XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

OTIMIZAÇÃO SIMPLIFICADA DO DESEMPENHO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR LOCALIZADA NA ZBB2

Stifany Knop (1); Franciele P. Freitas (2); Thaisa C. Rodrigues (3); Eduardo Grala da Cunha (4)

(1) Ma., Professora Arquiteta e Urbanista, Universidade Católica de Pelotas, stifany.knop@ucpel.edu.br.
(2) Arquiteta e Urbanista, Laboratório de Conforto e Eficiência Energética, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, franciele_petri@outlook.com.
(3) Graduanda do curso de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto e Eficiência Energética, Universidade Federal de Pelotas, thaisa.carvalho@ufpel.edu.br.
(4) Dr. Professor Associado Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto e Eficiência Energética, Universidade Federal de Pelotas, eduardo.grala@ufpel.edu.br
Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE), Cx Postal 1359, Pelotas-RS, 96010-020, Tel.: +55 (53) 3284-5508

RESUMO

Desde o início dos anos 2000 houve um aumento com a preocupação do desempenho termoenergético de edificações comerciais, de serviços, públicas e residenciais no Brasil. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, (EPE, 2018), a compra de equipamentos de ar condicionado por famílias, mesmo que ainda considerada tímida, dobrou entre os anos de 2005 e 2017, e há a estimativa de que a demanda de energia elétrica para o seu uso em residências, pode subir 5,4% ao ano, sendo que a aplicação de estratégias de eficiência energética pode reduzir essa estimativa em até 3 vezes. Este trabalho tem como objetivo verificar a interferência no consumo e no nível de conforto térmico de uma edificação residencial a alteração de duas variáveis na construção: a orientação solar e o isolamento térmico do envelope. Para isso, essa pesquisa foi dividida em sete (07) etapas: definição do projeto base; definição da envoltória para atendimento da NBR 15.575; simulação do desempenho do caso base; otimização simplificada do modelo para atendimento do RTQ-R – Nível A; análise dos resultados de consumo energético para os modelos com duas orientações solares distintas; análise dos resultados de conforto térmico – ASHRAE 55 – modelo adaptativo, com duas orientações solares distintas. Os resultados obtidos comprovaram que a melhor orientação aliada a um bom nível de isolamento térmico da envoltória eleva os níveis de conforto térmico (até 9,38% positivamente) e reduzem o consumo de energia em até 88,19% de uma edificação residencial.
Palavras-chave: orientação solar, desempenho termoenergético de residência, simulação computacional.

ABSTRACT

Since the early 2000s, there has been an increase with the presence of the investment market in commercial, service, public and residential companies in Brazil. According to an Energy Research Company (EPE, 2018), the purchase of air conditioning equipment by families, even if still considered timid, doubled between the years 2005 and 2017, and there is an estimate that the demand for electric power for its use in homes may rise 5.4% year, and the application of energy efficiency strategies can reduce this estimate by up to 3 times. This work aims to verify the interference in the consumption and the thermal comfort level of a residential building the alteration of two variables in the construction: the solar orientation and the thermal insulation of the envelope For this, this research was divided into seven (07) steps: definition of the base project; definition of the envelope for compliance with NBR 15.575; base case performance simulation; simplified model optimization for compliance with RTQ-R - Level A; analysis of energy consumption results for models with two different solar orientations; thermal performance analysis - ASHRAE 55 - adaptive model, with two different solar instructions. The results obtained showed that the best orientation combined with a good thermal insulation level increases thermal comfort levels (up to 9.38% positively) and reduces energy consumption in up to 88.19% of a residential building.
Keywords: Solar orientation, thermoenergetic residential performance, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as construções no Brasil, consomem pouco mais de 51% da energia elétrica gerada no país (EPE, 2017). Entretanto, pouco desse consumo representa soluções artificiais para manter os níveis de conforto térmico dentro de uma residência. “Os usos finais médios ficaram distribuídos em 7% para iluminação, 42% para refrigerador e freezer, 19% para chuveiro elétrico, 2% para aparelho de ar condicionado, 12% para televisor e 18% para os demais aparelhos.” (Fedrigo. *et al*, 2009). De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, (EPE, 2018), a compra de equipamentos de ar condicionado por famílias, mesmo que ainda considerada tímida, dobrou entre os anos de 2005 e 2017, e há a estimativa de que a demanda de energia elétrica para o seu uso em residências, pode subir 5,4% ao ano, sendo que a aplicação de estratégias de eficiência energética pode reduzir essa estimativa em até 3 vezes.

