2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

OTIMIZAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA *PASSIVE HOUSE* A PARTIR DO COMPORTAMENTO TERMOENERGÉTICO[1]

RODRIGUES, Thaisa (1); AIRES, Kelly (2); KNOP, Stifany (3); MACARTHY, Maritza (4); CUNHA, Eduardo da (5)

(1) (2) Universidade Federal de Pelotas, Thaisa_cr@hotmail.com; kelly.aires21@hotmail.com
(3) Universidade Católica de Pelotas, stifany.knop@ucpel.edu.br
(4) (5) Universidade Federal de Pelotas, mmacarthy2013@gmail.com; eduardogralacunha@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo, a otimização simplificada de uma edificação residencial unifamiliar, de 126,45 m² de área, visando maximização do desempenho termoenergético. A verificação foi feita através de simulações computacionais com o software Energy Plus 8.7. O caso base seguiu as configurações indicadas na NBR15575 e posteriormente foi otimizado de forma simplificada, com o aumento de isolamento térmico e sombreamento dos planos envidraçados. As simulações foram feitas em duas condições, ventilação natural e condicionamento artificial. A melhor otimização foi quando a edificação obteve os 5 princípios de uma passive house e necessitou de menor isolamento térmico, comparada com as demais simulações. Isto ocorreu com o acréscimo de 4 cm de EPS nas paredes, 1 cm na cobertura e 2cm no piso, aumentando cerca 33,88% de horas em conforto térmico ao longo do ano e uma redução de consumo em cerca de 84,24%.

Palavras-chave: *NBR15575. Otimização. Desempenho termoenergético. Passive house.*

ABSTRACT

This paper aims to present a simplified optimization of a single-family residential building, with 126.45 m², in order to reach the maximization of the thermoenergetic performance. The verification was carried out through computational simulations with the software Energy Plus 8.7. The base model followed the configurations indicated in NBR15575 and was later optimized in a simplified way, through the increase of thermal insulation and shading of the glazed plans. The simulations were performed in two conditions, natural ventilation and artificial conditioning. The best optimization was resched when the building met the 5 principles of a passive house and the lowest thermal insulation compared with other simulations. This occurred with the addition of 4 cm of EPS in walls, 1 cm in the roof and 2 cm at floor, reaching approximately 33.88% of hours in thermal comfort throughout the year and a reduction in consumption of around 84.24%.

Keywords*: NBR15575. Optimization. Thermoenergetic performance. Passive house.*

---

[1] RODRIGUES, Thaisa(1); AIRES, Kelly(2); KNOP, Stifany(3); MACARTHY, Maritza(4); CUNHA, Eduardo da(5). OTIMIZAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA *PASSIVE HOUSE* OBSERVANDO O COMPORTAMENTO TERMOENERGÉTICO DA EDIFICAÇÃO ENTAC 2020. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a construção civil consome mais de 51% da energia elétrica que é gerada (EPE, 2019). O setor residencial é responsável por grande parte deste consumo (PACHECO et al, 2012). Segundo Wang (2006) quando a forma, a orientação e o envelope são observados na fase inicial de projeto, pode haver uma redução de até 40% no gasto energético. Considerando o consumo de energia e a qualidade das construções, em 2013 foi publicada a Norma de Desempenho de edificações habitacionais – NBR 15575 (ASBEA, 2015), que indica parâmetros de sustentabilidade, habitabilidade e segurança, com classificação mínima (M), intermediária (I) ou superior (S).

Contudo, esses parâmetros têm-se mostrado ineficientes na redução do consumo de energia em edificações (SOARES, 2014), o que indica que outros padrões devem ser adotados. *Passive House* é uma certificação alemã, amplamente difundida na Europa (SCHNIEDERS et al., 2015). Os 5 princípios são: elevado nível de isolamento térmico do envelope, desempenho elevado das esquadrias, ventilação mecânica com recuperação de calor, envelope hermético e minimização de pontes térmicas. Em estudos recentes no Brasil, (DALBEM et al. 2016) comprovaram a aplicabilidade do *Standard* para a zona bioclimática 2 (ZB2), através da ferramenta *Passive House Planning Package* (PHPP).

