



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Paula Daniela Martins

ESTUDO DOS PRINCIPAIS DESAFIOS DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES NO BRASIL

Ouro Preto

2019

Estudo dos principais desafios do desempenho térmico das edificações no Brasil

Paula Daniela Martins

Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto defendida e aprovada em 10 de julho de 2019 como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Desempenho Térmico de Edificações.

Orientadora: Prof. M.Sc. Julia Castro Mendes - UFOP

Ouro Preto

2019

M386e Martins, Paula Daniela.
Estudo dos principais desafios do desempenho térmico das edificações no Brasil [manuscrito] / Paula Daniela Martins. - 2019.

x, 49f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientadora: Prof^a. MSc^a. Julia Castro Mendes.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Edificações - Conforto térmico. 2. Eficiência energética. 3. Edificações - Sistema de fechamento. 4. Edificações - Propriedades termofísicas. I. Mendes, Julia Castro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

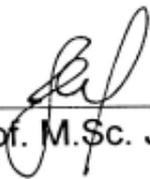
CDU: 624

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br

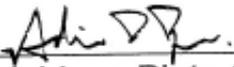
Estudo dos principais desafios do desempenho térmico das edificações no Brasil

Paula Daniela Martins

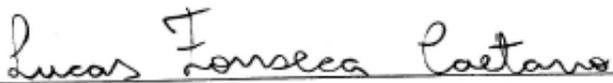
Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto defendida e aprovada em 10 de julho de 2019 como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.
Banca examinadora:



Orientadora: Prof. M.Sc. Júlia Castro Mendes - UFOP



Membro: Prof. D.Sc. Adriano Pinto Gomas – IFMG – OP



Membro: M.Sc Lucas Fonseca Caetano – UFOP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças para cumprir as etapas da vida. À minha família, principalmente minha mãe Elinor e meus irmãos Fernando e Régis, por ser amor, apoio e inspiração. Nada seria possível sem a confiança e luta daqueles que me mantiveram determinada. Agradeço ao Guilherme, por ser parceiro na engenharia e na vida.

Gratidão a minha orientadora Júlia Castro Mendes por dividir comigo seu conhecimento e por ser tão comprometida com o trabalho. E, de maneira geral, por todos os dias buscar contribuir para a melhor formação dos seus alunos.

Agradeço à Civil Jr. por me proporcionar tanto aprendizado durante todo esse período.

E agradeço a todos os professores e funcionários da Escola de Minas e Universidade Federal de Ouro Preto por promover educação de qualidade. Obrigada a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho direta ou indiretamente.

RESUMO

Uma das razões para o aumento da demanda de energia elétrica no setor residencial é a deficiência do desempenho térmico das habitações brasileiras. Verifica-se que a maioria das residências no país não foram projetadas de acordo com o clima em que estão inseridas, agravando a sensação de desconforto térmico. Como consequência, a aquisição de equipamentos de aquecimento e resfriamento tem aumentado a cada ano. No entanto, parte da população não tem recursos financeiros para comprar e manter sistemas de ar condicionado regularmente, fato que leva ao comprometimento da produtividade e saúde dos ocupantes devido ao desconforto térmico. Por isso, é imprescindível projetar e construir edificações termicamente eficientes, contudo, existem diversas barreiras que impedem esta prática no Brasil. Assim, o presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre os desafios enfrentados para se obter um bom desempenho térmico e eficiência energética nas edificações do Brasil. Neste estudo de revisão bibliográfica foram analisados a qualidade das habitações brasileiras, normas vigentes, capacitação dos profissionais da área, as principais estratégias para alcançar adequado desempenho térmico e os fatores que influenciam-no. Os resultados apresentam que a inconsistência e falta de atualização das normas brasileiras, a falta de capacitação dos profissionais do setor da construção e a necessidade de um maior investimento inicial são os principais desafios a serem enfrentados para garantir habitações termicamente eficientes no Brasil.

Palavras-chaves: Desempenho térmico; eficiência térmica; propriedades termofísicas; sistema de fechamento.

ABSTRACT

One of the reasons for the increase of the demand of electric power in the residential sector is the deficiency of the thermal performance of Brazilian houses. Most of the residences in the country were not designed according to the climate in which they are inserted, exacerbating the sensation of thermal discomfort. As consequence, the purchase of heating and cooling equipment has increased every year. However, part of the population does not have the financial resources to buy and maintain air conditioning systems on a regular basis, which leads to compromising productivity and occupant health due to thermal discomfort. Therefore, it is imperative to design and construct thermally efficient buildings, although there are several barriers that prevent this practice in Brazil. Thus, the present work consists of a literature review on the challenges faced to obtain a good thermal performance and thermal efficiency in Brazilian buildings. The present study analyzed the quality of Brazilian housing, current standards, stakeholders, the main strategies to achieve thermal performance and the factors influencing thermal performance. The results show that the main challenges to be faced in order to guarantee thermally efficient housing in Brazil are the inconsistency and lack of updating of Brazilian standards, the lack of performance-related training of building professionals and the need for greater initial investment.

Keywords: Thermal performance, thermal efficiency, thermophysical properties; envelope.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico representativo do crescimento estimado da venda de aparelhos de ar condicionado para residências. Fonte: (EPE, 2018).	5
Figura 2 – a) Fachada do <i>Bank of America</i> em Nova Iorque , Estados Unidos (STRUCTURAE, 2009). b) Fachada do <i>Melbourne Council House 2</i> em Melbourne na Austrália (CITY OF MELBOURNE, 2010).	7
Figura 3: Exemplo da condutividade térmica para vários materiais. Fonte: Adaptado de NETZSCH (2016).....	10
Figura 4: Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).	15
Figura 5: Categorias de avaliação e níveis de certificação do “Selo Casa Azul”. Fonte: Adaptado de CAIXA (2010).	23
Figura 6: Pontuação necessária para obtenção de cada nível da Certificação LEED. Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2014).....	24
Figura 7: Aprovação das inovações (%) de acordo com a faixa de renda. (SM = Salários Mínimos) Fonte: (CBIC, 2014).	25
Figura 8: Geração de energia elétrica por fonte no Brasil (%) – Participação em 2016. (EPE, 2017).	28
Figura 9: Consumo e Energia Elétrica por Segmento (%) (EPE, 2018).	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades termofísicas de alguns elementos construtivos.	14
Tabela 2: Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática.....	16
Tabela 3: Valores limites de propriedades termofísicas de acordo com as zonas bioclimáticas.....	17
Tabela 4: Seções da NBR 15575.....	21
Tabela 5: Item de inovação tecnológica mais importante, por faixa de renda (SM = Salário Mínimo) (%).....	26
Tabela 6: Diferenças entre obras comuns e <i>retrofit</i>	29
Tabela 7 - Artigos utilizados para avaliar os desafios do desempenho térmico nas edificações do Brasil.....	31
Tabela 8: Análise dos principais desafios citados nos artigos para se alcançar um bom desempenho térmico nas edificações	33

SUMÁRIO

Agradecimentos	IV
Resumo.....	V
Abstract.....	VI
Lista de Figuras	VII
Lista de Tabelas.....	VIII
Sumário.....	IX
1 Introdução	1
1.1 Objetivo.....	2
1.1.1 Objetivos Específicos.....	2
2 Revisão Bibliográfica.....	3
2.1 Desempenho térmico de edificações.....	3
2.1.1 Estratégias para proporcionar um desempenho térmico adequado..	4
2.1.2 Fatores que influenciam no desempenho térmico das edificações ...	9
2.1.3 Zonas Bioclimáticas do Brasil	15
2.2 Qualidade das Habitações no Brasil.....	18
2.3 Normas e Certificações	19
2.3.1 Selo PROCEL Edificações.....	22
2.3.2 Selo Casa Azul.....	23
2.3.3 Certificação LEED.....	23
2.4 Stakeholders da construção civil Brasileira.....	24
2.5 Consumo de energia no Brasil.....	27

2.6	<i>Retrofit</i>	29
3	Metodologia.....	31
4	Resultados	33
4.1	Principais desafios citados em artigos de relevância.....	33
4.2	Discussão dos Resultados.....	36
5	Conclusão	40
	Referências.....	43

1 INTRODUÇÃO

Um projeto arquitetônico adaptado ao clima do local pode proporcionar um bom desempenho térmico do ambiente interno tornando-o mais confortável para os usuários. A NBR 15220 (ABNT, 2005) define conforto térmico como sendo a satisfação de um usuário no âmbito psíquico e fisiológico com as condições de um determinado ambiente. É um conceito subjetivo que pode variar de indivíduo para indivíduo, mas que tem grande importância para o bem-estar dos ocupantes.

