos diferentes casos – Zona Bioclimática 3

ZB3 Florianópolis	Caso 01	Caso 02	Caso 03	Caso 04	Caso 05	Caso 06	Caso 07	Caso 08	Caso 09	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15	Caso 16	Caso 17
Envoltória para Verão	E	E	E	C	D	D	C	D	D	D	B	B	D	B	A	A	A
	1,0	1,0	1,0	3,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0	2,3	4,0	4,7	4,7	5,0
Envoltória para Inverno	B	B	B	C	B	A	A	B	A	C	B	C	B	B	B	B	A
	3,7	3,7	3,7	3,3	3,7	4,7	4,7	3,7	4,7	2,6	3,7	3,0	3,7	3,7	3,7	3,7	4,7
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	C	C	B	C	D	C	C	D	C	C	B	C	B	B	B	B
	2,5	3,0	3,0	4,0	3,00	2,5	3,47	3,0	2,0	3,00	3,5	4,0	3,47	4,00	4,0	4,0	4,0
Envoltória geral	D	D	D	C	C	C	B	C	C	D	B	B	C	B	B	B	A
	2,0	2,0	2,0	3,1	2,6	2,95	3,59	2,6	3,0	2,2	3,9	3,6	2,8	3,9	4,3	4,3	4,9

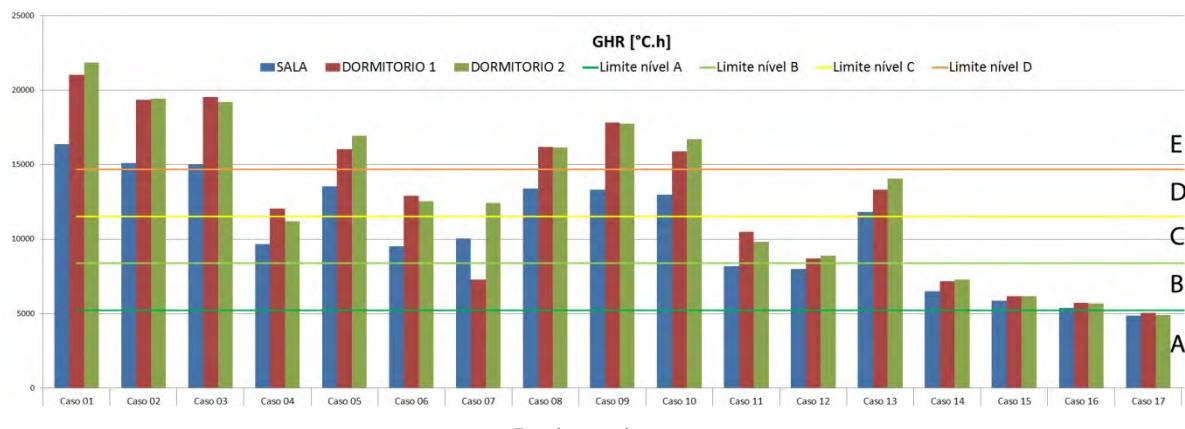
Fonte: autores

4.2 Zona Bioclimática 8 – Salvador/BA

A Figura 8 apresenta os resultados da envoltória para verão na cidade de Salvador. O Caso 01 obteve o pior desempenho. A sua envoltória é composta por: paredes de concreto maciço com absorção térmica de 0,70; cobertura de forro de PVC e telha cerâmica, também com alta absorção térmica (0,70); e aberturas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. O Caso 17 obteve o melhor desempenho.

O Caso 17 atingiu nível A em todos os ambientes de permanência prolongada na envoltória para verão (resfriamento). A redução dos graus-hora, em relação ao pior caso (Caso 01) para resfriamento, foi de 44.474 GH_R (75%). O segundo caso que obteve melhor desempenho para resfriamento foi o Caso 16. Suas características são semelhantes às do Caso 17, porém, suas paredes não possuem isolante térmico e suas aberturas possuem 90% de área de ventilação. O Caso 16 obteve uma redução de 42.483 GH_R (71,7%) quando comparado com o Caso 01.

