

CONCEITO *PASSIVHAUS* APLICADO AO CLIMA BRASILEIRO

Renata Dalbem

Arquiteta e Urbanista. Mestranda Prograu – Universidade Federal de Pelotas, UFPel,
Rua Benjamin Constant, nº 1359, CEP 96010-020, Pelotas, RS, Brasil.
E-mail: <renata_dalbem@hotmail.com>.

Julye Moura Ramalho de Freitas

Arquiteta e Urbanista. Mestranda Prograu – Universidade Federal de Pelotas, UFPel,
Rua Benjamin Constant, nº 1359, CEP 96010-020, Pelotas, RS, Brasil.
E-mail: <juramalhof@hotmail.com>.

Eduardo Grala da Cunha

Arquiteto e Urbanista. Doutorado em Arquitetura UFRGS. Universidade Federal de Pelotas, UFPel,
Rua Benjamin Constant, nº 1359, CEP 96010-020, Pelotas, RS, Brasil.
E-mail: <eduardogralacunha@yahoo.com.br>.

RESUMO

Devido ao aumento excessivo do consumo de energia elétrica, onde os edifícios são responsáveis por 48,5% do consumo no Brasil, tem-se valorizado alternativas mais eficientes na concepção e execução dos projetos arquitetônicos. *Passivhaus* é uma certificação criada na Alemanha, cujo principal objetivo é reduzir o consumo de energia primária das edificações, sendo o limite 120kWh/m².ano. Edificações no padrão *Passivhaus* devem seguir cinco princípios de projeto: elevado isolamento térmico do envelope, minimização das pontes térmicas, estanqueidade do ar, esquadrias de elevada qualidade e sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor (período frio) e ventilador entálpico (período de verão). O artigo trata da apresentação de um projeto desenvolvido de uma edificação residencial que atende aos padrões da *Passivhaus*, propondo alternativas compositivas e tecnológicas observando a definição de equipamentos e sistemas para a implantação no contexto do sul do Brasil, observando também o seu desempenho termoenergético. O balanço energético da edificação é calculado utilizando a ferramenta PHPP (*Passive House Planning Package*), desenvolvida pelo *Passivhaus Institut* na Alemanha, que verifica o atendimento do nível de consumo de energia primária, como também outros indicadores, como consumo de aquecimento e horas de superaquecimento. Como resultado destaca-se o atendimento do projeto aos requisitos pré-estabelecidos pelo Regulamento Alemão.

Palavras-chave: *Passivhaus*. Energia elétrica. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de energia, provocada pelo desenvolvimento econômico e crescimento populacional, é responsável por grandes impactos ambientais no mundo, gerando a busca de no-

vas medidas que contribuam para o alcance do desenvolvimento sustentável.

Segundo balanço energético do IEA¹, o Brasil está ocupando o sexto lugar no ranking de consumo de energia primária no mundo. Con-

¹ International Energy Agency.

forme os dados do BEN² 2014 o consumo em 2013 foi 243.911 (10³ tep), sendo que 18% desse valor foi gasto em energia elétrica.

As edificações representam 48,5% do consumo de energia elétrica do Brasil, sendo o setor residencial o maior consumidor, responsável por 24,2% deste, seguido do setor comercial 16,3% e do setor público 8% (BEN, 2014). Em uma edificação residencial, considerando uma média entre as regiões do país, os equipamentos de refrigeração são responsáveis por 27% do consumo; 24% é atribuído ao aquecimento de água; 20% ao ar condicionado; 14% à iluminação e 15,5% representam outros equipamentos. (LAMBERTS, 2014).

A adoção de medidas passivas para as construções é uma das melhores maneiras para se obter edifícios com alta eficiência energética. As tecnologias existentes aliadas a estratégias e soluções de projeto podem fazer com que o edifício atinja o conceito NZEB - *Net Zero Energy Building* – os quais são edifícios que possuem um balanço de energia neutro, significando que eles consomem a mesma energia que entregam para a rede de abastecimento (LAUSTEN, 2008 apud MARSZAL, 2010).

No mundo, a preocupação com economia de energia e construções mais sustentáveis fez com que vários países aprimorassem seus códigos de construção. Em 2002 a União Europeia fez a primeira publicação do *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*, que tem como objetivo garantir que em todos os estados membros as construções serão *Nearly-ZEB* ou *nZEB*, edifícios com consumo próximo de zero. A meta é que até o final de 2018, novos edifícios públicos ocupados ou próprios deverão ter consumo próximo a zero e até o final de 2020 esta regra valerá para todas as novas edificações. Sendo assim cada país deverá definir suas metodologias, de acordo com as suas condições nacionais, regionais ou locais.