A temperatura interna do corpo humano varia, aproximadamente, entre 35 a 37°C e a todo momento existem trocas térmicas entre o corpo humano e o meio para garantir que a temperatura interna do organismo permaneça constante (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Grandes oscilações na temperatura do corpo podem causar mal-estar, afetar a produtividade e até a saúde dos usuários (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Assim, para que uma pessoa sinta-se em estado de conforto térmico, a temperatura interna do organismo deve permanecer em equilíbrio sem que haja um grande gasto energético (LAMBERTS, XAVIER e VECCHI, 2011).

Visando alcançar o conforto térmico, equipamentos de resfriamento e aquecimento são responsáveis por grande parte do gasto de energia de uma edificação (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Edifícios energeticamente eficientes devem proporcionar a sensação de conforto térmico com mínima ou nenhuma necessidade destes aparelhos (GONÇALVES, 2004). Eficiência energética pode ser descrita como o potencial de uma edificação ser considerada confortável visual, acústica e termicamente para seus usuários com o menor consumo de energia possível (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Diante do crescimento da urbanização em conjunto com o aumento populacional e as mudanças climáticas, o consumo de energia elétrica tem-se elevado em todos os setores (AGÊNCIA BRASIL, 2019). Os setores residencial e comercial corresponderam, em 2018, a 65% do total de energia elétrica consumida no país (EPE, 2018). E, ainda que grande parte das habitações brasileiras sejam construídas sem um sistema de aquecimento ou resfriamento integrado, o número de famílias que

buscam o condicionamento artificial do ambiente tem se elevado nos últimos anos (PAULSEN e SPOSTO, 2013). Já os edifícios comerciais e públicos, em função do período de trabalho, contam, em sua maioria, com sistemas de resfriamento (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

O crescente consumo de energia gera inúmeros impactos ambientais, além de uma alta demanda de investimentos governamentais no setor energético. Estes investimentos deixam de ser aplicados em outras áreas, como saúde, educação e segurança (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Dessa forma, a partir da análise do presente cenário, se faz necessário estudar os desafios enfrentados para garantir edificações energeticamente eficientes e termicamente confortáveis no Brasil. Esses desafios vão desde as diretrizes de projeto até as técnicas construtivas, passando pela legislação e pela conscientização da população.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é investigar e detalhar os desafios enfrentados para se construir edificações com desempenho térmico adequado no Brasil.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar, na literatura, as variáveis que influenciam no desempenho térmico de uma edificação;
- Definir quais são as barreiras ainda enfrentadas para a construção de edificações mais eficientes energeticamente no país.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desempenho térmico de edificações

Um ambiente confortável termicamente possibilita um melhor rendimento em atividades intelectuais e físicas, visto que o organismo gasta menos energia para manter a temperatura corporal dentro dos limites toleráveis (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Portanto, uma edificação precisa ser o mais termicamente confortável possível para seus usuários.

A ASHRAE (2005) define conforto térmico como um estado de espírito que reflete a satisfação do usuário com o ambiente. Inúmeras são as variáveis que influenciam a sensação de conforto térmico: temperatura radiante, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar, vestimenta e atividade física (LAMBERTS, XAVIER e VECCHI, 2011). Por isso, o conforto térmico é um conceito subjetivo que varia de pessoa para pessoa, conforme seu sexo, idade, metabolismo, condição de saúde, entre outros (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Já o desempenho térmico de uma edificação corresponde à resposta da habitação, em termos de parâmetros climáticos internos, em relação ao clima da área em que se encontra (GONÇALVES, 2004). Um ambiente com desempenho térmico adequado proporcionará a sensação de conforto térmico a seus usuários e deve ser, sempre que possível, energeticamente eficiente.

Analisar o desempenho de uma edificação é levar em consideração dois fatores principais: influência do meio externo e comportamento dos ocupantes. Um bom dimensionamento leva em consideração parâmetros como o estudo da insolação, ventilação diurna e noturna, presença de edifícios no entorno e materiais que constituem a envoltória (GOMES, 2007). Estas variáveis afetam o conforto térmico dos usuários, que dependerão menos de equipamentos de condicionamento de ar.

2.1.1 Estratégias para proporcionar um desempenho térmico adequado

Segundo Bittencourt e Cândido (2010) existem três tipos de estratégia para se resfriar um ambiente: ativas, passivas e híbridas. A estratégia ativa é aquela que demanda energia elétrica para seu funcionamento. O segundo método, a passiva, é aquela que requer pouca ou nenhuma energia para seu funcionamento. Já o sistema híbrido integra parte da estratégia ativa para auxiliar o funcionamento dos métodos passivos.

2.1.1.1 Estratégias Ativas

As estratégias ativas são aquelas que dependem de auxílio mecânico ou artificial para promover as trocas de calor em um edifício. A principal vantagem deste método é seu dinamismo e possibilidade de controlar melhor o fluxo de calor. No entanto, demanda o uso de energia elétrica, resultando no aumento do consumo, do custo e nas emissões de CO₂.

Alguns ambientes dependem constantemente de resfriamento e/ou aquecimento artificial. Grande parte do setor comercial e público, por exemplo, conta com um sistema de resfriamento e/ou aquecimento nos seus edifícios. Isto pode ser explicado pelo intenso fluxo de pessoas e a necessidade de evitar o desconforto para garantir a produtividade dos seus ocupantes (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

O sistema de ventilação mecânica é composto por dois tipos: exaustores e ventiladores. Os exaustores são, geralmente, usados em ambientes com contaminação do ar. Estes aparelhos expulsam o ar quente e impuro para fora por meio da pressão negativa (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Já os ventiladores trabalham com a circulação do ar e a sensação de conforto é graças a evaporação de suor e remoção do calor da pele. Este sistema tem como principais vantagens o baixo custo e a facilidade de instalação.

O ar condicionado tem como principal vantagem o controle da temperatura, umidade e distribuição do ar no ambiente. É um elemento indispensável para locais em que são exigidas condições especiais de temperatura e umidade, como em

hospitais ou em salas com grande número de componentes eletrônicos (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Podem ser utilizados para refrigeração ou refrigeração e aquecimento (ciclo reverso) do ambiente.

A maior desvantagem, no entanto, é o alto consumo de energia elétrica para o seu funcionamento. Segundo a EPE (2018), o número de equipamentos de ar condicionado nas residências aumentou 9% ao ano entre 2005 e 2017 (Figura 1). Isto pode ser explicado, principalmente, e pelo recorde histórico de ondas de calor nos anos de 2014 e 2015. É importante destacar que os eventos atípicos de onda de calor afetam permanentemente a demanda energética, visto que os aparelhos adquiridos nesse período passam a ser utilizados regularmente (EPE, 2018).

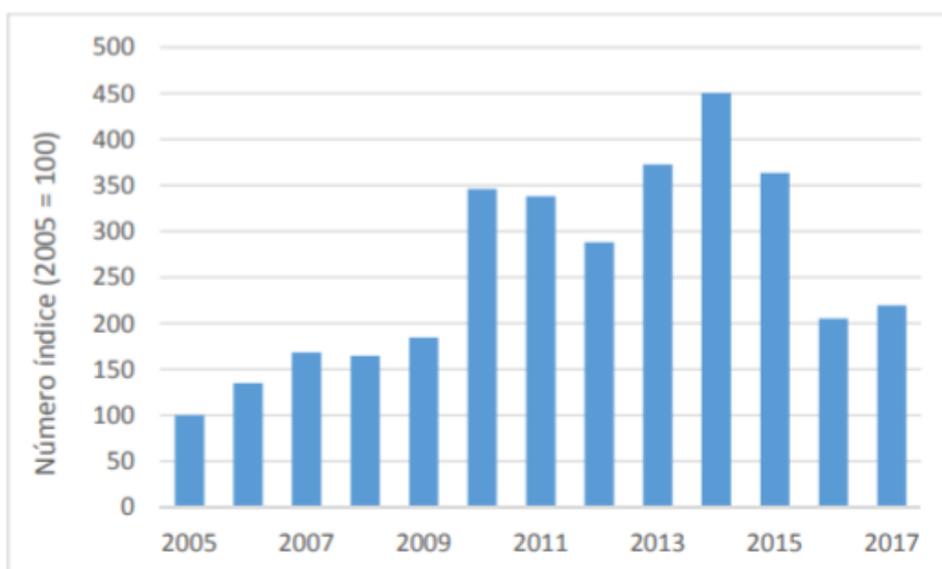


Figura 1: Gráfico representativo do crescimento estimado da venda de aparelhos de ar condicionado para residências. Fonte: (EPE, 2018).

Já os sistemas de aquecimento são oriundos de 4 principais fontes de energia: eletricidade, gás, óleo ou combustíveis sólidos. Apesar dos vários tipos disponíveis, o aquecimento elétrico é o mais difundido pela facilidade de instalação, operação e ausência de combustão (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Contudo, este modelo eleva drasticamente o consumo de energia da edificação.