Figura 8 – GHR dos diferentes casos na Zona Bioclimática 8



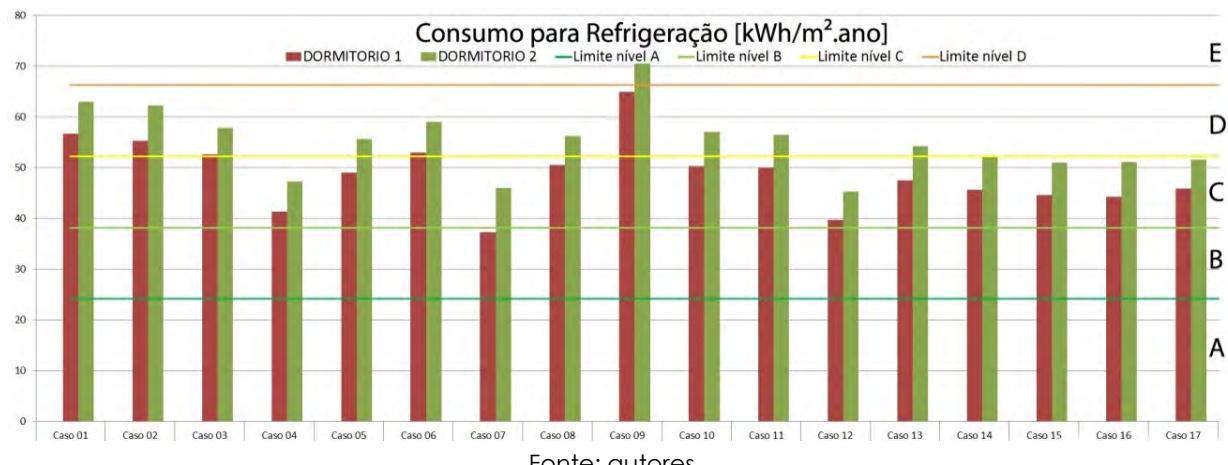
Fonte: autores

A Figura 9 apresenta os resultados de consumo para refrigeração nos diferentes casos simulados na cidade de Salvador. O caso de pior desempenho, Caso 09, tem sua envoltória composta por paredes de blocos cerâmicos, cobertura de laje pré-moldada e telha cerâmica e janelas de vidro simples com área de ventilação de 50% sem sombreamento. A absorção térmica atribuída às paredes e cobertura corresponde à 0,70. O caso que obteve melhor desempenho para refrigeração foi o Caso 07, cujas características principais da envoltória são: paredes de blocos cerâmicos com isolante térmico; cobertura de forro de PVC e telha cerâmica; janelas com vidro simples e área de ventilação de 50%, sem sombreamento; e absorção térmica de 0,70.

Em relação ao pior caso para refrigeração (Caso 09), o Caso 07 obteve redução de 52,3 kWh/m².ano (38,57%) do consumo. O Caso 12, segundo melhor caso, obteve uma redução de 50,6 kWh/m².ano (37,32%) do consumo para refrigeração quando comparado com o pior caso.

A Tabela 6 apresenta a classificação energética dos diferentes casos na Zona Bioclimática 8. Os quatro casos com melhor desempenho (Casos 14 a 17) possuem absorções térmicas de 0,30, persianas integradas às janelas, laje pré-moldada, telha cerâmica na cobertura e paredes compostas por blocos de concreto. O Caso 16, nível de eficiência energética da envoltória B, possui cobertura com isolamento térmico. O Caso 17, único que obteve nível A na classificação energética final da envoltória, adota o uso de isolamento térmico na envoltória. Os casos de pior desempenho, níveis D e E, possuem absorções térmica de 0,70 na envoltória.

Figura 9 – Consumo para refrigeração dos diferentes casos na Zona Bioclimática 8



Fonte: autores

Tabela 7 – Nível de eficiência energética dos diferentes casos – Zona Bioclimática 8

ZBB Salvador	Caso 01	Caso 02	Caso 03	Caso 04	Caso 05	Caso 06	Caso 07	Caso 08	Caso 09	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14	Caso 15	Caso 16	Caso 17
Envoltória para Verão	E	E	E	C	E	D	C	E	E	E	C	C	D	B	B	B	A
	1,0	1,0	1,0	2,7	1,3	2,3	3,0	1,3	1,3	1,3	3,3	3,3	2,0	4,0	4,0	4,0	5,0
Envoltória para Inverno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	D	D	C	D	C	D	E	D	D	C	D	C	C	C	C	C
	2,0	2,0	2,0	3,0	2,47	2,0	3,47	2,5	1,5	2,47	2,5	3,0	2,47	3,00	3,0	3,0	3,0
Envoltória geral	E	E	E	C	E	D	C	E	E	E	C	C	D	B	B	B	A
	1,0	1,0	1,0	2,7	1,3	2,35	2,96	1,3	1,3	1,3	3,3	3,3	2,0	4,0	4,0	4,0	5,0