De acordo com MCLEOD (2016), os indicadores para a certificação de uma *Passive House* são: a) Consumo de energia primária até 120 kWh/(m²a); b) apresentação de teste de pressurização com até 0,6 renovações de ar por hora, c) temperaturas internas acima de 25°C em até 10% das horas do ano. Já para climas quentes, o consumo de refrigeração de até 15kwh/(m²a), apresentar até 1.0 renovação por hora e a temperatura não ultrapassar 10% das horas acima de 26°C.

O objetivo desse estudo é realizar uma otimização simplificada com vistas a alcançar os indicadores do Standard *Passive House*. Como parâmetro inicial a edificação foi definida através de critérios da NBR 15.575, para zona bioclimática 2. A avaliação para atendimento dos critérios da *Passive House* será feita por simulação computacional.

2 MÉTODO

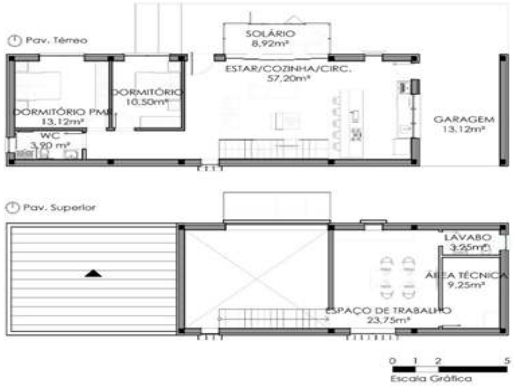
A pesquisa foi realizada em 5 etapas: Definição do objeto de estudo; caracterização do caso base; configuração dos Parâmetros de entrada e simulações computacionais no *software EnergyPlus* versão 8.7; otimização simplificada com vistas a alcançar os indicadores do padrão *Passive House*; análise de resultados do desempenho termoenergético das duas configurações (NBR 15575 e *Passive House*).

2.1 Definição do objeto de estudo

Trata-se de uma residência de 126,45m² de área útil, distribuída em dois pavimentos, desenvolvida por DALBEM (2015). O projeto busca maximizar o ganho de radiação solar no inverno, possuindo o maior PAFT para fachada

norte e minimizar no verão, através de proteção e controle da radiação solar, por meio de brises no solário e mezanino, e persianas nos dormitórios, conforme Figura 1.

Figura 1 – Planta baixa dos pavimentos térreo e superior

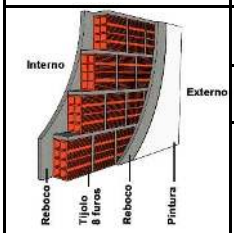
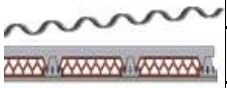


Fonte: Dalbem (2015)

2.2 Definição do caso base

O caso base atende às recomendações do método simplificado da NBR 15.575. A configuração da envoltória considera a transmitância e capacidade térmica de paredes e coberturas para a ZB2, segundo Quadro 1, ademais, todas as esquadrias utilizadas são de PVC com vidro insulado duplo.

Quadro 1 – Configuração das paredes e cobertura

<table>
<tr><td>Parede</td><td colspan="2">U [W/(m².K)]</td><td colspan="2">C_T [kJ/(m².K)]</td></tr>
<tr><td rowspan="3">
</td><td>Exigido</td><td>Calculado</td><td>Exigido</td><td>Calculado</td></tr>
<tr><td>≤ 2,5</td><td>2,49</td><td>≥ 130</td><td>158</td></tr>
<tr><td colspan="4">Descrição: Parede de tijolos 8 furos (9,0x19,0x19,0 cm) assentados na menor dimensão, espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm, espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm.</td></tr>
<tr><td>Cobertura</td><td colspan="2">U [W/(m².K)]</td><td colspan="2">C_T [kJ/(m².K)]</td></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td>Exigido</td><td>Calculado</td><td colspan="2">Calculado</td></tr>
<tr><td>≤ 2,3</td><td>1,92</td><td colspan="2">333</td></tr>
<tr><td colspan="4">Descrição: 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.</td></tr>
<tr><td colspan="5">Obs.: A cobertura é composta pela laje pré-moldada e telha de fibrocimento, porém, para efeitos de cálculo foi considerado apenas os materiais descritos acima, pois a composição caracteriza uma cobertura com câmara de ar muito ventilada.</td></tr>
</table>