Cabe mencionar que um projeto visando à eficiência energética consegue minimizar ou por vezes eliminar a necessidade de condicionamento artificial mesmo nos setores comerciais. Existem inúmeros edifícios que alcançaram bom desempenho térmico usando medidas passivas e híbridas. Por exemplo, o *Bank of America Tower* em Nova Iorque, Estados Unidos e o *Council House 2* em Melbourne na Austrália:

- *Bank of America Tower*: finalizado em 2009, é um bom exemplo de como estratégias passivas podem trazer benefícios. A característica mais marcante do prédio são as paredes exteriores inclinadas (Figura 2). Além da estética interessante, as paredes inclinadas admitem mais luz solar no ambiente interno, diminuindo o uso de equipamentos de aquecimento (GREEN EDUCATION FOUNDATION, 2018).
- *Council House 2*: concluído em 2006, conta com um sistema energeticamente eficiente de aquecimento e resfriamento que mantém o conforto térmico tanto no verão quanto no inverno. Para o aquecimento, conta com tubos de água quente localizados sob o piso e ao longo das paredes e abaixo de cada janela, no piso, existe uma grade de madeira que fornece calor radiante do sistema hidrônico para o meio. Já para resfriamento, a massa térmica da cobertura de concreto absorve o calor durante o dia e o libera a noite para o meio ambiente. Além disso, água gelada é transmitida pelo sistema de radiadores para absorver o calor e é posteriormente armazenada em tanques no porão. A noite o calor é removido por resfriamento evaporativo pelas torres de resfriamento no telhado. Além disso, o edifício conta com brises de madeira na fachada que controlam a incidência de luz solar no ambiente interno (Figura 2) (CITY OF MELBOURNE, 2010).

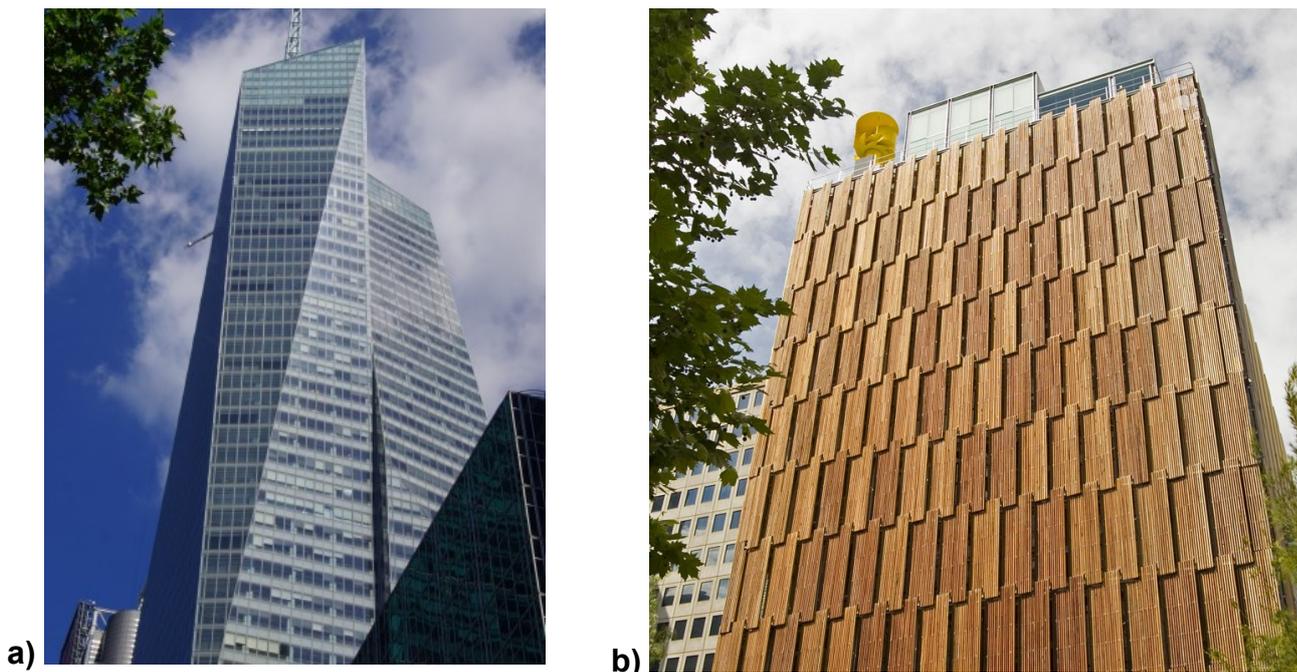


Figura 2 – a) Fachada do *Bank of America* em Nova Iorque , Estados Unidos (STRUCTURAE, 2009). b) Fachada do *Melbourne Council House 2* em Melbourne na Austrália (CITY OF MELBOURNE, 2010).

2.1.1.2 Estratégias Passivas

Diferentemente das estratégias ativas, os métodos passivos utilizam principalmente recursos naturais e arquitetônicos para garantir o adequado desempenho térmico das edificações. A escolha deste método promove redução dos picos de calor no interior dos edifícios, resultando em pouco ou nenhum uso de energia.

Este tipo de estratégia possibilita melhores condições de conforto térmico utilizando técnicas de ventilação e iluminação naturais (VILELA, SAUER e COUTINHO, 2018). Por isso, é importante seguir as recomendações construtivas de acordo com a zona bioclimática do local e escolher materiais adequados para compor os elementos construtivos, a fim de assegurar o conforto térmico e a redução do consumo de energia elétrica (BITTENCOURT e CHRISTINA, 2010). De acordo com

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) são algumas das estratégias passivas que podem ser empregadas durante a concepção do projeto arquitetônico:

- a) Ventilação: orientar o edifício para aumentar a exposição às brisas de verão, projetar espaços fluidos com boa circulação de ar, promover ventilação vertical e cruzada;
- b) Resfriamento evaporativo e umidificação: consiste na retirada de calor do ar pela evaporação da água ou evapotranspiração das plantas;
- c) Utilizar Inércia Térmica: poder ser utilizada para aquecer ou resfriar a estrutura. Para aquecimento, recomenda-se construir paredes mais espessas e aberturas de esquadrias menores. Já para o resfriamento, as aberturas devem ser maiores e deve-se evitar a ventilação diurna, que pode levar ar quente e aumentar a temperatura interna da edificação;
- d) Aquecimento solar passivo: orientação adequada do edifício para receber maior ou menor radiação solar;
- e) Uso da vegetação como sombreamento: além de sombrear sem bloquear a entrada de luz, em certas situações as árvores permitem a incidência de sol desejável no inverno.

Além das estratégias arquitetônicas, os materiais influenciam fortemente a performance da construção quanto ao seu desempenho térmico. Evitar a perda ou ganho excessivo de calor controlando-se a transmitância térmica da envoltória e promover proteção solar nas paredes, esquadrias e cobertura promovem melhorias nas condições de conforto térmico (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

2.1.1.3 Estratégias Híbridas

Estratégias híbridas são aquelas que incluem soluções passivas e ativas para proporcionar conforto aos usuários. Por exemplo: ventilação híbrida (natural associada com mecânica), painéis fotovoltaicos, aquecimento solar de água, entre outros. Cabe ao projetista integrar as soluções ativas depois maximizar as estratégias passivas.

2.1.2 Fatores que influenciam no desempenho térmico das edificações

2.1.2.1 O sistema de fechamento das edificações

Os sistemas de vedação, tanto vertical quanto horizontal, constituem a envoltória da edificação, que influencia diretamente o desempenho térmico das habitações. A vedação vertical é constituída pelas paredes, janelas e portas, enquanto a horizontal é composta por pisos, compartimentações entre andares e pela cobertura, laje ou forro.

A envoltória é formada por fechamentos opacos e transparentes e cada um destes gera uma resposta termicamente diferente. Num fechamento opaco, a transmissão do calor ocorre da superfície mais quente para a mais fria através de condução ou convecção. Já em fechamentos transparentes, o calor é transmitido através da radiação, além da condução e convecção (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Os fechamentos transparentes são uns dos sistemas que mais demandam atenção, devido à transmissão do calor por radiação (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Comumente, este fechamento é formado por vidro simples— que é muito transparente e tem alta absorvidade gerando uma espécie de efeito estufa no ambiente interno (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Apesar de existirem outros tipos de vidros mais eficientes no mercado, o vidro simples é o mais utilizado por seu baixo custo.

As propriedades térmicas dos elementos do sistema de fechamento são de grande importância para o dimensionamento do projeto. A condutividade, a resistência e a capacidade térmica, o fator solar e o atraso térmico variam de acordo com o tipo de fechamento. A escolha dos materiais utilizados com base nesses parâmetros será fundamental para estabelecer um desempenho térmico adequado aos ocupantes.