No Brasil, as discussões sobre desempenho térmico e energético são mais recentes. A preocupação com o assunto se tornou maior após o ano de 2001, com a grande crise no setor energético que obrigou o país a buscar medidas mais eficientes, junto à racionalização do consumo de energia elétrica. Em outubro de 2001, publicou-se a Lei 10295 (BRASIL, Lei n. 10.295) que definiu as políticas nacionais sobre conservação e uso racional de energia no país. Em 19 de dezembro de 2001 o decreto 4059, entrou em vigor para regular a Lei 10.295, e estabeleceu os níveis máximos de consumo de energia elétrica. (BRASIL, 2001)

2 Balanço Energético Nacional.

sumo de energia ou de eficiência energética mínima das máquinas e equipamentos produzidos ou comercializados no país, bem como os edifícios.

Em 2003 a ELETROBRAS/PROCEL criou o Programa Nacional para Eficiência Energética dos Edifícios (Procel Edifica) visando promover o uso mais eficiente de recursos naturais em edifícios. Em 2005, surgiram as primeiras normas de avaliação do desempenho térmico no país. A primeira foi a NBR 15220, a qual avalia o desempenho térmico de edificações de interesse social. Nesta mesma norma encontra-se o zoneamento bioclimático brasileiro, o qual estabelece diretrizes e estratégias bioclimáticas para as diferentes oito zonas do país. Em seguida, em 2008 foi publicada a primeira versão da NBR 15575, que avalia o desempenho de edificações residenciais e define 13 aspectos a serem considerados durante a análise do edifício residencial. Essa norma foi atualizada em 2013 quando efetivamente passou a vigorar.

Em 2007, foi publicada pelo Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), a primeira versão do RTQ-C³, que foi revisto e teve sua versão oficial publicada em 2009. Logo em seguida, em 2010, foi publicado o RTQ-R⁴, Regulamento de Eficiência Energética para edificações residenciais. A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) geral nível A, a partir de agosto de 2014, tornou-se obrigatória apenas para edifícios públicos em nível federal com área igual ou superior a 500m² (obras novas ou que sofram processos de retrofit). Porém, espera-se que dentro de alguns anos torne-se obrigatória para todas as edificações independentemente do uso.

Uma das maneiras de alcançar edifícios com alto desempenho, como NZEBs, é a utilização do conceito “*Passivhaus*” que refere-se a um padrão de construção de baixo consumo de energia, desenvolvido em 1988, na Alemanha, por Bo Adamson e Wolfgang Feist. O primeiro protótipo de casa passiva foi construído em 1991, em Darmstadt, na Alemanha. O edifício foi monitorado de modo a verificar seu desempenho.

A certificação *Passivhaus* é conferida às edificações em que as condições interiores confortáveis podem ser mantidas durante todo o ano com consumo mínimo de energia. O conceito *Passivhaus* pode ser aplicado não só em edifícios residenciais, mas também em comerciais, industriais e públicos.

3 Regulamento Técnico da Qualidade - Comercial.

4 Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais.

Segundo o PHI⁵, para atender todos os critérios da certificação deve-se implementar os cinco princípios da *Passivhaus*: bom nível de isolamento térmico, minimização de pontes térmicas, esquadrias de alto desempenho, ventilação com recuperação de calor e estanqueidade da edificação.

Os critérios devem ser verificados utilizando a última versão do *Passive House Planning Package* (PHPP). Para obter a certificação *Quality-Approved Passive House* o edifício deverá ser qualificado na fase de projeto e após a conclusão da obra. As edificações que atenderem a todos os requisitos exigidos podem ser certificadas pelo PHI ou por outra entidade credenciada.

Em 2014 a Universidade de Aveiro (Portugal) e a Universidade Federal de Pelotas (Brasil) iniciaram uma parceria de pesquisa no âmbito da eficiência energética das construções. A proposta prevê a análise da viabilidade técnica e econômica da adaptação do padrão de desempenho de uma *Passive House* ao contexto climático no sul do país.

2 OBJETIVO DO ARTIGO

O objetivo do artigo é apresentar e analisar o projeto arquitetônico adaptado para atender aos cinco requisitos da *Passivhaus*, observando a sua adaptabilidade e viabilidade para ser construído na cidade de Pelotas (RS), zona bioclimática brasileira 2.

3 MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas: na primeira etapa foi realizada a revisão de literatura, já na segunda etapa foi desenvolvido o projeto arquitetônico. Na terceira etapa foi realizado o cálculo do balanço energético, utilizando a ferramenta PHPP (*Passive House Planning Package*) e na quarta e última etapa foi feita a análise dos resultados obtidos.

3.1 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura foi feita com o objetivo de compreender os conceitos de casas passivas, para a aplicação no projeto arquitetônico. A organização BRE⁶ do Reino Unido possui publicações

⁵ Passivhaus Institute.

