

Passivhaus: O conceito aplicado ao projeto arquitetônico de um Instituto de Artes

Passivhaus: The concept applied to the architectural project of an Institute of Arts

Thaís Fernandes Vilela, Graduada, Faculdade Brasileira

thaisfervela@gmail.com

Aline Silva Sauer, Mestre, Faculdade Brasileira

alinesisa@hotmail.com

Sandra L. Moscon Coutinho, Faculdade Brasileira

sandramoscon@gmail.com

Resumo

As demandas por energia na construção civil vem aumentando e a maior parcela do gasto energético parte do uso e manutenção das edificações. A Arquitetura Passiva é aplicada visando projetar ambientes termicamente confortáveis com menor gasto energético. Assim, esta pesquisa objetiva estudar a aplicação do conceito Passivhaus no projeto arquitetônico de um Instituto de Artes na cidade de Vitória-ES, verificando a adaptação desta norma alemã à zona bioclimática brasileira 8. Os dados relativos ao desempenho térmico do edifício são obtidos através da ferramenta *Passive House Planning Package* (PHPP) e confrontados com a referida norma e com a norma brasileira NBR 15220:2005. Como resultado observa-se a viabilidade de aplicação da norma alemã, com adequações as peculiaridades climáticas, a edificações localizadas na zona bioclimática brasileira 8. Ressalta-se ainda que, a aplicação dos princípios fundamentais desta norma em edificações brasileiras indica uma redução do gasto energético durante a fase de uso e manutenção.

Palavras-chave: *passivhaus*; arquitetura passiva; eficiência energética.

Abstract

The demands for energy in the construction industry have been increasing and the greater part of the energy expenditure is based on the use and maintenance of the buildings. Passive Architecture can be applied to design thermally comfortable environments with lower energy expenditure. Thus, this research aims to study the application of the Passivhaus concept in the architectural project of

an Institute of Arts in the city of Vitória-ES, verifying the adaptation of this German standard to the Brazilian bioclimatic zone 8. Data on the thermal performance of the building are obtained through the Passive House Planning Package (PHPP) and faced with the referred standard and the Brazilian standard NBR 15220: 2005. As a result, it is possible to observe the feasibility of applying the German standard, with adaptations to climatic peculiarities, to buildings located in the Brazilian bioclimatic zone. 8 It is also worth noting that the application of the fundamental principles of this standard in Brazilian buildings indicates a reduction in energy expenditure during the use and maintenance phase.

Keywords: *passivhaus; passive architecture; energy efficiency.*

1. Introdução

O crescimento progressivo do consumo de energia, junto à exaustão das reservas naturais e ao crescimento descontrolado das cidades, acarretou em várias discussões por uma arquitetura mais sustentável, principalmente no sentido de suprir o próprio consumo energético. Deste modo, normas, leis e certificações surgiram para atender essa necessidade. A união dos conceitos passivos às tecnologias advindas do desenvolvimento dos materiais e sistemas construtivos tornou possível aplicação da norma *Passivhaus* aos climas menos amenos (WASSOUF, 2014).

A Arquitetura Passiva possibilita o conforto térmico através de técnicas que permitem melhores condições de ventilação e iluminação com menor demanda de energia elétrica. O conceito *Passivhaus* vem agregar, ao design passivo, princípios capazes de reduzir os gastos energéticos e as emissões de dióxido de carbono, por meio de soluções adaptáveis às condicionantes locais e especificidades do projeto (GURGEL, 2012). Ao contrário da maioria das certificações ambientais, os fundamentos da *Passivhaus* são flexíveis e seus métodos para quantificar a eficiência energética são concretos e diretos, se baseando em medidas eficazes que vão além do simples controle da energia elétrica proposto na maioria das normas brasileiras (DALBEN, FREITAS, CUNHA, 2015).