2.1.2.2 Condutividade Térmica

A condutividade térmica descreve o transporte de energia na forma de calor através de um corpo, como resultado de um gradiente de temperatura (ABNT, 2005). É uma propriedade específica do material que o caracteriza quanto à facilidade em transportar calor por condução (Figura 3) (NETZSCH, 2016). A condutividade térmica em um sistema unidirecional estacionário pode ser dada por:

$$\lambda = \frac{q}{A} \times \frac{e}{\Delta T} \quad (1)$$

Onde:

λ = Condutividade térmica do material (W/m.K);

q/A = Fluxo de calor (W.m⁻²);

e = Espessura do material (m);

ΔT = Variação de temperatura (K);

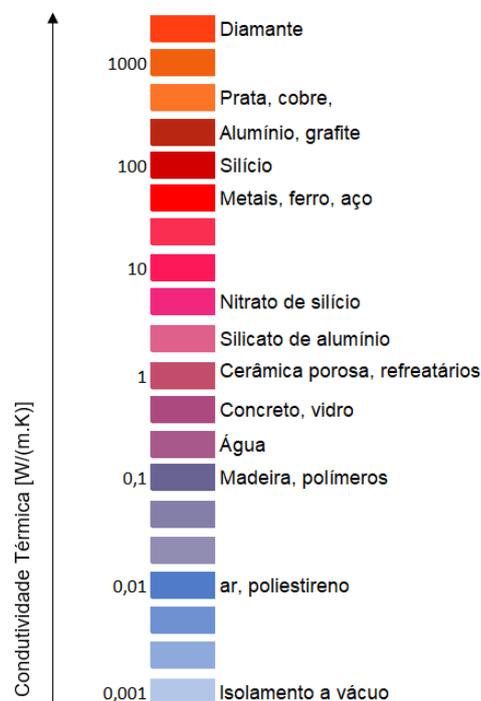


Figura 3: Exemplo da condutividade térmica para vários materiais. Fonte: Adaptado de NETZSCH (2016).

2.1.2.3 Resistência Térmica e Transmitância Térmica

A propriedade em resistir à passagem do calor de um material é chamada de resistência térmica. É uma propriedade que está atrelada à espessura do material, ou seja, quanto mais espesso, maior será a resistência deste material à passagem do calor (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Onde:

R = Resistência térmica ($\text{m}^2 \text{K/W}$);

e = Espessura do material (m);

λ = Condutividade térmica do material (W/mK).

A transmitância térmica é inversamente proporcional à resistência térmica, como pode ser visto na equação abaixo. Por meio desta variável é possível avaliar o comportamento de um fechamento quanto à transmissão de calor.

$$U = \frac{1}{R} \quad (3)$$

Onde:

U = Transmitância térmica ($\text{W/m}^2\text{K}$)

R = Resistência térmica.

2.1.2.4 Capacidade Térmica e Inércia Térmica

A propensão de reter calor de um determinado material é definida pela capacidade térmica. Esta propriedade avalia quanto calor é necessário para o material variar de um grau de temperatura seus componentes por unidade de área. Além disso, se

associa com a avaliação da contribuição do material em termos de inércia térmica. (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014)

$$C = \sum_{i=1}^n e_i \times c_i \times \rho_i \quad (4)$$

Onde:

C = Capacidade térmica (kJ/m².K);

e_i = Espessura do material na direção transversal ao fluxo (m);

c_i = Calor específico do elemento (kJ/kgK);

ρ_i = Densidade do elemento (kg/m³).

A inércia térmica pode ser definida como a capacidade de um material armazenar o calor e de o liberar pouco a pouco. Essa propriedade depende da capacidade térmica dos elementos do sistema de fechamento. Elementos de elevada inércia térmica proporcionam a diminuição da amplitude térmica – diferença entre a temperatura máxima e mínima registradas num período de tempo – e atraso térmico no fluxo de calor (PROJETEEEE, 2013). No entanto, essa estratégia deve ser utilizada com critério para evitar ganhos excessivos de calor e provocar elevado desconforto térmico no verão (PROJETEEEE, 2013).

2.1.2.5 Fator Solar

A relação entre a quantidade de energia solar transmitida por uma superfície e a quantidade incidente nela pode ser entendida como fator solar. Cada superfície terá um valor diferente para esta razão, em função do tamanho e ângulo de inclinação de incidência da energia solar.

$$F = \tau + (U \times \alpha \times R_{se}) \quad (5)$$

Onde:

F = Fator solar;

τ = Transmissividade do material de fechamento;

U = Transmitância térmica do material de fechamento (W/m²K);

α = Absortividade da superfície externa do fechamento [valor tabelado];

R_{se} = Resistência superficial externa (m²K/W);

É de grande importância realizar uma análise crítica em relação ao tipo de fechamento. Quanto menor o fator solar, melhor será controlada a entrada de calor, no entanto, é necessário ponderar a entrada de iluminação para fechamentos transparentes, para que esta não seja reduzida na mesma proporção do calor (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

2.1.2.6 Atraso Térmico

Segundo a norma NBR 15220 (ABNT, 2005) o atraso térmico é o “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”. O atraso térmico pode ser definido pela equação a seguir:

$$\varphi = 0,7284\sqrt{R \times C} \quad (6)$$

Onde:

φ = Atraso térmico (h);

R = Resistência térmica (m² K/W);

C = Capacidade térmica (kJ/m².K).

Para fins comparativos, a Tabela 1 traz os valores das propriedades termofísicas de alguns elementos construtivos.

Tabela 1: Propriedades termofísicas de alguns elementos construtivos.

Material	Resistência Térmica (m².K/W)	Transmitância Térmica (W/m².K)	Atraso Térmico (h)	Capacidade Térmica (kJ/m².K)
Bloco Cerâmico 9x14x24 (cm)	0,43	2,35	2,3	56
Argamassa interna 2,5 cm / Tijolo cerâmico 9x14x24 (cm) / Argamassa externa 2,5 cm	0,42	2,39	3,3	152
Argamassa interna 2,5 cm / Tijolo cerâmico 9x14x24 (cm) / Câmara de ar 4 cm / Tijolo cerâmico 9x14x24 (cm) / Argamassa externa 2,5 cm	0,79	1,27	6,0	195
Bloco de concreto 9x19x39 (cm)	0,33	3,0	5,4	158,3
Argamassa interna 2,5 cm / Bloco de concreto 9x19x39 (cm) / Argamassa externa 2,5 cm	0,37	2,68	4,2	245
Argamassa interna 2,5 cm / Bloco de concreto 9x19x39 (cm) / Câmara de ar 4 cm / Bloco de concreto 9x19x39 (cm) / Argamassa externa 2,5 cm	0,71	1,40	8,8	383
Concreto Maciço 10 cm	0,23	4,40	2,4	240
Laje pré-moldada cerâmica 12 cm / Câmara de ar 5 cm / Telha cerâmica 1 cm	0,56	1,77	5,0	185

Fonte: Adaptado de PROJETEEE (2013)

2.1.3 Zonas Bioclimáticas do Brasil

O Brasil possui um clima bastante variado devido à sua grande extensão territorial. Assim, buscando uma melhor representatividade das regiões, há um zoneamento bioclimático (Figura 4) que divide o país em oito zonas relativamente homogêneas quanto aos tipos de clima (SIQUEIRA, AKUTSU, *et al.*, 2005).

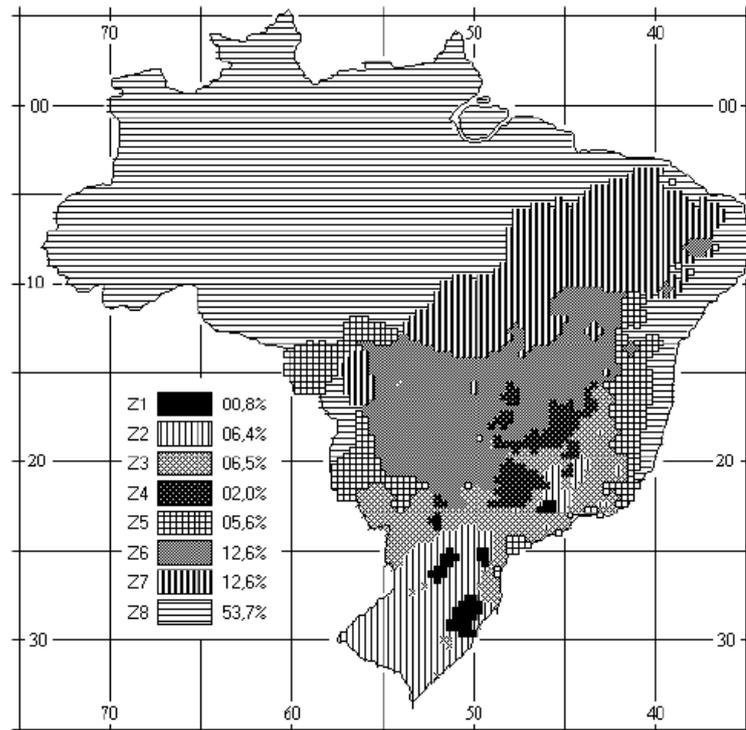


Figura 4: Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

A NBR 15220 (ABNT, 2005) traz, em sua terceira parte, as diretrizes construtivas para cada zona bioclimática (Tabela 2). Os parâmetros considerados são: tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, fechamentos externos (tipo de parede e cobertura) e estratégias de condicionamento térmico passivo (ABNT, 2005).