⁶ Building Research Establishment Limited.

de introdução (MEAD), guia para projetistas e construtores (MCLEOD), os quais apresentam os conceitos e as exigências da *Passivhaus*.

O PHI exige que cinco critérios abaixo sejam cumpridos para que o projeto possa receber certificação:

- A demanda de energia para aquecimento não deve ser superior a 15 kWh/(m².a), ou a carga térmica não deve ser superior a 10W/m²;
- a demanda de energia para arrefecimento não deve ser superior a 15 kWh/(m².a);
- a demanda de energia primária, energia total a ser usada para todas as aplicações domésticas (aquecimento, água quente e eletricidade doméstica) não deve exceder 120 kWh/(m².a);
- o edifício deve ser hermético, com um máximo de 0,60 renovações de ar por hora à pressão de 50 Pascal (ACH⁷50);
- o conforto térmico deve ser atendido para todas as áreas de permanência durante o inverno, bem como no verão, não ultrapassando 10% das horas em um determinado ano à temperatura de 25 °C.

Para o atendimento desses limites, é necessário que todos os componentes da construção opacos da envolvente exterior da habitação (paredes externas, pisos e cobertura) sejam muito bem isolados termicamente. Para climas mais frios, é recomendado uma transmitância térmica (valor U) de 0,15 W/(m²K), no máximo. Para climas mais quentes, como é o caso do sul da Europa, situação semelhante à Pelotas, o valor da transmitância térmica recomendada é de 0,30 W/m²K. Além disso, as pontes térmicas devem ser evitadas ou reduzidas ao máximo, sendo considerado um valor Psi (Ψ) menor ou igual (\leq) a 0,01 W/m²K. O isolamento térmico deve ser aplicado continuamente em toda a envolvente do edifício. Isso reduz significativamente as perdas de calor e também mantém as temperaturas das superfícies internas iguais à temperatura do ar interior. Durante os períodos quentes no verão, o alto isolamento térmico do envelope é uma proteção contra o calor. Para assegurar o conforto térmico durante o verão, o sombreamento e a ventilação suficientes também são importantes.

As unidades de janelas devem ter vidros triplos e ambos devem atingir um valor de transmitância térmica de 0,80 W/m²K (0,85 W/m²K instalado). Um benefício no uso dos vidros triplos

⁷ ACH: air change per hour.

é que a temperatura da superfície das janelas poderá se aproximar da temperatura das superfícies internas vizinhas. Em condições climáticas semelhantes à região sul da Europa, podem ser usados vidros duplos (caso da adaptação no sul do Brasil).

A estanqueidade do edifício deve ter um resultado de teste de pressão menor ou igual (\leq) a 0.6 ACH (*Air Changes per Hour*) - número de renovações de ar por hora, observando uma pressão de 50 Pascal. Essa deve ser a média da pressurização e despressurização. O vazamento de ar indesejado pode significativamente aumentar a exigência de aquecimento de espaço de uma habitação, causando desconforto local devido a correntes de ar e possivelmente causar a formação de umidade dentro da estrutura do edifício que podem, eventualmente, reduzir o desempenho e sua vida útil. Alcançar estanqueidade no local requer uso de membranas adequadas, de barreiras de vapor para formar uma proteção hermética contínua.

Deve ser especificado também um equipamento de ventilação mecânica com recuperação de calor (MVHR⁸). A eficiência do equipamento de recuperação de calor deve ser maior do que 75%, e deve ser especificada uma unidade certificada pelo PHI. O permutador de calor não mistura o ar fresco que entra com o ar de exaustão, mas simplesmente troca o calor por intermédio das paredes de dutos para reduzir a necessidade de aquecimento.

A temperatura interior utilizada para planejamento e verificação é 20°C e para o verão é uma temperatura de 25°C como limite máximo, usados para determinar a frequência de superaquecimento e projeto do sistema de arrefecimento do edifício. Estes valores apenas devem ser mudados em casos justificados. (*Passive House Institut*, 2013, p. 31)

3.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ARQUITETÔNICO

3.2.1 ASPECTOS GERAIS

A edificação foi desenvolvida baseada nas estratégias passivas compiladas e aproveitadas no projeto da casa bioclimática de Pouey (2012), e seguindo os critérios exigidos pelo conceito *Passivhaus*. Trata-se de uma residência unifamiliar, a ser construída junto ao Campus Porto da Uni-8 MVHR: mechanical ventilation with heat recovery systems.

versidade Federal de Pelotas. A residência (figura 1) possui 126,45 m² distribuídos em dois pavimentos, sendo que no térreo estão a cozinha e sala de estar integrados, solário, dois dormitórios e banheiro, e o pavimento superior com área de trabalho, área técnica e lavabo. O projeto ainda contempla garagem para um carro. O solário foi localizado na orientação norte, possui cobertura e paredes translúcidas, de modo a aproveitar os ganhos de radiação solar para aquecimento passivo no inverno, sendo que no verão poderá ser totalmente aberto para permitir a ventilação natural. (POUEY, 2012).