Neste contexto, o trabalho final de curso, que deu origem ao presente artigo, teve como propósito verificar a aplicabilidade dos conceitos da Arquitetura Passiva, principalmente no que se refere aos conceitos metodológicos da *Passivhaus* adaptados, ao clima da Região Metropolitana da Grande Vitória no Estado do Espírito Santo. Analisando, sobretudo, o implemento das técnicas de isolamento térmico, ventilação associada a liberação de calor e conservação de temperatura ambiente adequada às atividades, assim como outros métodos acessíveis que permitam o equilíbrio energético e ambiental da edificação.

Assim, o objetivo deste artigo é discutir a aplicação do conceito *Passivhaus*, e de seus preceitos fundamentais, no projeto arquitetônico de um Instituto de Artes, verificando a adaptação dos princípios norteadores da respectiva norma alemã à zona bioclimática brasileira 8 onde se insere a cidade de Vitória, capital do Espírito Santo.

2. Método

A pesquisa apresentada neste artigo divide-se em quatro etapas principais: 1) apresenta uma revisão bibliográfica sobre tema *Passivhaus*, buscando em diversos autores o desenvolvimento do conceito, seus requisitos básicos e sua metodologia de aplicação; 2) a segunda etapa desta pesquisa envolve a elaboração do projeto arquitetônico de um Instituto de Artes quanto a utilização e adaptação das técnicas extraídas da norma *Passivhaus*; 3) a terceira etapa consiste na explanação das soluções técnicas empregadas no edifício em estudo; 4) finalmente, são apresentados os métodos de captação dos dados através da ferramenta *Passive House Planning Package* (Pacote para Projetos Passivos) – PHPP e os resultados obtidos.

3. A norma Passivhaus

Sendo um conceito estrangeiro baseado na norma europeia EN ISO 13790, primeiramente é necessário compreender o significado da norma alemã *Passivhaus* no contexto europeu, para posteriormente analisar seus desdobramentos na adaptação aos climas quentes. O conceito *Passivhaus* desenvolveu-se junto aos conceitos de casa passiva - *Passiv*: Passivo, *Haus*: Casa – utilizando da Arquitetura Passiva para atingir os critérios a que se propõe: gasto mínimo de energia e máximo conforto térmico do usuário. Para a *Passivhaus*, a metodologia do design passivo é o primeiro passo para a elaboração de edifícios eficientes, em que a concepção do projeto parte das condicionantes climáticas, físicas e ambientais do local onde a edificação será inserida (GURGEL, 2012).

A *Passivhaus*, além de empregar as condutas da Arquitetura Passiva, busca ainda eficiência energética, a fim de reduzir ao mínimo as demandas por energia de uma edificação. Dentre os princípios fundamentais do design passivo, que também são utilizados pela *Passivhaus*, pode-se verificar a adaptação da edificação ao clima local, correta orientação da construção, aberturas bem posicionadas e protegidas, aproveitamento das massas térmicas, isolamento térmico e ventilação cruzada (GURGEL, 2012).

Na Europa, não só os profissionais da construção civil mas a sociedade em geral estão familiarizados com o modelo de baixa demanda energética, tendo em vista que devido a matriz energética principal, os problemas associados às demandas de energia nestes países acarretam em grande impacto nos sistemas construtivos, nos hábitos de consumo e até nos modelos culturais da sociedade. Entretanto no Brasil, o processo de conscientização sobre as questões ambientais, sobretudo acerca da economia de energia, ainda enfrenta resistência. Apesar da visível crise energética associada à crise hídrica brasileira dos últimos anos, pois a principal fonte de energia elétrica provém justamente das hidrelétricas, a sociedade ainda percebe a redução da demanda como fator econômico (DALBEN, FREITAS, CUNHA, 2015).

Segundo Costa (2015), a *Passivhaus* é um conceito construtivo que define um padrão de qualidade que atenda as demandas por eficiência sobre as questões energéticas e de conforto, e que seja economicamente acessível e ecologicamente correto. Ainda de acordo

com a autora, os edifícios de baixo gasto energético vêm se tornando obrigatórios em vários países europeus, visto que esse tipo de construção emprega uma envoltória térmica de alta qualidade e ventilação controlada.