Tabela 2: Diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática.

Zonas	Diretrizes Construtivas
Zona 1	Aberturas médias para ventilação, sombreamento das aberturas para permitir entrada de luz solar durante o período frio, paredes externas e cobertura leves. E como estratégia de condicionamento térmico passivo recomenda-se fechamentos internos pesados. Além disso, aquecimento solar da edificação, visto que o condicionamento passivo será insuficiente no inverno.
Zona 2	Possui as mesmas características construtivas da zona 1, porém no verão demanda ventilação cruzada para condicionamento térmico passivo.
Zona 3	Possui as mesmas características construtivas da zona 2. No entanto, recomenda-se paredes leves e refletoras e cobertura leve isolada.
Zona 4	Aberturas médias para ventilação, paredes pesadas e coberturas leves e isoladas. Para o condicionamento passivo resfriamento evaporativo, ventilação seletiva e fechamentos internos pesados. Além de aquecimento solar da edificação no inverno.
Zona 5	Aberturas médias para ventilação com sombreamento, paredes externas leves e refletoras, cobertura leve e isolada termicamente. Como condicionamento passivo uso de ventilação cruzada e fechamentos internos pesados.
Zona 6	Aberturas médias para ventilação com sombreamento. Paredes externas pesadas, cobertura leve e isolada. Como condicionamento passivo o resfriamento evaporativo, ventilação seletiva, e fechamentos internos pesados.

Zonas	Diretrizes Construtivas
Zona 7	Aberturas para ventilação pequenas e sombreadas, paredes externas e cobertura pedadas. Como condicionamento passivo resfriamento evaporativo e ventilação seletiva.
Zona 8	Aberturas para ventilação grandes e sombreadas. Paredes externas e cobertura leves e refletoras e ventilação cruzada permanente. O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes, por isso recomenda-se resfriamento do ambiente.

Fonte: Adaptado de NBR 15220 (ABNT, 2005) e LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA (2014).

Além disso, a NBR 15220 (ABNT, 2005) também traz os valores limites de U – transmitância térmica (W / m^2K); At – Atraso térmico (horas); Fs – Fator solar para superfícies opacas (Tabela 3).

Tabela 3: Valores limites de propriedades termofísicas de acordo com as zonas bioclimáticas.

Zona	Parede			Cobertura		
	U (W/m^2K)	At (h)	Fs	U (W/m^2K)	At (h)	Fs
1	≤ 3	$\leq 4,3$	$\leq 5,0$	$\leq 2,0$	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
2	≤ 3	$\leq 4,3$	$\leq 5,0$	$\leq 2,0$	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
3	$\leq 3,6$	$\leq 4,3$	$\leq 4,0$	$\leq 2,0$	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
4	$\leq 2,2$	$\leq 6,5$	$\leq 3,5$	$\leq 2,0$	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
5	$\leq 3,6$	$\leq 4,3$	$\leq 4,0$	$\leq 2,0$	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
6	$\leq 2,2$	$\geq 6,5$	$\leq 3,5$	$\leq 2,0$	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$
7	$\leq 2,2$	$\geq 6,5$	$\leq 3,5$	$\leq 2,0$	$\leq 6,5$	$\leq 6,5$
8	$\leq 3,6$	$\geq 4,3$	$\leq 4,0$	$\leq 2,3$	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$

Adaptado de KINGSCOTT (2018) e NBR 15220 (ABNT, 2005).

A estratégia construtiva para cada zona bioclimática foi determinada pela definição dos limites das propriedades térmicas dos elementos da envoltória da edificação (paredes e cobertura): fator solar, atraso térmico e condutividade térmica (LAMBERTS, GHISI, *et al.*, 2010).

Já para a avaliação do desempenho térmico de um edifício numa determinada zona é necessário saber como variam a temperatura do ar, umidade relativa do ar, a direção e velocidade do vento e radiação solar, adotando-se os dias típicos de projeto de verão e inverno (SIQUEIRA, AKUTSU, *et al.*, 2005) (ABNT, 2013).

2.2 Qualidade das Habitações no Brasil

A construção civil movimentava fortemente o panorama econômico brasileiro. Em 2016, contava-se com cerca de 127 mil empresas neste setor e uma receita líquida de R\$ 292,8 bilhões de reais (IBGE, 2016). Entretanto, a influência do setor não se restringe apenas à economia. O setor da construção é um dos principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais, desperdício de materiais e geração de resíduos (PAULSEN e SPOSTO, 2013). E isto é provocado, entre outros, pelas técnicas construtivas obsoletas utilizadas, pela informalidade nos projetos e pela falta de fiscalização da execução (CEOTTO, 2008).

Entende-se por qualidade a adequação ao uso de determinado produto ou serviço (ROTHERY, 1993). Ou seja, se este produto ou serviço atende às especificações e exigências de seu determinado fim, pode-se considerar que tem qualidade. Desta forma, quando há necessidade de meios paliativos ou reparos constantes para tornar uma edificação confortável para seus ocupantes, presume-se que a habitação é de baixa qualidade.

O setor da construção é responsável pelo emprego de aproximadamente 7 milhões de pessoas (CBIC, 2018). Entretanto, a maioria dos trabalhadores tem baixa escolaridade e qualificação profissional e grande parte desta mão de obra é informal (IRIART, OLIVEIRA, *et al.*, 2006). A ausência ou ineficiência de controle e fiscalização

está entre uma das principais causas para a baixa produtividade, elevadas perdas e baixa qualidade do produto final (MATTOS, 2010).

Um outro fator que agrava a baixa qualidade das habitações brasileiras é a autoconstrução. Uma pesquisa realizada pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo (CAU/BR) e pelo Instituto de Pesquisa DATAFOLHA, em 2015, mostrou que 85% das reformas e construções realizadas pelos entrevistados ocorreram sem o acompanhamento de um profissional especializado (CAU/BR e DATAFOLHA, 2015). Logo, as construções irregulares e de baixa qualidade geram desconforto para seus ocupantes, entre eles o desconforto térmico. Isto pode provocar a redução da produtividade intelectual e física e até danos à saúde (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Outro aspecto da autoconstrução que contribui para a baixa qualidade das edificações brasileiras é decorrente dos problemas de elaboração ou falta de projetos. O projeto é o modelo do objeto que será construído, logo, a inconsistência ou inexistência da representação pode comprometer a execução adequada da obra (MAYR, 2000).

Assim, faz-se necessário o acompanhamento adequado durante todas as fases do desenvolvimento de um empreendimento por profissionais especializados para assegurar um produto final com melhor qualidade e desempenho (ROMANO, 2003).

2.3 Normas e Certificações

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é responsável pela elaboração das Normas Técnicas, suas revisões, e, além disso, contribui para a implementação de políticas públicas para o desenvolvimento do mercado e para a defesa e segurança dos consumidores (ABNT, 2014).

A ABNT é reconhecida como o Foro Nacional de Normalização no Brasil pela Resolução CONMETRO (Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) Nº 12, de 24 de agosto de 1992 (INMETRO, 1992). As normas técnicas elaboradas pela ABNT não são normais jurídicas ou legais, pois cabe

interpretação e aplicação apenas pelos técnicos qualificados, enquanto que uma norma legal vincula a todas as pessoas (FREITAS, 2012).

No entanto, o Código de Defesa do Consumidor (1990) explicita no Artigo 39 que é vedado ao fornecedor de produto ou de serviço (BRASIL, 1990)

VIII – colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro);

Portanto, apesar de não serem leis, as normas técnicas elaboradas pela ABNT são obrigatórias por força da LEI Nº 8.078, de 11 de setembro de 1990 (BRASIL, 1990).