Neste contexto, o imprescindível para manter o nível de conforto térmico interno das edificações é estabelecer metas para qualificar a construção e para que o consumo com climatização artificial seja o mínimo necessário. No presente momento, temos no país algumas normas e regulamentos que estabelecem critérios e índices de desempenho para a construção de residências: a NBR 15.220, a NBR 15.575 e o RTQ-R. As NBRs são consideradas grandes avanços no cenário da construção civil, pois até a sua publicação não haviam outros critérios pré-estabelecidos de qualidade da construção. Porém, mesmo a NBR 15.575, que possui classificação de desempenho, apresenta níveis ainda dúbios de seus parâmetros, no que tange às questões de conforto térmico (Dalbem et. Al., 2017). Já o RTQ-R estabelece parâmetros mais exigentes e permite a verificação do desempenho do sistema construtivo como um todo. Entretanto, o regulamento não estabelece recomendações de estratégias passivas para o melhor desempenho térmico da edificação, e sim, método de análise do seu nível de eficiência energética.

Sabe-se que um projeto arquitetônico deve considerar vários condicionantes quando do seu lançamento, tais como, local, clima, orientação, ventos, legislação, usos, necessidades dos ocupantes, etc. Esses condicionantes devem auxiliar o arquiteto na tomada de decisões de como resolver da melhor forma possível o projeto arquitetônico. Os condicionantes devem ser conhecidos, estudados e considerados como auxiliares nas questões de conforto ambiental do espaço interno. Questões consideradas simples mas que apresentam resultados efetivos no desempenho termoenergético, não podem ser desconsideradas, como por exemplo a melhor orientação solar para ambientes de permanência prolongada em residências. Além disso, a edificação residencial é um sistema no qual o desempenho de um componente interfere no desempenho de outro. Por exemplo, de uma forma geral, podemos afirmar que o aumento do isolamento térmico de uma edificação residencial nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 (mais frias do país), implica numa melhora no desempenho. Por outro lado, se essa edificação tiver grandes planos envidraçados orientados para oeste maximizando os ganhos térmicos, teremos um sobreaquecimento nesta residência. Nesse sentido, esse estudo traz os resultados obtidos, por meio de simulação computacional, para a verificação da interferência da orientação solar e do nível de isolamento térmico combinados no desempenho de uma residência unifamiliar.

2. OBJETIVO

O objetivo geral do artigo é fazer uma análise comparativa entre uma edificação residencial de dois pavimentos atendendo os requisitos da NBR 15.575 e o nível A do RTQ-R, considerando duas orientações solares distintas, para a Zona Bioclimática Brasileira 2.

3. MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida em 7 etapas:

1. Definição do projeto base;
2. Definição da envoltória para atendimento da NBR 15.575;
3. Simulação do desempenho do caso base;
4. Otimização simplificada do modelo para atendimento do RTQ-R – Nível A;
5. Análise dos resultados de consumo energético para os modelos com duas orientações solares distintas;
6. Análise dos resultados de conforto térmico – ASHRAE 55 – modelo adaptativo, com duas orientações solares distintas;

3.1. Definição do projeto base

O projeto utilizado para a pesquisa foi o modelo adaptado por Dalbem *et. al*.(2015), de Pouey (2011). Entretanto, o modelo utilizado, considerou duas situações de orientações solares, sendo estas opostas (Norte

e Sul). A residência de dois pavimentos possui sala de estar, jantar, cozinha, 2 dormitórios – sendo um para PCD – e banheiro no térreo, e mezanino para área de estudos, lavabo e área técnica no segundo pavimento. A zona social da residência possui um pé-direito duplo e um solário externamente ao estar. Os dormitórios são dotados de persianas externas e as áreas envidraçadas do estar e cozinha possuem brises.