Fonte: Os autores

2.3 Configuração dos parâmetros de entrada e simulações computacionais no *software EnergyPlus* versão 8.7

2.3.1 Parâmetros das simulações

O arquivo climático utilizado foi o BRA_Santa.Maria.839360_SWERA.epw, da cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, por estar na mesma Zona Bioclimática 2 (ZB2), que Pelotas. Já para a escolha do dia típico foi utilizado os dados arquivo .stat, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética das Edificações (LABEEE). Os parâmetros de ocupação foram baseados nos requisitos do RTQ-R (2012), por se tratar do regulamento técnico de qualidade residencial brasileiro, dispondo de parâmetros de simulação computacional e sendo necessário para fins comparativos de análise dos envelopes. Os dados de ocupação do RTQ-R (2012) são baseados em um uso da edificação adaptada ao contexto Brasileiro. Os mesmos dados foram também utilizados na otimização para alcançar o Padrão *Passive House* considerando que os indicadores de consumo devem ser alcançados observando uma situação real, preconizada neste estudo nas recomendações do RTQ-R. A ocupação ocorre no período noturno e nos finais de semana, com o total de 4 pessoas, apresentando 2 pessoas por dormitório e o somatório de todas as pessoas na sala de estar/cozinha. Os ganhos internos de iluminação levaram em conta os ambientes de permanência prolongada, utilizando 5W/m² (dormitórios) e 6W/m² (sala de estar/cozinha). Para os equipamentos utilizou-se o parâmetro 1,5 W/m² de carga instalada para a sala de estar/cozinha. Todas as simulações foram feitas em duas condições: Ventilação natural e climatização artificial.

2.3.2 Configuração para simulação de Ventilação Natural

A ventilação natural ocorre mediante a abertura de janelas quando a temperatura interna for superior a 20°C, e a externa menor do que a temperatura interna ao longo do ano.

2.3.3 Configuração para simulação de Climatização Artificial

O coeficiente de performance (COP) para aquecimento adotado é de 2,75 e para resfriamento é de 3,0, também conforme estabelece o RTQ-R, porém as temperaturas de *Setpoint* seguem as exigências da *Passive House*. A adequação entre COP e a temperatura de *setpoint*, foi realizada em razão de que a *Passive House* não estabelece parâmetros para ar-condicionado, mas estabelece temperatura interna mínima e máxima. Como o objetivo é alcançar o padrão *Passive House*, entendeu-se que a temperatura deveria estar de acordo com essa norma. Logo configurou-se os *setpoints* de 20°C e 26°C, em todos os modelos simulados.

2.3.4 Configuração para simulação do *MVHR*

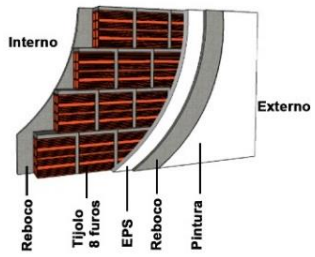
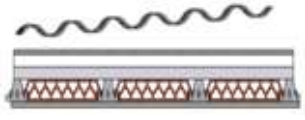
O sistema do MVHR (*Mechanical Ventilation and Heating Recovery)* consiste na extração e transferência do ar quente dos ambientes internos, para o ar fresco externo, através de um trocador de calor (PALMER, 2020), não ocorrendo a mistura entre o ar quente interno e fresco externo, reduzindo a necessidade de aquecimento (MCLEOD, 2016). O sistema favorece também o resfriamento, porque o MVHR garante a troca de calor entre o ar insuflado e o ar exaurido, filtrando grande parte dos poluentes externos, garantindo

níveis elevados de qualidade (PALMER, 2020). Para a configuração do MVHR o modelo otimizado teve como base o dimensionamento do fluxo de ar (m³/s) para cada ambiente da residência, possibilitando a renovação de 0,6 trocas de ar por hora.