A edificação foi elevada 70 cm do solo, devido a grande umidade da região. O porão irá conter aberturas que permitam a sua ventilação, proporcionando a perda de calor pelo piso no período de verão com a possibilidade de fechamento no inverno. (POUEY, 2012).

O projeto foi orientado sobre o eixo leste-oeste, maximizando a fachada norte, aumentando assim os ganhos de radiação solar no inverno, sendo que as menores fachadas para leste e oeste, reduzem os ganhos indesejáveis no verão. A área envidraçada corresponde a 24% da área opaca do edifício. O percentual de abertura na fachada norte é de 24,95%, sul 5,93%, leste 1,97% e oeste 5,91%. As esquadrias possuem também persianas ou elementos para a proteção solar.

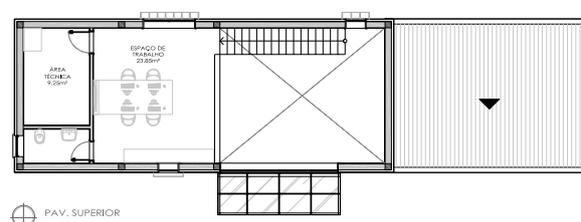
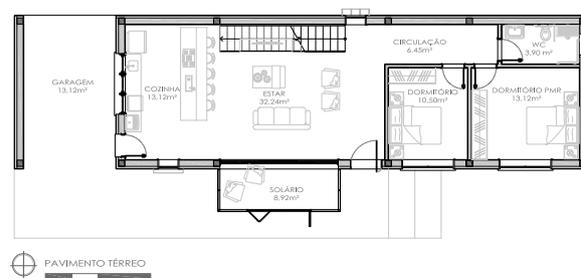


Figura 1: Projeto Arquitetônico, Plantas Baixas

Fonte: Autores

3.2.2 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Os elementos construtivos foram adotados de modo a reduzir as perdas térmicas pela en-

voltória para atender aos requisitos da *Standard Passivhaus*. As tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam a espessura, condutividade térmica e a resistência térmica dos materiais utilizados e o resultado da

transmitância térmica total do elemento de construção, considerando as resistências superficiais interna e externa.

Tabela 1: Transmitância térmica das paredes externas

Elemento: Paredes exteriores				
Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m²/W.°C)	Referências
Reboco interno	0,02	1,15	0,02	NBR 15220
Tijolo Furado Weber 30x19x24	--	--	1,04	Catálogo
Isolamento térmico EPS	0,08	0,035	2,00	NBR 15.220
Reboco externo	0,02	1,15	0,02	NBR 15.220
Transmitância:				0,28W/m ² K

e = espessura, λ = condutividade, R= resistência térmica

Fonte: Autores

Tabela 2: Transmitância térmica dos elementos de concreto (pontes térmicas)

Elemento: vigas e pilares de concreto – pontes térmicas				
Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m²/W.°C)	Referências
Reboco externo	0,02	1,15	0,02	NBR 15220
Isolamento térmico EPS	0,08	0,035	2,00	NBR 15.220
Viga de concreto	0,24	1,75	0,14	NBR 15.220
Reboco interno	0,02	1,15	0,02	NBR 15.220
Transmitância:				0,38 W/m ² K

e = espessura, λ = condutividade, R= resistência térmica

Fonte: Autores

Tabela 3: Transmitância térmica da laje de piso (em contato com o porão)

Elemento: Laje de piso (em contato com o porão)				
Constituição	e (m)	λ /m.°C)	R m²/W.°C)	Referências
Revestimento cerâmico	0,01	1,00	0,01	NBR 15.220
Camada de regularização	0,04	1,15	0,03	NBR 15.220
Isolamento térmico EPS	0,08	0,035	2,00	NBR 15.220
Laje pré-moldada 25 cm	0,25	1,087	0,23	ITE 50
Transmitância:				0,35 W/m ² K

e = espessura, λ = condutividade, R= resistência térmica

Fonte: Autores

Tabela 4: Transmitância térmica da cobertura

Elemento: Cobertura				
Constituição	e (m)	λ (W/m.K)	R (m²/W.K)	Referências
Reboco interno	0,02	1,15	0,02	NBR 15220
Laje pré-moldada 25 cm	0,25	1,087	0,23	ITE 50
Isolamento térmico EPS	0,08	0,040	2,00	NBR 15.220
Transmitância:				0,37W/m ² K