Justamente pela *Passivhaus* apresentar-se como método construtivo é possível pensar em sua aplicação em vários contextos, sem desconsiderar as necessidades e peculiaridades do local onde a mesma será inserida. Este conceito passou por processos que permitiram verificar sua adaptabilidade, primeiramente à pequenas variações climáticas, sociais e culturais, ao partir da Alemanha para o restante do norte europeu, e posteriormente à maiores disparidades climáticas, ao ser introduzida no sul da Europa (GAVIÃO, 2012).

Foi a partir do padrão de habitação de baixo consumo energético que Wolfgang Feist e Bo Adamson desenvolveram, em 1988, o conceito da casa passiva alemã, construindo o primeiro modelo na cidade de Darmstadt, na Alemanha em 1991, o qual é monitorado até hoje, mantendo um elevado nível de eficiência energética e conforto térmico. Assim, no contexto de climas temperados, a *Passivhaus* define a casa passiva como edificações onde o fluxo mínimo de ventilação para higienização do ar impede a perda do calor que, junto às técnicas de ventilação controlada, tornam possível a concepção de um edifício de baixo gasto energético e confortável termicamente (WASSOUF, 2014).

Nos países europeus conceitos como o *Passivhaus*, que exigem gasto mínimo da energia, originaram normas e certificações. A *Passivhaus* como norma de desempenho já é seguida na Alemanha e outros países do norte europeu, como a Áustria. Como modelo de certificação, seu sistema foi disseminado para o sul da Europa e adaptado às diferentes condições climáticas, através do *Passivhaus Institut* que surgiu para coordenar o processo de certificação *Passivhaus* (COSTA, 2015).

A certificação *Passivhaus* valida os dados através da planilha *Passiv house Planning Package* (PHPP), além dos dados levantados pela ferramenta ainda são consideradas as soluções utilizadas e o projeto é analisado por especialistas certificados. A *Passivhaus* também certifica produtos e sistemas construtivos e assim, segundo Gavião (2012), garante a utilização de sistemas testados que obedecem aos padrões da mesma, facilitando a implementação da certificação. A *Passivhaus* apresenta determinados procedimentos que variam de acordo com o uso do edifício, sendo que este deve ser certificado em fase de projeto e após a conclusão da obra (COSTA, 2015; GAVIÃO, 2012), recebendo assim o certificado de *Quality-Approved Passive House*. De acordo com Dalben, Freitas e Cunha (2015), são cinco critérios utilizados para a qualificação dos edifícios:

- (1) A carga térmica total do edifício não deve ser superior à $10\text{W}/\text{m}^2$ e a sua demanda energética para aquecimento interno não pode superar $15\text{ kWh}/\text{m}^2$ durante o ano;
- (2) a demanda energética para arrefecimento (resfriamento) de toda a edificação não pode ultrapassar $15\text{ kWh}/\text{m}^2$ durante o ano;
- (3) as demandas de energia primária, ou seja, a energia elétrica gasta com aparelhos eletrodomésticos e afins, não deve superar $120\text{ kWh}/\text{m}^2$ durante o ano;
- (4) o edifício deve ser hermético apresentando o máximo de 0,60 renovações de ar por hora à pressão de 50 Pascal;
- (5) durante o verão a temperatura nas áreas de maior permanência não deve ser superior a 25°C em 10% das horas durante o ano.

Dentre os critérios exigidos pela *Passivhaus* há aqueles normatizados - que compõem o padrão de implementação da certificação - e aqueles que são inerentes ao seu conceito como método originado da Arquitetura Passiva. Segundo Gavião (2012), todos os critérios descritos são atendidos mediante o emprego de cinco princípios: (1) isolamento térmico da envoltória; (2) minimização das pontes térmicas; (3) desempenho elevado das esquadrias; (4) estanqueidade do ar e (5) ventilação mecânica com recuperação ou perda de calor (DALBEN; FREITAS; CUNHA, 2015). No caso do emprego da norma para climas quentes é necessária adaptação de alguns dos critérios normatizados, sendo que certos quesitos do conceito podem não ser aplicados, no entanto é necessária sua justificativa mediante cálculos específicos (WASSOUF, 2014).