As principais normas que orientam sobre o desempenho térmico das edificações no Brasil são NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013). A NBR 15220 (ABNT, 2005), intitulada “Desempenho térmico de edificações”, define as variáveis que devem ser consideradas para obter melhorias no desempenho térmico das edificações. A norma é dividida em 5 seções e, entre elas, estabelece recomendações construtivas de acordo com as Zonas Bioclimáticas Brasileiras e, também, informações sobre as grandezas dos elementos e componentes da edificação que influenciam no comportamento térmico da habitação.

A NBR 15575 “Edificações Habitacionais – Desempenho” (2013) traz os requisitos mínimos de desempenho, segurança e vida útil para os sistemas das habitações. A norma é dividida em 6 partes (

Tabela 4) e é organizada por aspectos de desempenho, como segurança estrutural, segurança contra incêndio, durabilidade, desempenho térmico e acústico (SOUZA, KERN e TUTIKIAN, 2018).

Tabela 4: Seções da NBR 15575

Parte	Nome
1	Requisitos Gerais
2	Requisitos para os sistemas estruturais
3	Requisitos para os sistemas de pisos
4	Sistemas de vedações verticais internas e externas
5	Requisitos para sistemas de coberturas
6	Sistemas Hidrossanitários

Adaptado: (ABNT, 2013).

É importante ressaltar que a NBR 15575 (ABNT, 2013) é uma norma complementar, ou seja, deve ser usada simultaneamente com as normas prescritivas para se obter soluções tecnicamente adequadas.

A preocupação com o desempenho térmico das habitações é recente no Brasil e tem ganhado espaço nos últimos anos devido à busca de soluções arquitetônicas que sejam energeticamente eficientes. A NBR 15575 (ABNT, 2013) traz três procedimentos para a avaliação do desempenho térmico: simplificado, medição e simulação:

- Simplificado (normativo): atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e cobertura. Para os casos em que o resultado for insatisfatório, deve-se avaliar o desempenho térmico como um todo pelo método da simulação computacional;
- Medição (informativo): verifica o atendimento aos requisitos estabelecidos por meio de medições *in loco*. Tem caráter apenas informativo;
- Simulação computacional: para a avaliação por meio da simulação computacional requisitos como localização geográfica, zona bioclimática, geometria do modelo, composição dos materiais, entre outros devem ser

considerados. A norma recomenda a utilização do programa *EnergyPlus*. Outros podem ser usados, desde que sejam capazes de reproduzir os efeitos de inércia térmica e sejam validados pela ASHRAE Standart 140.

O processo simplificado, apesar de ser rápido e de fácil utilização, traz inúmeras incertezas agregadas ao resultado por avaliar apenas os dados de vedação e cobertura (SORGATO, MELO, *et al.*, 2014). Já o método de simulação demanda conhecimento de softwares de simulação energética, restringindo o número de profissionais capacitados para a utilização. Além disso, a simulação computacional depende diretamente da configuração dos dias típicos de verão e inverno. No entanto, falta de atualização das informações sobre os dias típicos influencia os resultados, podendo viabilizar ou não a aprovação de um sistema construtivo quanto ao desempenho térmico (SORGATO, MELO, *et al.*, 2014).

Além das normas, que definem critérios mínimos que devem ser atingidos por quaisquer edificações, existem também os selos de certificação ambiental. Esses selos são processos opcionais que certificam os empreendimentos quanto à sustentabilidade e qualidade da habitação. Cada certificação tem seus próprios parâmetros e alguns exemplos são: Selo PROCEL Edificações, Selo Casa Azul e Certificação LEED.

2.3.1 Selo PROCEL Edificações

O PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) foi criado em 1985 para promover o uso eficiente da energia elétrica nas edificações (PROCEL, 2006). E o Selo PROCEL Edificações, criado em 2014, objetiva identificar edificações que apresentam as melhores classificações de eficiência energética. Para a obtenção do selo, é necessário que a edificação seja concebida de forma eficiente desde o projeto. São avaliados quesitos como envoltória, iluminação, condicionamento de ar e sistema aquecimento de água (PROCEL, 2015);

2.3.2 Selo Casa Azul

É uma classificação socioambiental dos projetos habitacionais financiados pela Caixa, que busca reconhecer projetos que adotam soluções eficientes na construção, uso e manutenção dos edifícios. São levados em consideração 6 categorias de avaliação e, para obtenção do selo, o empreendimento deve obedecer a 19 critérios obrigatórios, que influenciam nos 3 níveis de classificação (Figura 5) (CAIXA, 2010).



Figura 5: Categorias de avaliação e níveis de certificação do “Selo Casa Azul”.

Fonte: Adaptado de CAIXA (2010).

2.3.3 Certificação LEED

A certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) foi criada em 1993 pelo *United States Green Building Council*. É um sistema internacional de certificação ambiental para edificações, que busca promover melhores práticas nas construções, tornar o setor mais sustentável e mudar a mentalidade do mercado.

A certificação é dividida em 4 níveis de acordo com a pontuação (Figura 6), que avaliam aspectos como eficiência do uso de energia e da água, inovação nos processos construtivos, materiais e recursos utilizados, entre outros. (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2014). O nível mais alto da classificação é o *Platinum* e para alcançá-lo é necessário obter no mínimo 80 dos 110 pontos totais.



Figura 6: Pontuação necessária para obtenção de cada nível da Certificação LEED. Fonte: Adaptado de Green Building Council Brasil (2014).

Em 2014, o Estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão), localizado em Belo Horizonte, recebeu a certificação LEED *Platinum* (ESTÁDIO MINEIRÃO, 2014). Após a reforma, o estádio apresentou uma economia de 43% de energia e de 76% do uso de água potável, entre outras práticas consideradas pela organização (GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, 2014).

Apesar de sozinhos não garantirem edificações mais eficientes, as normas aliadas às certificações provocam alterações na maneira de projetar e são um passo importante na conscientização dos projetistas e da própria sociedade (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

2.4 Stakeholders da construção civil Brasileira

A palavra *Stakeholder* vem do inglês e significa parte interessada, ou seja, pessoa ou público que tem interesse em um determinado negócio. Assim, para o processo construtivo, tem-se definido como stakeholders o consumidor, o projetista, o incorporador e o poder público.

É certo que as preferências do consumidor modelam o mercado e influenciam na forma de construir, uma vez que incorporadoras, construtoras e projetistas buscam atender as demandas dos usuários. A pesquisa “Inovação na Construção Civil no Brasil sob a Ótica do Consumidor” (CBIC, 2014), mostrou que 82% dos entrevistados aprovam as inovações nos imóveis, e esse valor chega a 90% nas faixas mais altas de renda. Ou seja, uma maior disposição de gasto com inovações está associada ao fator renda. Mas, ainda assim, a maioria dos consumidores optariam por soluções inovadoras nas edificações (Figura 7).

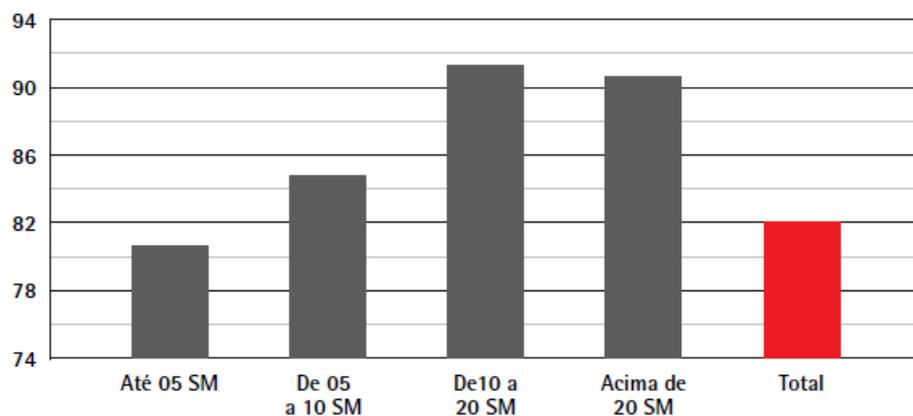


Figura 7: Aprovação das inovações (%) de acordo com a faixa de renda. (SM = Salários Mínimos) Fonte: (CBIC, 2014).

A pesquisa expõe claramente que os consumidores avaliam de forma positiva as inovações tecnológicas nos imóveis, principalmente diante racionalização de energia. (Tabela 5). Isto mostra a necessidade de se projetar habitações energeticamente mais eficientes, visto que os aparelhos que mais consomem energia são aqueles voltados para o resfriamento e aquecimento da edificação (EPE, 2018).