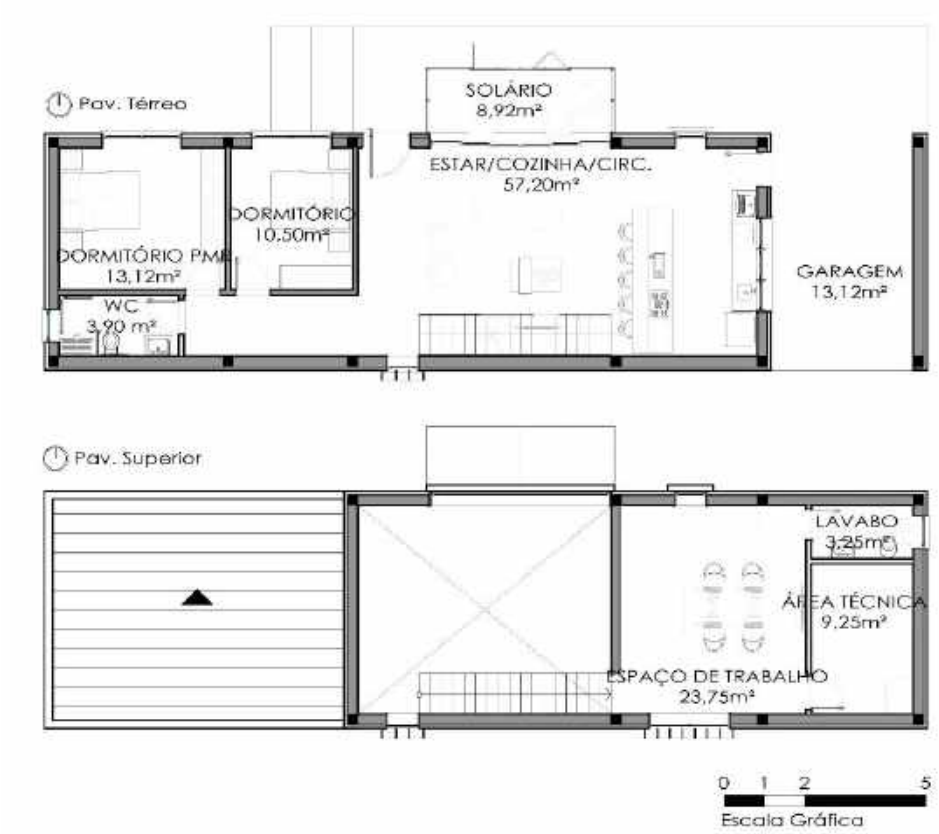


Figura 1 - Planta baixa térreo e segundo pavimento, para orientação Norte. Adaptado de Dalbem, 2015.

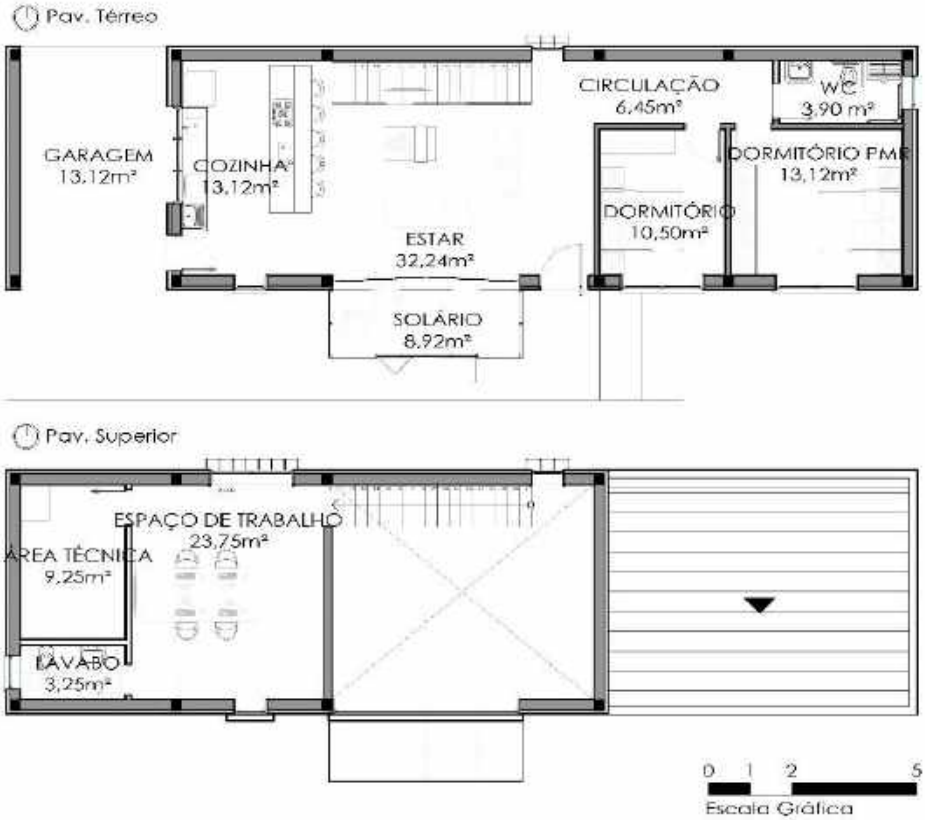


Figura 2 - Planta baixa térreo e segundo pavimento, para a orientação Sul. Adaptado de Dalbem, 2015.

O projeto original da residência utiliza estratégias de condicionamento passivo, considerando que a melhor orientação (norte) dispõem do maior percentual de abertura, para proporcionar maior ganho térmico por radiação solar durante o período de inverno. Entretanto, o estudo buscou analisar quais as implicações de utilizar a recomendação para a pior orientação (sul).

Ainda com base no projeto de Dalbem (2015) e considerando que o modelo base para o estudo pode ser definido como uma construção de padrão médio a superior, foram considerados vidros duplos nas esquadrias e a edificação está elevada 60cm do chão.