Quanto à envoltória do edifício, podem-se destacar as vedações opacas e transparentes. Segundo Gavião (2012), o isolamento da envoltória opaca do edifício deve ser capaz de minimizar as perdas térmicas. Atualmente, o mercado dispõe de várias soluções construtivas que podem ser empregadas nesta função, a escolha dependerá principalmente do clima onde será implantada a edificação. Além disso, o ideal é que o isolamento térmico do edifício seja contínuo (Figura 1) buscando minimizar as pontes térmicas (Figura 2) - áreas da parte externa do edifício propícias à perda ou ganho de calor pela diferença das temperaturas entre os ambientes internos e externos - que, se não controladas, podem influir no desempenho energético da edificação (WASSOUF, 2014; COSTA, 2015).

Mesmo nos climas em que as variações de temperatura interna e externa são mínimas, é indispensável proteger a edificação quanto às trocas de calor. Quanto a este fato, as esquadrias são de vital importância para a manutenção da temperatura interior do edifício, tendo em vista que através destas ocorrerem passagens do ar gerando perdas ou ganho de calor. Além disso, as áreas próximas às esquadrias tendem a apresentar menores taxas de isolamento que devem ser compensadas por outras medidas (GAVIÃO 2012; WASSOUF, 2014). No caso das vedações transparentes, através da caixilharia isolante e vidros com baixa emissividade térmica pode-se manter a temperatura interna confortável tanto no inverno quanto no verão (COSTA, 2015). Também é importante posicionar e proteger as aberturas de modo a aproveitar seletivamente a insolação (Figura 3), além de captar os ventos predominantes da região.



Figura 1 - Isolamento térmico contínuo da envoltória. Fonte: adaptado de Wassouf (2014).

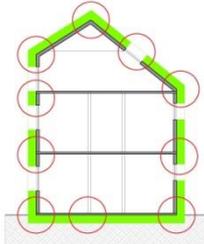


Figura 2 - Indicação das pontes térmicas na envoltória. Fonte: adaptado de Wassouf (2014).

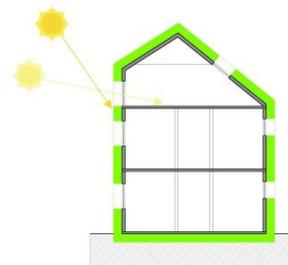


Figura 3 - Insolação nas aberturas no inverno e no verão. Fonte: adaptado de Wassouf (2014).

A estanqueidade é outro fator considerável, sendo que entende-se por estanqueidade a ausência de infiltrações de ar ou o controle da passagem de ar. Devido ao isolamento térmico do edifício qualquer entrada ou saída de ar pode comprometer a qualidade do conforto ambiental interno, interferindo assim no consumo energético e na proteção acústica (GAVIÃO, 2012; WASSOUF, 2014). No entanto, as trocas de ar são fundamentais para a saúde do edifício, logo o controle das infiltrações de ar refere-se às perdas pelas vedações opacas (Figura 4) e as aberturas devem garantir a higiene e a renovação do ar constantemente dentro do edifício.

Segundo Wassouf (2014), a ventilação possibilita a higienização dos ambientes internos garantindo a eliminação dos agentes nocivos à saúde humana, tais como CO₂, vapores de água, compostos orgânicos voláteis e odores das atividades humanas. Pode-se verificar na figura 5 um esquema de ventilação híbrida, ou seja, a ventilação natural cruzada junto a um sistema de exaustão mecânica.

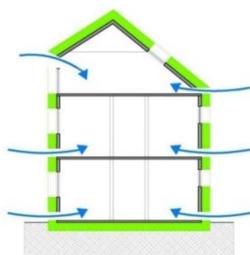


Figura 4 – Infiltração de ar na envoltória Fonte: adaptado de Wassouf (2014).

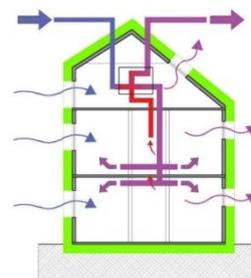


Figura 5 – Ventilação híbrida. Fonte: adaptado de Wassouf (2014).