Tabela 5: Item de inovação tecnológica mais importante, por faixa de renda (SM = Salário Mínimo) (%)

Inovações	Até 5 SM	De 5 a 10 SM	De 10 a 20SM	> 20SM	Total
Racionalização de energia	21,8	20,6	18,5	19,1	21,4
Racionalização de água	12,7	11,2	8,2	5,9	12,1
Teto solar p/ geração de energia	6,8	15,2	13,9	15	8,5
Conforto térmico	5,9	7	4,8	7,7	6
Acessibilidade	5	2,4	3	4,1	4,5
Isolamento Acústico	4,1	3,6	3,6	3,6	4
Ventilação – Desenho Arquitetônico	3,2	2,1	4,2	5	3,1

Fonte: Adaptado de CBIC (2014)

Sob o aspecto do desempenho térmico, os profissionais do setor construtivo e projetistas tem pouco conhecimento sobre estratégias de adaptação climática e eficiência energética. As disciplinas de conforto e desempenho térmico e eficiência energética ainda são muito teóricas e opcionais na maioria das universidades brasileiras (BODACH e HAMHABER, 2010). Quando essas disciplinas existem, são normalmente exclusivas para o curso de arquitetura e tratadas como medidas facultativas ao projeto, raramente incorporadas num processo holístico de concepção.

Arelado ao pequeno número de projetistas com conhecimento sobre estratégias para garantir um bom desempenho térmico das edificações está o maior investimento inicial para se construir edifícios mais sustentáveis. De um lado a maioria das construtoras e incorporadoras buscam o maior lucro possível de seus investimentos, refutando a ideia de ter um gasto inicial maior para investir em inovações (GAMA e FALCÃO, 2015). De outro, para a parcela mais pobre da população o capital inicial para a construção de suas habitações é muito limitado. Assim, ainda que o retorno financeiro seja compensado em curto prazo, devido à redução do consumo e custo de

energia, ainda é comum no Brasil priorizar um menor investimento inicial a adotar soluções mais sustentáveis (BODACH e HAMHABER, 2010).

O poder público tem vivenciado ano após ano redução dos recursos naturais, como reservas de água e, em contrapartida, o crescimento na demanda por habitação. Para a solução de ambos, o Governo Federal, com a criação das políticas de financiamento de habitações, deve criar incentivos para direcionar a construção civil para um caminho mais sustentável (GAMA e FALCÃO, 2015). Além disso, cabe às prefeituras incluir nos seus Planos Diretores informações sobre o processo construtivo adequado para a zona bioclimática da região e garantir que o desempenho térmico faça parte a análise dos projetos arquitetônicos.

2.5 Consumo de energia no Brasil

O consumo de energia elétrica está ligado diretamente ao aumento populacional e aos seus efeitos sociais e econômicos (EPE, 2017). De acordo com a “Projeção de Demanda de Energia Elétrica” (2017) elaborada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, a projeção populacional brasileira para 2026 está próxima de 200 milhões de habitantes. Já para o consumo de energia elétrica, a previsão é de 744 TWh para o mesmo ano, o que corresponde a um aumento de 44% quando comparado com o ano da pesquisa (EPE, 2017).

Ainda segundo a EPE (2018) o consumo de energia elétrica no Brasil em 2018 foi de 472.242 GWh. Para fins de comparação, em 1998 o consumo foi de 284.522 GWh, ou seja, houve um crescimento de 66% nos últimos vinte anos (EPE, 2018).

Mesmo que a maior parte da geração de energia elétrica no Brasil seja proveniente de fontes renováveis, como mostra a Figura 8 (EPE, 2017), as mudanças climáticas recentes reduziram os níveis dos reservatórios, levando ao menor rendimento das hidrelétricas (ESTADO DE MINAS, 2017). Neste contexto, o Governo precisa lançar mão das centrais termelétricas, chamadas de usina reserva, que liberam grandes quantidades de CO₂ no ambiente.

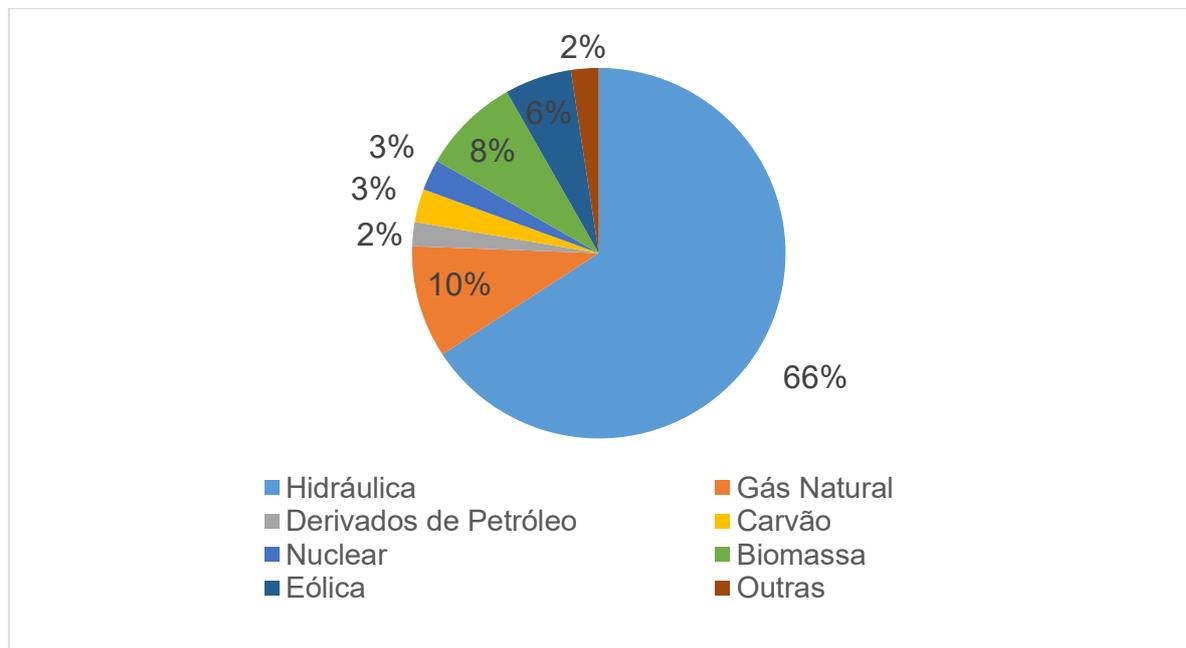


Figura 8: Geração de energia elétrica por fonte no Brasil (%) – Participação em 2016. (EPE, 2017).

Sendo o segmento residencial responsável por aproximadamente um terço do consumo energético no Brasil (Figura 9), faz-se necessário adotar medidas para a redução do consumo deste. Uma das contribuições para a diminuição do consumo é projetar e executar edificações naturalmente mais eficientes sob vista do desempenho térmico (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). Isto reduz largamente a necessidade de equipamentos para aquecimento e resfriamento, os quais são responsáveis por grande parte do gasto de energia em uma residência (LAMBERTS, GHISI, *et al.*, 2010).

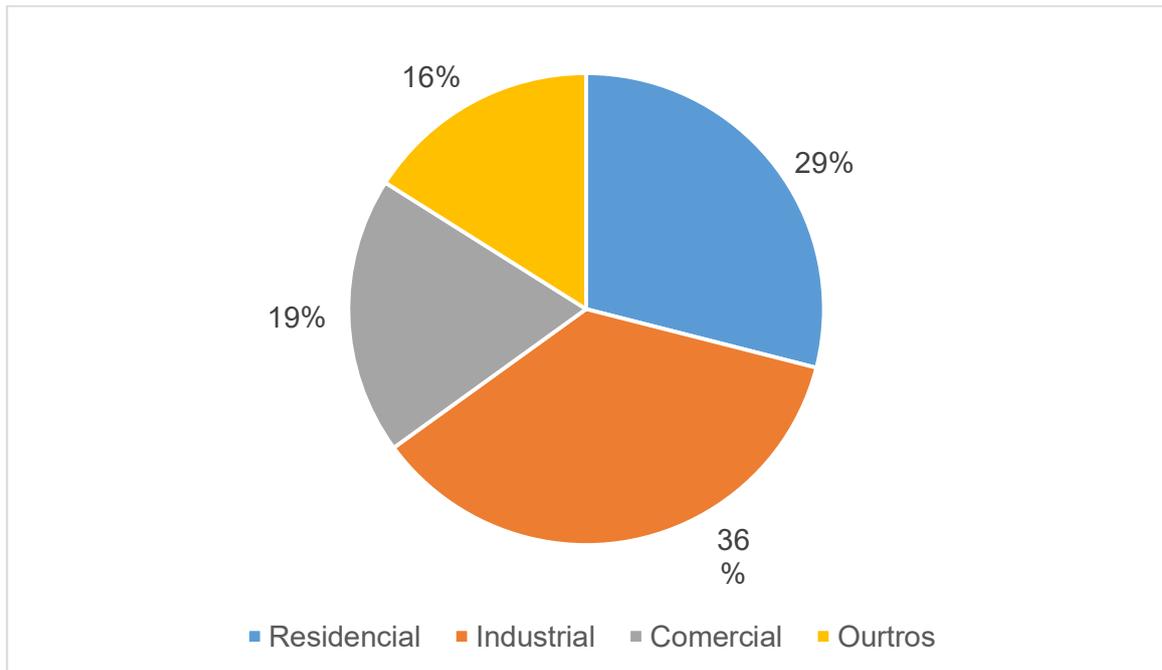


Figura 9: Consumo e Energia Elétrica por Segmento (%) (EPE, 2018).