e = espessura, λ = condutividade, R= resistência térmica

Fonte: Autores

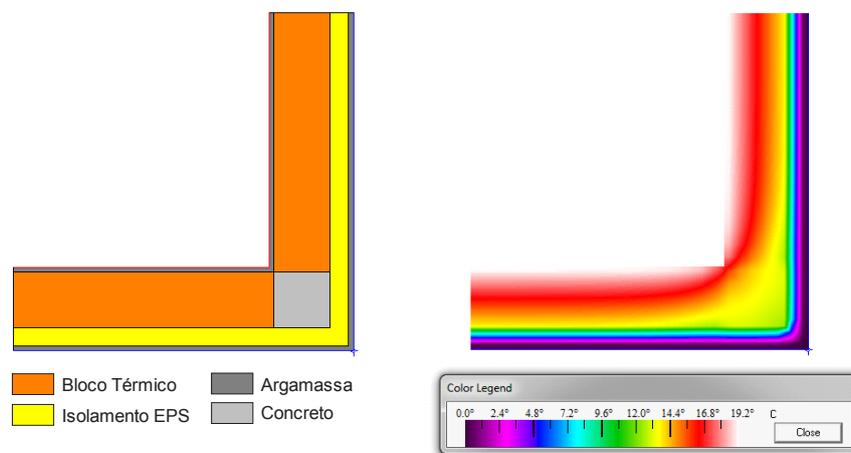
3.2.3 ESQUADRIAS

As esquadrias adotadas são compostas por vidros duplo composto por vidro Planitherm Ultra N de 6mm, camada de ar de 14mm e vidro Planilux de 6mm, apresentando fator solar (FS) de 0,57 e transmitância térmica (U_{vidro}) de 1,5 [$W/(m^2.K)$]. A caixilharia é em PVC, na cor branca, sendo que a transmitância térmica ($U_{\text{caixilharia}}$) é de 1,5 [$W/(m^2.K)$]. As esquadrias também possuem dispositivos de proteção solar, para reduzir os ganhos por radiação solar direta no verão.

3.2.4 PONTES TÉRMICAS

De acordo com a norma EN ISO 10211 (2007) o fenômeno de pontes térmicas ocorre na área do envelope do edifício que oferece menor resistência em relação à restante da envolvente, conduzindo a elevadas perdas de energia. Para evitar a perda de energia desnecessária, a certificação *Passivhaus* recomenda evitar o fenômeno de pontes térmicas.

Figura 2: Ponte térmica linear - fluxo de calor da edificação em análise



Fonte: Autores

3.2.5 SISTEMA DE VENTILAÇÃO MECÂNICA COM RECUPERADOR DE CALOR

Por razões de eficiência energética e higiene, a *Passivhaus* requer um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor de alta eficiência. Para climas com inverno menos rigoroso, porém com verão mais extremo, recomenda-se a ventilação mecânica com ventiladores entálpicos, com vistas à redução do consumo de energia para resfriamento artificial. O sistema MVHR, funciona retirando o ar de ambientes úmidos e quentes (co-

Na prática isto significa que qualquer ponte térmica linear deve ter um valor ψ (Ψ) menor ou igual a (\leq) 0,01 W/mK . (MCLEOD). Os efeitos de pontes térmicas podem causar a incidência de umidade como também a diminuição da temperatura superficial em componentes da construção ocasionando o crescimento de fungos filamentosos e as perdas de energia.

Em média, as pontes térmicas são responsáveis por cerca de 20% a 30% das perdas de energia que existem, enquanto na certificação *Passivhaus* estas são praticamente insignificantes, cerca de 4% a 8% (VALÉRIO, 2007). Para a redução das pontes térmicas foi utilizado um isolamento térmico com 8 cm de poliestireno expandido, aplicado de forma contínua, pelo exterior de toda a envolvente térmica da edificação.

A Figura 2 apresenta o detalhamento do encontro de duas paredes com pilar (com isolamento exterior), e a ilustração do coeficiente de transmissão térmica linear, calculado no software THERM 7.3, que apresentou um valor Ψ igual a -0,07 $W/(m.K)$.

zinha e banheiros) que passam por um trocador de calor (serpentina) retirando este calor e trocando com o ar exterior, o qual é insuflado para os ambientes de permanência (dormitórios, salas e outros compartimentos). As unidades de ventilação são certificadas pelo *Institut Passivhaus* e possuem eficiência de recuperação de calor maior ou igual (\geq) a 75%. (MCLEOD).

O sistema de ventilação mecânica adotado para o projeto é do tipo ComfoAir 350, da Zehnder, com eficiência de 84% de recuperação de calor, ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Sistema de ventilação mecânica adotado – ComfoAir 350



Fonte: Zehnder

A Insuflação do ar é feita na sala, quartos e área de trabalho e a extração é feita na cozinha e banheiros.

solares e reservatório de água quente. A demanda de água quente considerada para o projeto foi de 50 litros por pessoa, sendo a ocupação da edificação 3,6 pessoas.