Desse modo, os cinco princípios fundamentais da *Passivhaus* devem ser avaliados e aplicados com as adaptações cabíveis as exigências dos climas quentes, principalmente quanto ao desempenho dos materiais e sistemas utilizados e às técnicas passivas que possibilitem a otimização das soluções empregadas.

4. Desenvolvimento do projeto arquitetônico

O Instituto de Artes foi projetado para um terreno localizado no bairro Jardim Camburi, na cidade de Vitória-ES, latitude 20° Sul. De acordo com os estudos realizados, concluiu-se que o melhor formato para o edifício é o retangular, direcionando as menores áreas de fachada nos eixos de maior insolação diurna – leste/oeste (Figura 6). Como no hemisfério sul a trajetória solar ocorre prioritariamente à norte, devido a inclinação do sol, é fundamental, além de uma eficiente envoltória térmica, proteção das aberturas com sombreamento direto nesta orientação. Uma das soluções para à proteção das janelas são os brises. Portanto, nas fachadas Norte e Sul foram utilizados brises verticais móveis ao longo de todo primeiro pavimento, onde se encontram os ateliês, já no pavimento térreo, uma marquise protege as aberturas das fachadas Norte e Leste (Figuras 7 e 8).



Figura 6 – Implantação do Instituto de Artes. Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 7 – Vista frontal (Norte) do Instituto de Artes. Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 8 – Perspectiva (vista sudeste) do Instituto de Artes. Fonte: Elaborado pelos autores.

Além da insolação, a forma e orientação escolhida para o edifício também beneficiaram a ventilação, tendo em vista que as aberturas foram posicionadas para receber os ventos predominantes no verão (nordeste) e protegidas dos ventos frios no inverno (sul).

Este modelo geométrico compacto e retangular proposto também é capaz de fornecer maiores opções de aberturas para iluminação natural, reduzindo o consumo energético no período diurno. Além disso, a edificação foi elevada do solo, o que contribui para passagem de ventilação e retirada de calor da superfície de piso, e toda arborização foi pensada para favorecer o microclima local e atuar no direcionamento e controle dos ventos junto à edificação.

O projeto arquitetônico do Instituto de Artes abrange em seu pavimento térreo uma galeria de exposições com acesso independente da edificação principal, toda parte administrativa (secretaria, escritório, almoxarifado e arquivo), dependências de apoio aos funcionários (vestiários, copa e DML), uma livraria-café, também com acesso independente, e deck coberto. O bloco central do edifício recebe as escadas, elevadores e banheiros de apoio aos usuários (Figura 9). Os vestiários foram posicionados a Leste e as áreas de apoio da galeria a Oeste, sendo estes ambientes de curta permanência e por isso

foram locados nas fachadas com maior insolação. A livraria-Café localiza-se a Nordeste, sendo suas aberturas protegidas pela marquise, e a Sul encontra-se a copa e os banheiros de apoio aos usuários com ventilação para renovação do ar.

O primeiro pavimento da edificação recebeu os ateliês e salas de estudo. Os ateliês de desenho, pintura, escultura e gravura, foram locados a norte visando o aproveitamento dos ventos e da insolação um pouco mais intensa para retirada da umidade, visto que este é um fator que pode comprometer os materiais utilizados nestas oficinas. Já a Sul, fachada com menor incidência solar direta ao longo do ano, conseqüente menor carga térmica, estão locadas a sala multimídia, ateliê kids e ateliês de fotografia e cerâmica, que necessitam de temperaturas mais baixas (Figura 10).

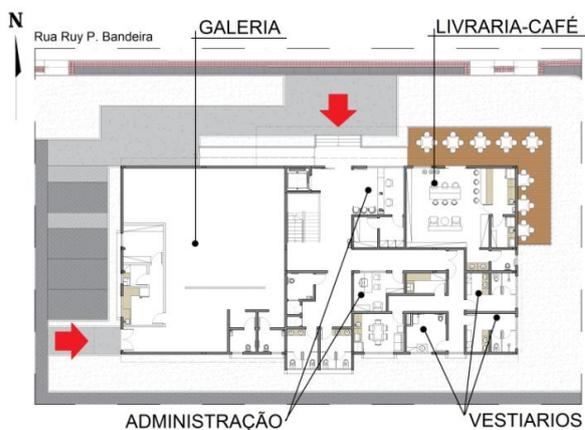


Figura 9 – Planta baixa – Térreo. Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 10 – Planta baixa – 1º pavimento. Fonte: Elaborado pelos autores.