3.2. Definição da envoltória para atendimento da NBR 15.575

O critério adotado para a definição da envoltória, considerou que a norma de desempenho NBR 15.575 estabelece critérios relativamente mais rígidos para uma edificação residencial, quando comparada a NBR 15.220, por exemplo. Para atendimento da NBR 15.575, no critério desempenho térmico, é necessário cumprir os requisitos mínimos em cada zona bioclimática para paredes e cobertura. Na Zona Bioclimática 2, onde o objeto de estudo está inserido, o valor estipulado de capacidade térmica (CT) para as paredes externas é ≥ 130[kJ/m².K]. O valor estipulado para transmitância térmica (U) de cobertura é ≤ 2,3 [W/m²K] e para paredes externas é ≤ 2,5 [W/m².K]. Assim, para atender ao requisito foram utilizados tijolos cerâmicos de 8 furos para as paredes externas, com U= 2,49 W/(m²K) e CT =158 kJ/(m²K), e na cobertura U= 1,92 W/(m²K) e CT = 333 kJ/(m²K), conforme tabela abaixo.

Tabela 1 - Configuração parede (ABNT, 2005)

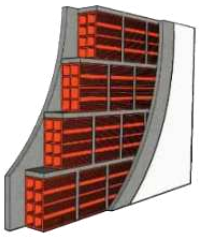
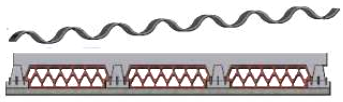
Parede	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	**2,49**	**158**	**3,3**

Tabela 2 - Configuração cobertura

Cobertura	Descrição	U [W/(m².K)]	C_T [kJ/(m².K)]
	Laje pré-moldada (vigota e tavela), com concreto e reboco interno. Altura da tavela: 20 cm; Concreto: 5,0 cm Reboco interno: 2,0 cm. Espessura total da laje: 27cm	**1,92**	**333**
Obs.: A cobertura completa considera a laje pré-moldada com telhado de fibrocimento. Porém, para efeitos de cálculo, a cobertura pode ser considerada como muito ventilada, sendo considerado apenas os materiais acima descritos.			

3.3. Simulação do modelo base

O caso base foi modelado conforme geometria do projeto de Dalbem (2015). Entretanto, a sala de estar/cozinha e mezanino foram modelados como uma única zona térmica, para representação do pé-direito duplo.

Após a configuração de todo o modelo, considerando a envoltória conforme os requisitos da NBR 15.575, o modelo base foi simulado para a verificação de desempenho térmico e energético, para as duas orientações solares, norte e sul. No primeiro momento, a edificação é simulada como ventilada naturalmente para verificação de conforto térmico, posteriormente é simulada com sistema de ar condicionado (Expansão Direta), para a verificação de consumo. Ambas as simulações consideram as configurações do RTQ-R para as condições de uso, ocupação, iluminação e aquecimento, para que em seguida seja possível a comparação da classificação de eficiência energética.

.



(a) (b)

Figura 3 – (a) Modelo orientação Sul – (b) Modelo orientação Norte

3.3.1. Arquivo climático

O arquivo climático utilizado para todas as simulações no software EnergyPlus, foi o BRA_Santa.Maria.839360_SWERA.epw, onde apresenta os dados da cidade de Santa Maria do estado do Rio Grande do Sul. A escolha deu-se baseada no arquivo utilizado nas tabelas do RTQ-R, para classificação de nível de eficiência na zona bioclimática brasileira 2. A cidade de Pelotas/ RS, onde o estudo foi desenvolvido, também está inserida nesta zona bioclimática.

3.3.2. Configuração da envoltória

A envoltória foi configurada utilizando parâmetros de parede e cobertura atendendo os requisitos mínimos, para nível de desempenho, da NBR 15.575, quanto à transmitância térmica e capacidade térmica. As demais configurações estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 – Definição dos componentes da envoltória

Componente	Descrição
Paredes externas e internas	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão. Espessura total da parede: 14,0 cm
Cobertura	Laje pré-moldada. Espessura total da laje: 27cm. Foi modelado sobre a laje de cobertura um elemento de sombreamento, simulando a telha de fibrocimento originalmente integrante do sistema.
Piso	Piso cerâmico sobre concreto e laje pré-moldada. Espessura total do piso: 26,0cm
Janelas	Os vidros das janelas são todos insulados – duplos com câmara de ar.
Portas	As portas externas e internas são de madeira maciça.

3.3.3. Configuração de uso

O padrão de uso empregado para as simulações dos modelos, foi respaldado nas recomendações do RTQ-R.

A residência foi considerada ocupada no período noturno, onde a ocupação ocorreu com 2 pessoas por cada dormitório e com 4 pessoas na sala de estar/cozinha. Além da ocupação da residência, foram considerados como ganhos internos a iluminação (5 W/m² nos dormitórios e 6 W/m² no estar/cozinha) e equipamentos (1,5Wm² no estar/cozinha), e ambos configurados conforme sugere o RTQ-R, prioritariamente para o período da noite, durante a ocupação.

3.3.4. Configuração do modelo para edificação ventilada naturalmente

Para a análise do nível de Conforto Térmico a edificação foi configurada ventilada naturalmente. A ventilação natural foi configurada tendo em vista as 8760 horas do ano, possibilitando pelo menos uma renovação de ar por hora e utilizando um padrão para abertura das janelas, estabelecido através de controle de temperatura, onde o *setpoint* de abertura total das janelas foi de 20 °C.