4 DESEMPENHO ENERGÉTICO UTILIZANDO O SOFTWARE PHPP

O PHPP (*Passive House Planning Package*) é uma ferramenta de cálculo, desenvolvida pelo PHI⁹. Com base no Excel, a ferramenta é composta por 32 planilhas de cálculo, a partir dos dados de entrada, o software calcula a demanda anual para aquecimento, arrefecimento e demanda de energia primária anual do edifício.

3.2.6 AQUECIMENTO DE ÁGUA QUENTE PARA CONSUMO

O sistema predial de aquecimento de água se dá por intermédio do uso de energia solar e de gás natural. O sistema é composto pelos coletores

Tabela 5: Descrição das planilhas de cálculo do PHPP

Planilha	Descrição
“Verification”	Informações do projeto, resultados finais obtidos.
“Overview”	Descrição do projeto, síntese dos resultados e as variáveis de entrada, detalhes específicos sobre a envoltória, informações gerais.
“Climate”	Dados climáticos da região em estudo: coordenadas do local, temperatura média por mês e radiação solar para todas as orientações.
“U- Values”	Transmitâncias Térmicas de todas as soluções construtivas.
“Areas”	Áreas de paredes, pisos, pontes térmicas. Sempre usando medidas externas.
“Ground”	Cálculo mais preciso das perdas através do piso.
“Components”	Banco de dados dos componentes certificados e entrada para componentes definidos pelo usuário.
“Windows”	Dimensões detalhadas das esquadrias, orientação, tipo de vidro, caixilharia, fator solar, transmitância térmica, pontes térmicas nas conexões.
“Shading”	Determinação do coeficiente de sombreamento a partir dos dados de entrada fornecidos pelo usuário.
“Ventilation”	Dimensionamento do sistema de ventilação de extração e insuflação de ar.
“Additional Vent”	Extensão da planilha de ventilação, para casos de várias unidades de ventilação.
“Annual Heating”	Cálculo da demanda anual de aquecimento.
“Heating”	Cálculo da demanda de aquecimento mensal, de acordo com a EN 13790.
“Heating Load”	Cálculo da carga de aquecimento do edifício.
“SummVent”	Estimativas das taxas de fluxo de ar para o período de verão.
“Summer”	Cálculo da frequência de supraaquecimento como medida de conforto para o verão.

⁹ Passivhaus Institut.

“Cooling”	Cálculo da demanda anual de arrefecimento pelo método mensal.
“Cooling Units”	Cálculo da demanda de energia para desumidificação e escolha do método de arrefecimento.
“Cooling Load”	Cálculo da carga de arrefecimento média diária do edifício.
“DWH+ Distribution”	Cálculo da perda de calor dos sistemas de distribuição (aquecimento; água quente sanitária); cálculo do requisito de calor útil de AQS e perdas de armazenamento.
“SolarDHW”	Cálculo da contribuição solar para aquecimento de água quente sanitária e aquecimento de ambientes.
“PV”	Cálculo da geração de eletricidade por energia fotovoltaica.
“Electricity”	Cálculo da demanda de eletricidade da <i>Passivhaus</i> com uso residencial
“Use non-res”	Entrada ou seleção de padrões de utilização de planeamento de demanda de energia elétrica e os ganhos de calor internos para edificações não residenciais.
“Electricity non-red”	Cálculo da demanda de eletricidade para iluminação, dispositivos elétricos e cozinhas de edifícios não residenciais
Aux- Electricity”	Cálculo da eletricidade auxiliar e correspondente demanda de energia primária
“IHG”	O cálculo dos ganhos de calor internos baseados nas folhas de Eletricidade e Energia Elétrica Aux.
“IHG non-res”	O cálculo dos ganhos de calor internos de edifícios não residenciais com base na planilha de eletricidade não-residencial e a ocupação.
“PE- Value”	Cálculo das demandas de energia e CO ₂ primárias específicas.
“Compact”	Eficiência da bomba de calor compacta
“HP”	Cálculo da eficiência de geração de calor da bomba de calor.
“HP Ground”	Cálculo fonte de calor para uma sonda de solo ou subsolo horizontal permutador de calor para as bombas de calor acoplado à terra, considerando as condições específicas limite do projeto.
“Boiler”	Especifica o tipo de caldeira utilizada para o aquecimento de água quente sanitária. Cálculo do consumo de energia primária anuais para o tipo de caldeira e suas emissões de CO ₂ .
“District Heating”	Cálculo das demandas de energias final e primária.
“Data”	Tabela de fatores de energia primária.
“Conversions”	Fórmulas de conversão entre as unidades imperiais e unidades.