2.4 Otimização simplificada do modelo de acordo com o padrão Passive House

A partir dos resultados do caso base, estudaram-se alternativas para aumentar o desempenho termoenergético da edificação. Analisando o aumento do isolamento térmico da envoltória e o sombreamento das áreas envidraçadas. As simulações consideraram a ventilação mecânica com recuperação de calor (MVHR). No total, foram realizadas 36 simulações no *software EnergyPlus,* nas quais foram avaliadas as variáveis *District Cooling* [kWh/m².ano] e *District Heating* [kWh/m².ano], conforto térmico e menor número de horas de sobreaquecimento (acima de 26°C) permitindo selecionar o modelo que atendesse a esses critérios e que tivesse a menor espessura de isolamento dentre eles. O modelo escolhido apresentou 2 cm de EPS no piso, 4 cm de EPS nas paredes, 1 cm de EPS na cobertura e venezianas em todas as janelas, inclusive substituindo os elementos de proteção solar - brises. A composição dos fechamentos é apresentada no quadro 2. As 36 simulações são o resultado de um processo de incremento de 1 cm de EPS no isolamento térmico da cobertura e das paredes até que fossem alcançados os parâmetros de desempenho do *Standard Passive House*.

Quadro 2 – Configuração otimizada do padrão *Passive House*

<table>
<tr><th colspan="2">Fechamentos</th><th>Descrição</th><th>U [W/(m².K)]</th><th>C_T [kJ/(m².K)]</th></tr>
<tr><td rowspan="2">PAREDE</td><td>
</td><td>Emboço 2,5 cm voltado para face interna, tijolos 8 furos assentados na maior direção com 1 cm de argamassa, EPS – 4 cm, emboço 2,5 cm, voltado para face externa.</td><td>0,71</td><td>113,79*</td></tr>
<tr><td colspan="4">* Obs.: Conforme a NBR 15575-4, observa-se que, no caso de paredes que tenham na sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/(m.K) e resistência térmica maior que 0,5 (m2.K)/W, o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo e posicionados a partir do isolante ou espaço de ar.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">COBERTURA</td><td></td><td>Laje pré-moldada e 1 cm de EPS.</td><td>1,24</td><td>333</td></tr>
<tr><td colspan="4">Obs.: Foi modelado sobre a laje de cobertura um elemento de sombreamento, simulando a telha de fibrocimento originalmente integrante do sistema.</td></tr>
</table>

Fonte: Os autores

2.5 Análise de resultados do desempenho termoenergético

2.5.1 Desempenho energético

Comparou-se o consumo de ar-condicionado para aquecimento e resfriamento. A análise considerou o funcionamento e disponibilidade do sistema durante 24 horas por dia, todos os dias do ano.

2.5.2 Conforto térmico

Considerou-se a edificação ventilada naturalmente. Para essa situação foi utilizado o modelo adaptativo da *ASHRAE Standard 55* (2017), considerando 80% de aceitabilidade, conforme a equação 1.

$$T_{oc} = 17,8 + 0,31T_{ext} \quad (1)$$

Onde: T_{oc} = Temperatura operativa de conforto [°C]; T_{ext} = Temperatura média mensal externa [°C]. O modelo adaptativo é utilizado para ambientes climatizados naturalmente e considera a temperatura externa para verificar a condição interna, uma vez que os ocupantes têm livre acesso à abertura e fechamento de janelas para ventilar o espaço interno, por exemplo. Para 80% de aceitabilidade dos usuários, a temperatura operativa interna pode variar de -3,5°C até +3,5°C da temperatura operativa de conforto obtida a partir da equação 1.

3 RESULTADOS

3.1 Desempenho energético

Considerando o sistema de condicionamento de ar em funcionamento, acionado quando necessário ao longo do ano, o consumo de energia dos modelos simulados pode ser comparado e verificado abaixo.

Tabela 3 – Resultados de consumo de energia

Soluções	**Caso Base**	**Passive House**
Setpoint	20 - 26°C	20 - 26 °C
Consumo para Refrigeração (kWh/m².ano)	18,03	3,93
Consumo para Aquecimento (kWh/m².ano)	30,89	3,78
TOTAL (kWh/m².ano)	48,92	7,71

Fonte: Os autores

Observando os resultados é possível perceber que no padrão *Passive House* houve uma redução no consumo de refrigeração (78,2%) e no consumo de aquecimento (87,8%), consequentemente, o consumo total tornou-se cerca de 84,2% menor, se comparado com edificação do caso base.