Tabela 4 – Agendas utilizadas para a simulação

Horário	DORMITÓRIOS					SALAS				
	Iluminação DPI (5,0 W/m²) - %		Equipamentos Potência (W/m²)	Ocupação (45 W/m²) - %		Iluminação DPI (6,0 W/m²) - %		Equipamentos Potência (W/m²)	Ocupação (60 W/m²) - %	
	D. S.	F. S.	T. D.	D. S.	F. S.	D. S.	F.S.	T.D.	D. S.	F. S.
1 h – 7 h	0	0	0	100	100	0	0	1,5	0	0
7 h – 8 h	100	0	0	0	100	0	0	1,5	0	0
8 h – 9 h	0	0	0	0	100	0	0	1,5	0	0
9 h – 10 h	0	100	0	0	100	0	0	1,5	0	0
10 h – 11 h	0	0	0	0	50	0	0	1,5	0	0
11 h – 12 h	0	0	0	0	0	0	100	1,5	0	25
12 h – 13 h	0	0	0	0	0	0	100	1,5	0	75
13 h – 14 h	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0
14 h – 15 h	0	0	0	0	0	0	0	1,5	25	75
15 h – 17 h	0	0	0	0	0	0	0	1,5	25	50
17 h – 18 h	0	0	0	0	0	100	100	1,5	25	50
18 h – 19 h	0	0	0	0	0	100	100	1,5	25	25
19 h – 20 h	0	0	0	0	0	100	100	1,5	100	25
20 h – 21 h	0	0	0	0	0	100	100	1,5	50	50
21 h – 22 h	100	100	0	50	50	100	100	1,5	50	50
22 h – 23 h	100	100	0	100	100	0	0	1,5	0	0
23 h – 24 h	0	0	0	100	100	0	0	1,5	0	0

D.S. – Dias de Semana | F.S. – Finais de semana | T.D. – Todos os dias

Fonte: adaptado de INMETRO, 2012

3.3.5. Configuração do modelo para edificação com sistema de ar condicionado

Para analisar o consumo de energia da edificação a mesma foi tratada climatizada artificialmente durante o período da noite. A configuração do sistema do ar condicionado foi dada através do ajuste do termostato em 22°C e 24°C, sendo acionado para aquecimento quando apresentou temperaturas internas abaixo de 22 °C, e resfriamento para temperaturas internas acima de 24 °C, considerando todos os dias do ano, no período das 21 h às 8 h, conforme estipulado RTQ-R. Além disso, o sistema de aquecimento tem COP (coeficiente de performance) de 2,75, e o sistema de refrigeração, de 3,00.

3.4. Otimização do modelo para atendimento do RTQ-R – Nível A

A partir dos resultados obtidos com a simulação do caso base, buscou-se otimizar a construção até que a mesma receba a classificação nível "A" do RTQ-R. A estratégia utilizada para otimização foi aumentar o isolamento térmico da cobertura e das paredes, que atingiu o nível de eficiência desejado, através do uso de EPS em espessuras de 1 cm (orientação norte) e 3cm (orientação sul), mantendo a relação de percentual de abertura na fachada.

3.4.1. Configuração da envoltória

Para os modelos otimizados manteve-se as configurações da envoltória quanto ao piso, paredes internas, portas e janelas do caso base. Quanto as paredes externas e cobertura estão apresentadas na tabela 4, abaixo.

Tabela 5 – Definição dos componentes da envoltória otimizada

Componente	Descrição
	Orientação Norte
Paredes externas	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão e 1 cm de EPS. Espessura total da parede: 15,0 cm
Cobertura	Laje pré-moldada e 1 cm de EPS. Espessura total da laje: 28cm. Foi modelado sobre a laje de cobertura um elemento de sombreamento, simulando a telha de fibrocimento originalmente integrante do sistema.
	Orientação Sul
Paredes externas	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão, e 3 cm de EPS. Espessura total da parede: 17,0 cm
Cobertura	Laje pré-moldada e 3 cm de EPS. Espessura total da laje: 30 cm. Foi modelado sobre a laje de cobertura um elemento de sombreamento, simulando a telha de fibrocimento originalmente integrante do sistema.

3.5. Análise dos resultados de consumo energético

Para a análise de consumo, foi considerada o consumo de ar condicionado para aquecimento e resfriamento, considerando a configuração conforme o RTQ-R para todos os modelos – modelo base Norte, modelo base Sul, otimização Norte e otimização Sul. Foi utilizada a Intensidade de Uso de Energia em kWh/m^2.ano (EUI)

3.6. Análise dos resultados de conforto térmico – ASHARE 55 – modelo adaptativo

A partir do modelo adaptativo da ASHARE 55, a qual estabelece uma porcentagem de 80% de seus usuários em satisfação com ambiente térmico de acordo com a figura 4, foi possível a análise do conforto térmico da edificação para todos os modelos simulados. Este método relaciona a temperatura de conforto com a média mensal da temperatura externa do ar, conforme a equação 1, obtendo a temperatura operativa de conforto.

$$Toc = 17,8 + 0,31\ Text \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
Toc = Temperatura operativa de conforto [°C];
Text = Temperatura média mensal externa [°C].