Fonte: adaptado de PHPP

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 NECESSIDADE ANUAL DE AQUECIMENTO

O cálculo da demanda de aquecimento anual do espaço foi desenvolvida de acordo com o método do balanço energético da norma europeia DIN EN ISO 13790. A equação utilizada para determinar o balanço energético é apresentada abaixo:

$$Q_a = T + V - h \quad \text{Equação 01}$$

Q_a - Necessidade anual de aquecimento;

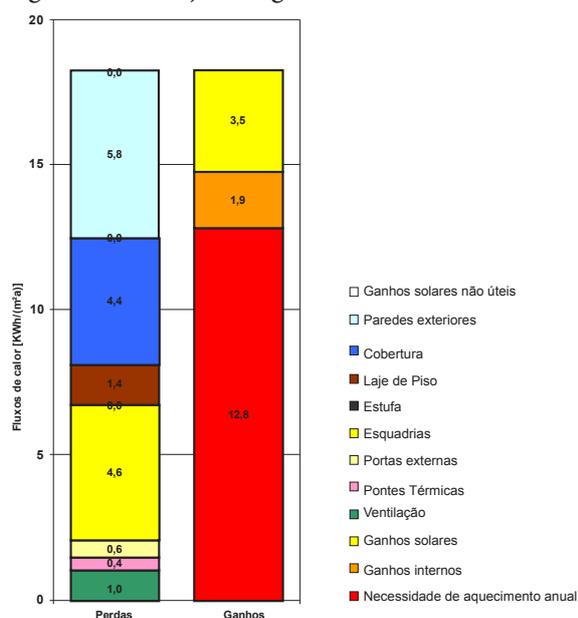
T - ganhos por condução térmica (Transmissão de calor);

V - ganhos térmicos em decorrência da renovação de ar;

h - ganhos solares + ganhos internos.

A Figura 4 representa o balanço térmico dos elementos e componentes da envolvente térmica pela qual ocorrem as perdas e os ganhos energéticos do edifício. Para se atingir bons resultados é importante o planeamento desde o início do projeto, utilizando estratégias de desenho passivo, como exemplo a orientação das maiores fachadas para o eixo norte-sul, o percentual adequado de abertura nas fachadas e a escolha dos elementos construtivos apropriados.

Figura 4: Balanço energético do edifício



Fonte: Adaptado de PHPP

Podemos analisar pelo gráfico, que as maiores perdas de calor se dão por meio da envoltória opaca seguida das esquadrias da edificação, o que ressalta a importância da utilização de um bom isolamento térmico e do uso de esquadrias de qualidade instaladas adequadamente.

Para a demanda anual de aquecimento, o resultado obtido foi de 12,8 kWh/(m².a), sendo o máximo permitido seria 15 kWh/(m².a). Este valor aplica-se à área total dentro do envelope térmico.

5.2 RISCO DE SUPERAQUECIMENTO

De acordo com o *Passive House Institut* a temperatura interior no verão está relacionada em maior parte pelo tamanho dos fechamentos transparentes, orientação solar, sombreamento, ventilação, fontes internas de calor e, o mais importante, a região climática, e que do consumo de aquecimento anual está sendo analisado. (2015, p. 141).

Um limite de no máximo 25°C pode ser definido para a temperatura de superaquecimento para o cálculo da demanda de arrefecimento. Segundo o manual do PHPP (2015, p. 31), essa temperatura pode sofrer alguma alteração, se o caso for justificado. Se forem aplicados unicamente conceitos passivos para arrefecimento, a frequência de superaquecimento não deve exceder 10% para o período de verão. Além disso, ventilação natural durante a noite pode contribuir consideravelmente para o arrefecimento dos componentes dos edifícios. (*Passive House Institut*, 2015, p. 18).

Considerando a ventilação noturna, e ajustando a temperatura interior para 26°C (permitida para climas mais quentes), o resultado obtido foi de 6,9% de frequência de superaquecimento, estando dentro do limite permitido.

5.3 DEMANDA DE ENERGIA PRIMÁRIA

A demanda específica de energia primária, que é a energia total a ser usada para todas as aplicações domésticas (aquecimento, água quente e eletricidade doméstica) foi de 103 kWh/(m².a), estando dentro do limite permitido pela certificação é de 120 kWh/(m².a).

5.4 EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

As emissões de gases com efeito de estufa podem ser calculadas a partir das demandas de energia final dos fornecedores de energia relevantes (CO₂, CH₄, CO, NMVOC, NO_x e N₂O). O CO₂-equivalente é definido como o potencial de aquecimento global de cada gás convertido em quantidades equivalentes de CO₂. Os valores de CO₂ equivalente são definidos como a soma dos valores individuais de todas as fontes de energia.