O segundo pavimento do instituto abriga o auditório, locado a Nordeste, e o terraço voltado para sudeste, sendo protegido também por um pergolado inclinado a Norte, o que favorece o sombreamento e a ventilação. Deste modo, o espaço recebe apenas a insolação da manhã sendo melhor utilizado nos períodos da tarde e da noite (Figura 11).

Já a cobertura é composta por telhas termoacústicas, com platibandas em todo o telhado. Ademais, sobre a circulação do primeiro pavimento foram feitas aberturas zenitais - sheds - que permitem a captação da iluminação natural, em ângulos que não proporcionem incidência solar direta e nem entrada de chuva, além da instalação de exaustores eólicos para retirada do ar quente na cobertura dos ateliês e do auditório (Figura 12).



Figura 11 – Planta baixa - 2º pavimento. Fonte: Elaborado pelos autores.

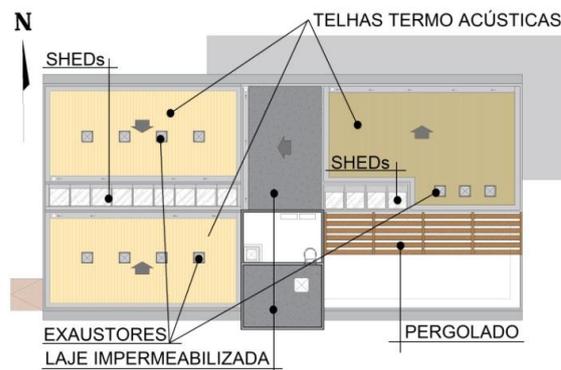


Figura 12 – Planta de cobertura. Fonte: Elaborado pelos autores.

Além destas, outras soluções foram aplicadas ao projeto de acordo com as técnicas estudadas e os princípios fundamentais do conceito *Passivhaus*:

a) Paredes externas: Para o projeto proposto, a melhor solução envolveu a aplicação do Poliestireno Expandido (EPS) com espessura de 40mm nas paredes externas e 80mm na cobertura da edificação, visto que esta recebe insolação direta durante todo o período diurno. É importante salientar que esta estratégia foi associada a outros métodos de sombreamento e proteção solar já descritos.

b) Cobertura: A NBR 15220 (ABNT, 2005) recomenda, para a zona bioclimática 8, o uso de telhas cerâmicas sem forro ou em materiais de transmitância térmica acima dos valores tabelados e em cores claras. Deste modo, foram propostas telhas termoacústicas na cor bege, também com isolamento em EPS incluso e com condutividade térmica de 0,245 W/m.k. Já as lajes de concreto nervurada recebem isolamento térmico em EPS, com espessura de 80mm. Ainda de acordo com a norma brasileira são necessárias áreas de ventilação entre as lajes e as coberturas. Visto que no projeto, tanto as telhas utilizadas quanto as lajes recebem isolamento térmico, não há necessidade de ventilação entre seus vãos. Para auxiliar na ventilação natural dos ambientes internos à edificação foram empregados na cobertura sheds com inclinação de 23% voltados para o sul. Além disso, para complementar o sombreamento e proteção do deck e do acesso principal no térreo, é utilizada uma marquise de concreto que avança 3,00m sobre a parte frontal da edificação.

c) Esquadrias e superfícies transparentes: Para o projeto do Instituto de Artes todas as esquadrias são em Policloreto de vinila (PVC) e as esquadrias externas receberam vidros duplos com câmara de ar e alto fator de proteção solar. Para as maiores aberturas no primeiro pavimento, voltadas a norte e a sul, são empregados brises verticais móveis em madeira plástica. Já para as básculas e janelas dos outros pavimentos a proteção contra as intempéries é conferida por caixas em concreto de espessura 30cm, projetadas para fora das paredes externas. As portas externas também recebem isolamento térmico em EPS com 40mm de espessura.