Fonte: Equação obtida através da figura 5.4.2. (ASHRAE 55 2013)

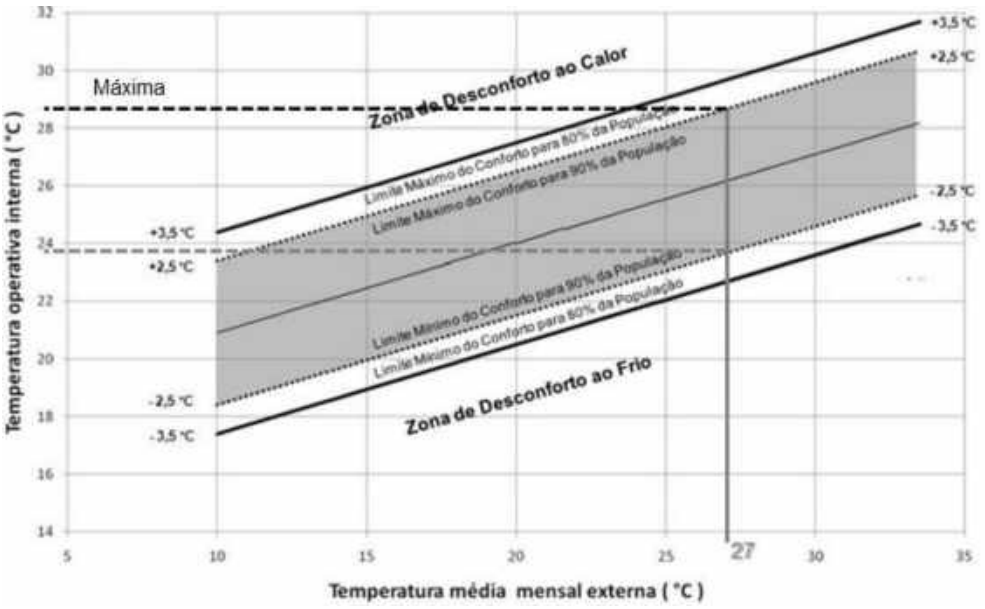


Figura 4 – Faixa de conforto de Temperatura Operativa. Fonte: Nico-Rodrigues *et. al.* (2015).

Para 80% de aceitabilidade dos usuários, a temperatura operativa interna pode variar -3,5°C até +3,5°C da temperatura operativa de conforto obtida a partir da equação 1.

4. RESULTADOS

4.1. Análise dos resultados de Consumo

De acordo com a figura 5, observa-se que os maiores consumos de energia acontecem nos casos bases, sem isolamento na envoltória. Na edificação orientada a sul, há ainda maior consumo para aquecimento do ambiente, devido a menor incidência da radiação solar direta na fachada de maior percentual de aberturas, no período de inverno.

Ao otimizar o modelo para as duas orientações, aumentando o isolamento com a inserção de EPS, diminui-se o consumo total, principalmente quanto ao consumo por resfriamento. Isso acontece pois com o aumento da resistência térmica dos componentes opacos, diminui o fluxo de calor entre o exterior e interior.

Para classificação nível A, para a orientação norte, foi necessário acrescentar apenas 1cm de EPS nas paredes externas e cobertura, enquanto para a orientação sul foram necessários 3 cm, mostrando que a orientação de janelas é fator de extrema relevância para ganhos térmicos, e consequentemente consumo de ar condicionado.

Também se verifica que para a zona bioclimática 2 a melhor estratégia para a redução do consumo energético e alcançar Nível A do regulamento, é atrelar a melhor orientação solar – norte – com isolamento térmico, apresentando o melhor resultado do estudo, com menor consumo de energia com menos material empregado. Este modelo mostrou-se ainda mais eficiente em virtude da combinação de maior percentual de aberturas para a fachada que recebe maior incidência da radiação solar no inverno e menor percentual, na fachada de menor incidência direta, além da proteção solar por brises e persianas.