Fonte: autores

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa apresentou a avaliação do comportamento termo energético da envoltória, pelo método de simulação do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), de uma habitação unifamiliar de interesse social. Foram avaliados diferentes parâmetros construtivos cujas características influenciam na eficiência energética das edificações. Com base nos resultados é possível traçar as seguintes conclusões:

- O Caso 1 (paredes de concreto e cobertura de telha cerâmica, com alta absorância térmica da envoltória) apresentou o pior desempenho térmico da envoltória para verão para todas as zonas bioclimáticas analisadas;
- O caso 13 (uso de isolante na envoltória e sem uso de sombreamento) apresentou o melhor desempenho térmico da envoltória para verão para a Zona Bioclimática 01;
- O caso 17 (uso de isolante na envoltória e uso de persianas) apresentou o melhor desempenho térmico da envoltória para verão para a Zona Bioclimática 03 e 08;
- Com relação ao consumo de aquecimento, o Caso 13 e o Caso 07 (uso de isolante nas paredes e área de ventilação de 50%) apresentaram o

melhor desempenho térmico da envoltória para as cidades de Curitiba e Florianópolis, respectivamente;

- Com relação ao consumo de refrigeração, o Caso 04 (paredes de blocos cerâmicos, cobertura com telha cerâmica, área de ventilação de 50% e sem sombreamento), Caso 12 (paredes de blocos cerâmicos, cobertura com telha cerâmica, área de ventilação de 50% com persianas integradas) e o Caso 07 apresentaram o melhor desempenho térmico da envoltória para as cidades de Curitiba, Florianópolis e Salvador, respectivamente;
- Todos os melhores casos, que apresentaram o melhor desempenho térmico da envoltória para verão, alcançaram nível A de eficiência energética na envoltória de acordo com o RTQ-R;
- Envoltória com baixa absorção, janelas com grande abertura para ventilação e persianas integradas, aliados à baixa transmitância térmicas nas paredes e alta capacidade térmica na cobertura, reduzem a necessidade de condicionamento de ar nas zonas bioclimáticas de clima predominantemente quente;
- Nas regiões de clima predominantemente frio, cujo ganho de calor reduz o consumo para aquecimento, justificam-se aberturas sem sombreamento, de menor área de ventilação, e absorções médias.

REFERÊNCIAS

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. BEN - **Balanço Energético Nacional**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 13 dez. 2014.

_____.MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Déficit habitacional no Brasil 2008**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.cidados.gov.br/images/stories/ArquivosSNH/ArquivosPDF/DHB_2008_Final_2011.pdf>. Acesso em: 05 jun. 14.

_____. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012.

CAIXA. **Cadernos CAIXA Projeto padrão** – casas populares 42m². 2007. Disponível em: <<http://www1.caixa.gov.br/download/>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

DOE – Department of Energy. **Programa EnergyPlus – versão 8.1**. Califórnia, EUA, 2013. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 19 nov. 2013.

PAULSEN, J.; SPOSTO, R. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE”. **Energy and Buildings**, v.57, n. 8, p. 95-102, 2013.

INVIDIATA, A.; FOSSATI, M.; ORDENES, M.M.; LAMBERTS, R. **Improved the energy efficiency in brazilian social housing with the contribution of solar decathlon**. PLEA 2015 Conference on Passive and Low Energy Architecture 31. Bolonha, Itália, 2015.

LIMA G.L.F.; PEDRINI, A.; ALVES, A.F.M. Avaliação do desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada no clima quente e úmido da cidade de Parnamirim/RN com base no método de simulação do RTQ-R. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012. **Anais...** Juiz de Fora, ANTAC.

TRIANA, A.M.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 524-541, 2015.

VIEIRA, A. S.; BIGI, A.C.; BITTENCOURT, D. L.; GHISI, E.; DE FREITAS, M. N. Identificação de estratégias para aumentar a eficiência energética de habitações de interesse social localizadas na grande Florianópolis: aplicação do RTQ-R. 3º Workshop da rede de pesquisa: uso racional da água e eficiência energética em habitações de interesse social, 2012. **Anais...** Florianópolis.