O total de emissões de CO₂ equivalente, gerados pela residência, foi de 26,5 kWh/(m².a). Para a certificação *Passivhaus*, não é estabelecido um limite para as emissões de dióxido de carbono, porém as planilhas do PHPP fornecem esse valor.

6 CONCLUSÃO

O conceito *Passivhaus* surgiu para atender requisitos de climas frios, como na Europa Central. Nos climas mais amenos, como no Brasil, atender aos princípios da certificação *Passivhaus* torna-se mais difícil, considerando as condições de conforto no verão, para evitar o superaquecimento do edifício. É possível alcançar os valores impostos para certificação de um edifício no nosso clima, para isso é necessária a adequação do projeto de acordo com os requisitos estabelecidos, utilizando valores menos exigentes de transmissão térmica da envoltória opaca e fechamentos transparentes.

A aplicação dos princípios da certificação *Passivhaus* possibilita uma significativa redução no consumo de energia e garante um alto nível de

conforto no interior das edificações. Para a obtenção de bons resultados, é recomendado o uso de estratégias de *design* passivo, como orientação do edifício no eixo leste/oeste, compacidade do edifício e áreas de abertura adequadas.

Com o intuito de atingir o alto desempenho energético da edificação estudada e para que a mesma atendesse aos critérios da *Passivhaus*, foram necessárias algumas alterações no sistema construtivo e equipamentos, como o uso de sistema de ventilação com recuperação de calor e sistema construtivo com baixa transmitância térmica, diferente de uma construção convencional.

Os autores gostariam de expressar agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo auxílio à realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2014. EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2015.
- CERTIFIED PASSIVE HOUSE – *Certification Criteria For Residential Passive House Buildings*. Passive House Institute. Disponível em: <http://passiv.de/downloads/03_certification_criteria_residential_en.pdf>. Acesso em: 13 de junho de 2015.
- ENERGY BALANCE. *IEA Energy Atlas*. Disponível em: <<http://energyatlas.iea.org/?subject=-1002896040>>. Acesso em: 13 jun. 2015.
- EN ISO 10077: 2000. *Thermal performance of buildings and building components*. Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames. European committee for Standardisation.
- LAMBERTS, Roberto.; DUTRA, Luciano.; PEREIRA, Fernando. O. R. *Eficiência Energética na Arquitetura*. 3ª Ed. Eletrobras/Procel, 2014.
- LAUSTSEN, Jens, *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings, Organisation for Economic Co-operation and Development/International Energy Agency*, Paris, France, 2008.
- MEAD, KyM. BRYLEWSKI, Robin. *Passivhaus primer: Introduction An aid to understanding the key principles of the Passivhaus Standard*.
- MCLEOD, Rob., MEAD, Kym., STANDEN, Mark. *Passivhaus primer: Designer's guide A guide for the design team and local authorities*.
- PASSIVE HOUSE INSTITUT. *Passive House Planning Package PHPP*, Versão 8, 2013.
- PASSIVE HOUSE REQUERIENTS. *Passive House Institute*. Disponível em: <http://passivehouse.com/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm>. Acesso em: 13 jun. 2015.
- PEREIRA, Cláudia. D.; GHISI, Enedir. *Calibração de um modelo computacional de uma residência unifamiliar localizada em Florianópolis*. In: ENTAC - XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 2008.
- POUEY, Juliana Al-Alam. *Projeto de edificação residencial unifamiliar para a zona bioclimática 2 com avaliação termo energética por simulação computacional*. Dissertação de Mestrado, PRO-GRAU-UFPel. Pelotas-RS, 2011.
- VALÉRIO, J. G. M. A. P. *Avaliação do Impacto das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2007.

Passivhaus concept applied to brazilian climate

ABSTRACT

Due to the excessive increase of energy consumption, where the buildings are responsible for 48,5% of the consumption in Brazil, more efficient alternatives have been valued in the conception and execution of architectonic projects.

Passivhaus is a certification created in Germany, whose main objective is to reduce the primary energy consumption of the buildings, the limit being 120kWh/m² per year. Buildings in *Passivhaus* standard have to follow five project principles: high thermal insulation of the envelopment, minimization of the thermal bridges, tightness of the air, high quality frames and mechanical ventilation system with heat recovery (cold season) and enthalpy fan (hot season).

The article is about the presentation of a developed residential building project that meets the *Passivhaus* standards, proposing compositional and technological alternatives observing the definition of equipment and systems for deployment in the southern Brazil context, also noting their thermoenergetic performance. The energy balance of the building is calculated using the PHPP tool (Passive House Planning Package), developed by the *Passivhaus Institut* in Germany, which verifies the compliance of primary energy consumption level, as well as other indicators, such as consumption of heat and hours of overheating. As a result we highlight the project's compliance with pre-established requirements by the German Regulation.

Keywords: *Passivhaus*. Electrical energy. Sustainability.