d) Pisos: No projeto em estudo a laje do térreo não recebe isolamento térmico, apenas acabamento em cimento queimado e é elevada 87 cm do solo, para proteger o edifício da

umidade e garantir o resfriamento desta superfície. Esta elevação da laje do térreo permite a troca de calor com o ar externo em contato com o piso.

e) Sistemas de ventilação: A ventilação híbrida é aplicada ao edifício através dutos de exaustão nos ambientes e nas circulações, onde não há emprego do sheds ou outro meio de retirada direta do calor. Além disso, no auditório, na galeria de exposições e no escritório, que não possuem aberturas externas, serão utilizados aparelhos de ar condicionado. Estes aparelhos serão do modelo split com grelha e dutos, deste modo, pode-se controlar a velocidade do ar dentro do ambiente, que segundo a norma *Passivhaus* não pode ultrapassar 0,1m/s.

5. Análise do desempenho térmico da edificação

A ferramenta PHPP, utilizada para aferição dos dados quanto à eficácia de regulação térmica da edificação e sua capacidade de renovação do ar interior, trata-se de um programa computacional em formato de planilha. Esse recurso foi desenvolvido pelo Instituto *Passivhaus* como modelo para verificação de requisitos e obtenção da certificação referente ao conceito. Neste artigo, os dados obtidos serão comparados aos quesitos de avaliação da norma *Passivhaus* e as exigências da NBR 15220 para a zona bioclimáticas 8, em que está inserida o município de Vitória - ES.

Para obtenção dos dados a ferramenta de cálculo PHPP foi empregada em seu modelo de teste, portanto serão apenas apresentados os valores referentes às transmitâncias térmicas dos elementos externos e a taxa de renovação de ar da edificação em análise. O programa é composto por trinta e duas abas que verificam diversas variáveis do projeto, desde aspectos materiais, tipo de solo, quantidade de usuários e equipamentos utilizados.

Para o cálculo das transmitâncias térmicas (U) dos elementos foi necessário o preenchimento das informações exigidas pela planilha, tais como: os valores de condutividade térmica (λ) de cada material, os valores de resistência superficial interna (Rsi) e externa (Rse) e a espessura dos componentes utilizados. A Tabela 1 demonstra os resultados obtidos para as paredes externas, em que constata-se que emprego do EPS junto ao bloco cerâmico é capaz de reduzir consideravelmente a transmissão de calor pelas vedações verticais do edifício.

Parede externa	Rsi = 0,13	Rse = 0,04	
	λ (W/mK)	Espessura (mm)	
Reboco interior	1,150	45	
Reboco exterior	1,150	45	
EPS	0,040	40	
Tijolo cerâmico	0,900	90	
U (W/m ² k)	0,742	Total	220

Tabela 1 – Transmitância térmica (U) das paredes externas. Fonte: adaptado de ABNT (2005).

O conceito *Passivhaus* tem como regra básica o implemento de isolamento térmico em toda a envoltória da edificação. Para o projeto do Instituto de Artes, como já visto, foi empregado o EPS com 40mm nas paredes externas e 80mm nas lajes de cobertura. A Tabela 2 apresenta os resultados gerais de transmitância térmica (U) obtidos pela PHPP.

Descrição	Espessura (cm)	U (w/m ² k)
Paredes externas	22	0,74
Pilares	22	0,78
Vigas	19	0,75
Cobertura	33	0,42
Laje do terraço	33	2,13
Lajes impermeabilizadas	18	0,44

Tabela 2 – Valores de transmitância térmica (U) dos sistemas do Instituto de Artes. Fonte: Elaborado pelos autores.