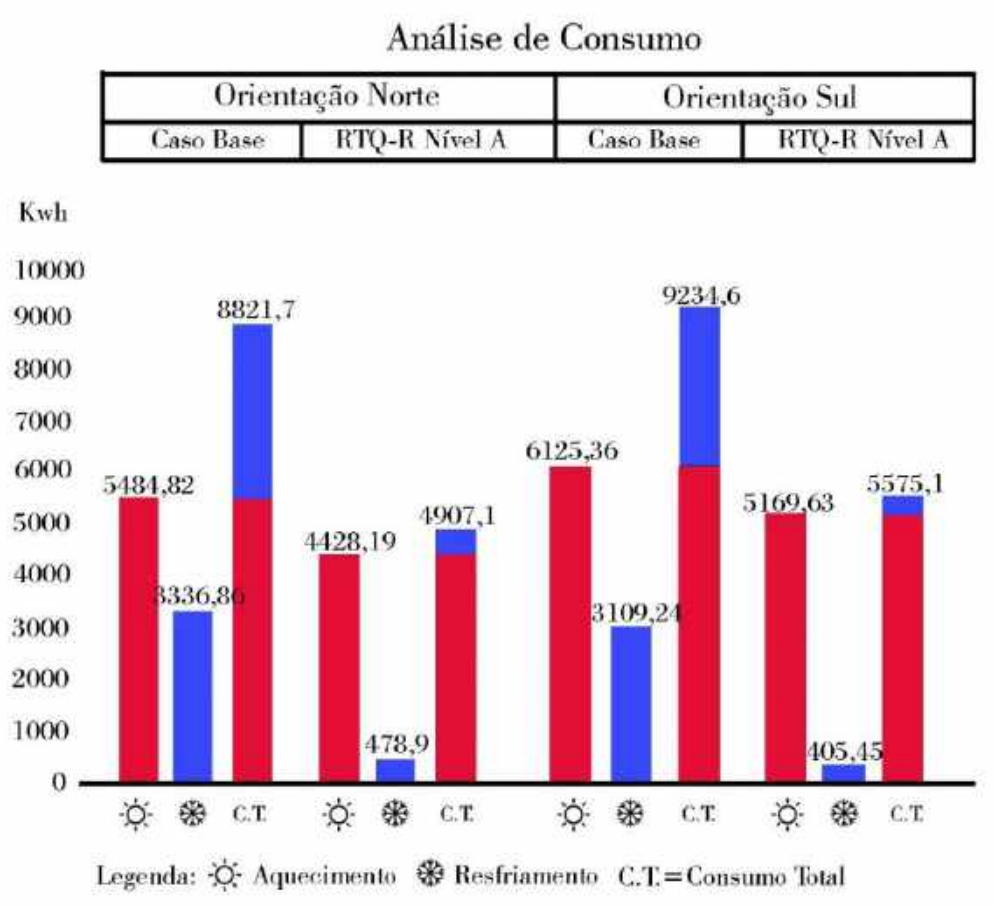


Figura 5 – Infográfico da análise de consumo (kWh/ano). Autores

Comparando os resultados e as análise realizadas para alcançar a classificação nível A, do RTQ-R, temos as seguintes classificações para os modelos simulados:

Tabela 6 – Nível de classificação conforme o RTQ-R

Modelo	Classificação	EqNumEnv
	Orientação Norte	
Caso base	B	4,1
Caso otimizado (**1cm EPS**)	A	4,5
	Orientação Sul	
Caso base	B	4,0
Caso otimizado (**3cm EPS**)	A	4,5

Mesmo apresentando resultados semelhantes, o parâmetro de consumo de energia para aquecimento e resfriamento durante o ano mostra que existe uma diferença significativa nos modelos.

4.2. Análise dos resultados de Conforto Térmico

Conforme a figura 6, observa- se que entre os casos base há maior conforto térmico para orientação norte, além do menor desconforto por frio. Além disso, para esta orientação, também se verifica que com a inserção de isolamento térmico, o qual se atingiu o nível A da classificação do RTQ-R, houve um aumento de 450 horas de conforto térmico no ano em relação ao caso base, ou seja, há um aumento de mais de duas semanas em conforto com pouco custo de construção.

A edificação encontra-se mais confortável na orientação norte, em virtude da melhor aplicabilidade das estratégias bioclimáticas na zona bioclimática em que se insere, como por exemplo, a implantação do edifício, posição e dimensionamento das esquadrias.