3.2 Conforto Térmico

Para a análise do nível de conforto térmico, as duas situações foram simuladas considerando a edificação ventilada naturalmente durante todo o ano. Os resultados estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados de conforto térmico

Índice percentual (80% de aceitabilidade)	**Caso Base**	***Passive House***
Conforto térmico	58,8 %	92,7 %
Desconforto por frio	33,5%	6,3 %
Desconforto por calor	7,6 %	1,0 %

Fonte: Os autores

A edificação com maior isolamento térmico (*Passive House*), apresentou 33,9 % de horas a mais em conforto térmico ao longo do ano, indicando 27,3% de horas a menos de desconforto térmico por frio e 6,6% de desconforto por calor.

4 CONCLUSÕES

O projeto arquitetônico, objeto de estudo, não sofreu alterações durante as simulações, ou seja, a dimensão e orientação de janelas é a mesma para todos os casos. As alterações propostas, como já apresentadas, estudaram o aumento do nível de isolamento térmico das paredes, cobertura e, inclusive, piso, além de verificar a interferência na instalação de venezianas. Entende-se que, por se tratar de uma edificação com maior nível de isolamento térmico da envoltória, a necessidade de refrigeração se torna menor em dias quentes, pois não há tanto ganho de calor pelas paredes e cobertura. Além disso, o uso de dispositivos móveis de sombreamento (venezianas) em todas as janelas, diminui significativamente o ganho energético pelos fechamentos transparentes no verão, e permite que no inverno haja um bom aproveitamento do aquecimento solar passivo, enquanto o isolamento em toda a envoltória possibilita que mantenha-se o calor no interior, reduzindo a necessidade de aquecimento artificial em dias frios. Embora seja evidente o melhor desempenho termoenergético da edificação com as configurações atingindo o padrão *Passive House*, observa-se a necessidade de avaliação sob o aspecto econômico da aplicação deste modelo de edificação à ZBB2.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575** - 4: 2013. Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. 2013

ASBEA. Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. **Guia para Arquitetos na Aplicação da Norma de Desempenho – ABNT NBR 15.575**. 2015. Disponível em: <https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads >. Acessado em junho, 2019.

ANSI/ASHRAE – AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE / AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Standard – 55 - 2017 **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta, 2017.

DALBEM, Renata; KNOP, Stifany; CUNHA, Eduardo G.; OLIVEIRA, Rui; RODRIGUES, Maria F.; VICENTE, Romeu. **Verification of the Passive House Concept to the South of Brazil Climate. Journal of Civil Engineering and Architecture** (Online), v. 10, p. 937-945, 2016. Disponível em: <http://www.davidpublisher.com/Public/uploads/Contribute/57bfae38cfc38.pdf>. Acessado em agosto, 2019.

DALBEM, Renata; CUNHA, Eduardo G.; VICENTE, Romeu; FIGUEIREDO, António J.; SILVA, Antonio César S.B. **Discussão do desempenho da envoltória de uma Passive House adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R.** Ambiente Construído, v. 17, n. 1, p. 201-222, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212017000100201&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acessado em agosto, 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional de 2019, ano Base 2018**. MME, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acessado em junho, 2019.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. RTQ-R. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais**. Rio de Janeiro, 2012.

MCLEOD, R., MEAD, K., STANDEN, M. Passivhaus primer: Designer's guide A guide for the design team and local authorities. 2016. Disponível em http://www.passivhaus.org.uk/filelibrary/Primers/KN4430_Passivhaus_Designers_Guide_WEB.pdf. Acessado em agosto, 2020.

PACHEDO, R.; ORDÓÑEZ, J.; MARTÍNEZ, G. **Energy efficient design of building: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Espanha. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.045>. Acessado em julho, 2019.

PALMER, J. Passivhaus Trust- The case for MVHR. Disponível em: <https://passivhaustrust.org.uk/guidance_detail.php?gId=46>. Acessado em agosto,2020.

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

SCHNIEDERS, J.; FEIST, W.; RONGEN, L. **Passive Houses for different climate zones**. Energy and Buildings, v. 105, 71–87, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.032>. Acessado em agosto, 2019.

SOARES, M. M. **Avaliação dos Parâmetros de Desempenho Térmico da NBR 15.575/2013: Habitações de Interesse Social na Zona Bioclimática 2**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

WANG, W.; RIVARD, H.; ZMEUREANU, R. **Floor shape optimization for green building.** Canadá. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.07.001>. Acessado em julho, 2019.