O valor de transmitância térmica das paredes externas é de 0,74 w/m²k, ou seja, abaixo do valor máximo de 3,6 w/m²k, recomendado pela NBR 15220 (ABNT, 2005), assim como os pilares externos e as vigas, com 0,78 w/m²k e 0,75 w/m²k, respectivamente. Do mesmo modo, a cobertura, a laje do terraço e a laje impermeabilizada atingiram valores de 0,42 a 0,44 w/m²k, bem menores que o máximo exigido pela mesma norma, 2,3 w/m²k para coberturas em edifícios situados na zona bioclimática 8.

O sistema de ventilação aplicado ao projeto privilegia a ventilação natural através de grandes aberturas, além disso, o formato compacto e horizontal da edificação permite melhor distribuição e renovação do ar interno. Assim, a taxa de renovação de ar obtida através da PHPP é de 0,57 renovações por hora/dia, atendendo a meta estabelecida pela norma *Passivhaus* que determina um valor máximo de 0,6 renovações de ar por hora/dia.

É importante lembrar que a taxa de renovação de ar é uma exigência importante quanto à higienização dos ambientes internos e proteção dos usuários contra doenças provenientes de alta permanência em ambientes fechados. As normas brasileiras, como já visto, estipulam áreas mínimas de abertura para iluminação e ventilação, entretanto não exigem a renovação de ar constante dentro da edificação.

6. Considerações finais

O conceito *Passivhaus*, baseado na norma europeia EN ISO 13790, exige excelência no conforto térmico do usuário, inclusive limitando as temperaturas internas da edificação tanto no verão quanto no inverno. Através das comparações realizadas nesta pesquisa, entre a norma *Passivhaus* e as normas brasileiras, percebe-se que quanto aos requisitos de eficiência energética, as normas e certificações nacionais focam no consumo de energia primária. No entanto, no que diz respeito ao desempenho térmico das edificações, estas normas não apresentam soluções explícitas e direcionadas. Logo, a aplicação dos

princípios fundamentais do conceito *Passivhaus* em edificações brasileiras indica uma redução do gasto energético durante a fase de uso e manutenção da edificação.

O conceito *Passivhaus* agrega métodos simples para a otimização do conforto térmico dentro de uma edificação através de cinco princípios fundamentais, sendo que estes são passíveis de adaptação e aplicação em diversos contextos. O isolamento térmico do edifício abre espaço para o uso de qualquer material com baixa transmitância térmica, podendo ser aplicada a qualquer edificação de qualquer perfil ou tamanho.

Outro ponto fundamental no controle das temperaturas internas para a *Passivhaus* são as esquadrias. Sua correta localização de acordo com a insolação, ventos predominantes e demais condicionantes do sítio, auxilia na melhora da temperatura interna e na economia de energia elétrica, uma vez que o emprego da ventilação natural proporciona melhor conforto térmico reduzindo o consumo de energia.

A metodologia *Passivhaus* envolve técnicas claras e diretas, com requisitos precisos de controle da temperatura, de renovação e velocidade do ar dentro da edificação. Esses parâmetros podem ser medidos e quantificados com precisão pela ferramenta PHPP, diferentemente das demais certificações, em que os métodos avaliativos englobam, na maioria das vezes, análise de projeto, documentação e especificação de materiais. Observa-se assim, a viabilidade de aplicação da norma alemã, com adequações as peculiaridades climáticas, a edificações localizadas na zona bioclimática brasileira 8.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

COSTA, Sara Luísa P. G. da. Eficiência energética de edifícios: Conceito Passivhaus. Dissertação de mestrado, Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa. 2015.

DALBEN, Renata. FREITAS, Juliana M. R. de. CUNHA, Eduardo Grala da. Conceito Passivhaus aplicado ao clima brasileiro. Revista da Arquitetura IMED. Janeiro a julho de 2015. Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul.

GAVIÃO, João Rui S. P. Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal. Dissertação de mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Universidade do Minho, Escola de Engenharia. Novembro de 2012.

GURGEL, Mirian. Design Passivo – baixo consumo energético: guia para conhecer, entender, e aplicar os princípios do design passivo em residenciais / Mirian Gurgel. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

WASSOUF, Micheel. Da casa passiva à norma Passivhaus: A Arquitetura Passiva em climas quentes. Barcelona: Anman Gràfiques del Vallès, 2014.