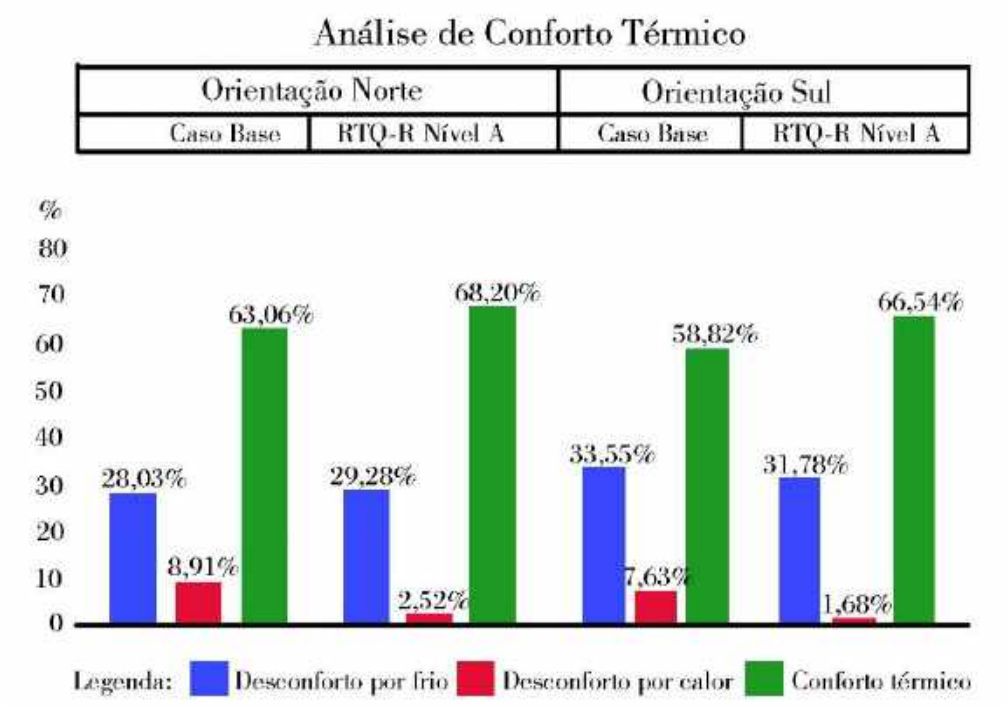


Figura 6 – Infográfico da análise de percentual de horas em conforto térmico. Autores

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos foi possível comprovar que a orientação solar correta, permitindo a incidência de sol no inverno, e uma construção com o mínimo de isolamento, trouxe resultados mais favoráveis no consumo de energia e no aumento do nível conforto térmico. Os resultados de consumo foram menores para as configurações onde a fachada com mais aberturas está voltada para Norte. No caso base, a orientação sul, teve um consumo 4,68% maior que a orientação norte, enquanto o caso otimizado, Nível A sul, teve uma diferença ainda mais significativa, de 13,61% maior que o Nível A norte. Para os resultados de conforto térmico, as diferenças mais significativas foram nos casos bases, onde não há um tratamento de isolamento da envoltória, sendo que a diferença no percentual de conforto térmico do caso base é de 4,24% maior para a orientação norte, em relação à sul, e 1,66% da orientação norte Nível A, para a orientação sul, nível A. Considerando os resultados entre o pior e melhor caso, os percentuais são ainda mais significativos,

sendo que o consumo de energia para o caso base sul é 88,19% maior que o Nível A norte, e o desempenho térmico é 9,38% melhor para o Nível A norte, em comparação ao caso base sul. Importante destacar que, apesar da pequena diferença no resultado de conforto térmico para os modelos otimizados para o RTQ-R, a intervenção construtiva, de aumento de isolamento térmico, foi 1/3 menor para a melhor orientação – norte (EPS – 1cm) – em relação à orientação menos favorável – sul (EPS – 3cm). As análises demonstram que orientação adequada e preocupação com o isolamento térmico da envoltória da construção são essenciais para o bom desempenho termoenergético de uma residência localizada na ZBB2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE –– AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2013 ASHRAE 55 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220-3: **Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

DALBEM, R.; CUNHA, E. G. da; VICENTE, R.; FIGUEIREDO, A. J.; SILVA, A. C. S. B. da. **Discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 201-222, jan./mar. 2017.

DALBEM, R.; FREITAS, J. M. R.; CUNHA, E. G. **Conceito Passivhaus Aplicado ao Clima Brasileiro**. Revista de Arquitetura IMED, v. 4, n. 1, p. 26-36, 2015.

DALBEM, RENATA; GRALA DA CUNHA, EDUARDO; RHEINGANTZ, PAULO AFONSO; VICENTE, ROMEU; SILVA, ANTONIO CÉSAR SILVEIRA BAPTISTA DA. **Atender às Normas de Desempenho é Indicativo de Conforto Térmico na Edificação de Uso Habitacional?** Arquitextos, São Paulo, ano 18, n. 211.03, Vitruvius, dez. 2017 <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/18.211/6828>.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional de 2019, ano Base 2018**. MME, 2019.

FEDRIGO, NATÁLIA S. GHISI, ENEDIR. LAMBERTS, ROBERTO. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro.** X encontro Nacional e VI encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais. Natal. 2009

INMETRO – INSTITUDO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.** Rio de Janeiro, RJ. 2012.

POUEY, J. A-A. **Projeto de Edificação Residencial Unifamiliar Para a Zona Bioclimática 2 Com Avaliação Termo Energética Por Simulação Computacional**. Pelotas, 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ,C. E. de; SANTO, A. D.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 15, n 2. 2015.

AGRADECIMENTOS

Os autores do Trabalho agradecem ao CNPq pelo apoio durante a fase de desenvolvimento da pesquisa.