2.6 Retrofit

O termo *retrofit* pode ser definido como o processo de revitalização de edifícios. Consiste na readequação e modernização de edificações com o objetivo de preservar o ambiente construído, aumentar sua vida útil, promover melhorias para seus ocupantes, além de reduzir o impacto no meio ambiente.

Este processo constitui-se em ações realizadas para beneficiar ou recuperar um empreendimento, objetivando a melhoria do desempenho e da qualidade a um custo operacional viável (NICOLETTI, 2009). O *retrofit* possui inúmeras particularidades quando comparado a uma obra comum, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Diferenças entre obras comuns e *retrofit*.

Atividade	Obra Comum	<i>Retrofit</i>
Demolição	Ocorre apenas quando há estruturas no terreno que precisam ser removidas.	Pode acontecer. Mas quanto menos demolição, mais viável será o custo da intervenção.

Atividade	Obra Comum	Retrofit
Terraplanagem	Necessária para limpar e nivelar o terreno antes de iniciar a construção	Raramente acontece.
Fundações e Estrutura	São executadas de acordo com projeto de fundações e estrutural.	Pode ser necessário. Mas busca-se evitar devido ao custo da intervenção.
Fechamentos e Acabamentos	Variável	Variável, mas buscando o melhor desempenho para a edificação.
Instalações Prediais	São executadas de acordo com respectivos projetos para garantir o pleno funcionamento do edifício.	A modernização das instalações é fundamental para adaptar a construção às novas exigências dos usuários e normas técnicas. Melhora, também, o desempenho do edifício.
Fachada	Variável.	É uma das intervenções mais realizadas, tanto pelo benefício estético quanto pelo ganho em desempenho térmico. Pode prever a troca de revestimento e substituição das esquadrias, por exemplo.
Mão de Obra	Quantidade e grau de especialização variável.	Menos numerosa. Trabalhadores devem ser mais especializados.

Fonte: Adaptado de FGV (2017) e REVISTA TÉCHNE (2011).

São alguns exemplos de *retrofit*: telhado e fachadas verdes, projetos de paisagismo focados em baixo consumo de água, modernização dos sistemas prediais (elétrico e hidrossanitário), modernização do sistema de ar condicionado, entre outros.

De acordo com a Fundação Getúlio Vargas (2017) a economia de energia após um *retrofit*, dependendo do tipo de empreendimento, pode variar entre 18% a 39%. Isso mostra o quanto esta prática pode impactar a redução do consumo de energia nos mais variados setores e, assim, garantir edifícios mais sustentáveis. Além disso, o investimento no *retrofit* foca nas novas demandas de uso dos usuários e melhora as características estéticas e o desempenho dos sistemas, agregando, também, maior valor de mercado à edificação (TÉCHNE, 2016).

3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram analisados 12 artigos e publicações (Tabela 7), os quais serviram de embasamento teórico no estudo sobre os principais desafios encontrados para se projetar e construir edificações termicamente eficientes

Foram selecionados artigos publicados em revistas de língua inglesa, devido a rigorosa seleção destas, renome, impacto na comunidade acadêmica e peso científico. E, também, foram escolhidos preferencialmente trabalhos realizados na última década sobre o desempenho térmico no Brasil. Algumas publicações não específicas do Brasil foram analisadas para fins comparativos.

Tabela 7 - Artigos utilizados para avaliar os desafios do desempenho térmico nas edificações do Brasil.

Autor	Ano	Título	Revista
Huang et al.	2018	<i>Post-evaluation of energy consumption of the green retrofit building</i>	<i>Energy Procedia</i>
El-Darwish e Gomaa	2017	<i>Retrofitting strategy for building envelopes to achieve efficiency</i>	<i>Alexandria Engineering Journal</i>
Felix e Elsamahy	2017	<i>The efficiency of using different outer wall construction materials to achieve thermal comfort in various climatic zones</i>	<i>Energy Procedia</i>
Oliveira, Souza e Silva	2017	<i>Issues to be improved on the Thermal Performance Standards for Sustainable Buildings consolidation: an overview of Brazil</i>	<i>Energy procedia</i>
Moreno, Morais e Souza	2016	<i>Thermal Performance of Social Housing – A study based on Brazilian Regulations</i>	<i>Energy Procedia</i>
Wilkinson et al.	2016	<i>Evaluating the thermal performance of retrofitted lightweight green roofs and walls in Sydney and Rio de Janeiro</i>	<i>Procedia Engeneering</i>

Autor	Ano	Título	Revista
Oliveira et al.	2015	<i>Concrete walls thermal performance analysis by Brazilian Standards</i>	<i>Energy Procedia</i>
Triana, Lamberts e Sassi	2015	<i>Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance.</i>	<i>Energy Policy</i>
Paulsen e Sposto	2013	<i>A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "MY HOUSE MY LIFE".</i>	<i>Energy and Buildings</i>
Pacheco, Ordóñez e Martínez	2012	<i>Energy efficient design of building: A review</i>	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
Bodach e Hamhaber	2010	<i>Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil</i>	<i>Energy Policy</i>
Yilmaz	2007	<i>Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot-dry climate</i>	<i>Energy and Buildings</i>

4 RESULTADOS

4.1 Principais desafios citados em artigos de relevância

A Tabela 8, a seguir, apresenta os resultados sobre as principais barreiras mencionadas por cada autor para se alcançar um bom desempenho térmico nas edificações brasileiras.

Tabela 8: Análise dos principais desafios citados nos artigos para se alcançar um bom desempenho térmico nas edificações

Desafio	Ref.	Discussão
Normas	(OLIVEIRA, SOUZA e SILVA, 2017)	Segundo o estudo, as normas NBR 15220 e NBR 15575 apresentam discrepâncias entre alguns valores sobre as características do sistema de fechamento. Isto dificulta que as normas sejam seguidas pelos projetistas e construtores.
	(OLIVEIRA, SOUZA, <i>et al.</i> , 2015)	Os autores salientam a necessidade de revisão de ambas as normas, pois a NBR 15220 apresenta valores mínimos insuficientes para adequado desempenho térmico em algumas zonas bioclimáticas e a NBR 15575 precisa de adequação sobre as orientações no método de simulação computacional.
	(TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2015)	
Projeto	(FELIX e ELSAMAHY, 2017)	É necessário especificar detalhadamente os materiais que compõem o sistema de fechamento, visto que é o elemento que regula o fluxo de calor. Deve-se levar em consideração principalmente dois quesitos: as propriedades termofísicas dos elementos e a zona bioclimática em que se localiza a edificação.
	(YILMAZ, 2007)	

Desafio	Ref.	Discussão
	(MORENO, MORAIS e SOUZA, 2016)	De acordo com os autores, as habitações brasileiras, principalmente aquelas construídas por programas de financiamento sociais, não foram projetadas de acordo com a zona bioclimática, nem com materiais que garantiriam maior conforto térmico para os moradores.
	(PAULSEN e SPOSTO, 2013)	Necessidade de especificar materiais com menor energia incorporada, com maior qualidade e durabilidade. Deve-se levar em consideração a aplicabilidade diante dos fatores: exposição da edificação, clima, temperatura, umidade, entre outros.
	(TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2015)	Na maioria das vezes os projetos não são concebidos de acordo com a zona bioclimática local. Isto ocorre, pois, as técnicas construtivas e design das edificações seguem, normalmente, o mesmo padrão em todo o país.
	(PACHECO, ORDÓÑEZ e MARTÍNEZ, 2012)	Normalmente não se considera a envoltória como um sistema regulador de calor, nem as propriedades termodinâmicas durante a elaboração do projeto. Raramente são considerados o formato e a orientação do edifício para se garantir conforto térmico aos usuários.
Fiscalização	(BODACH e HAMHABER, 2010)	Os autores salientam que os desafios vão além da uniformização e atualização das normas, é preciso garantir fiscalização e cumprimento das mesmas, já que a informalidade chega a 60% no setor da construção brasileira. Assim, a falta de fiscalização não incentiva a busca por conhecimento e cumprimento das normas por parte dos profissionais.

Desafio	Ref.	Discussão
Capacitação e Conscientização	(BODACH e HAMHABER, 2010)	Normalmente, o interesse das construtoras se resume à fase de construção, principalmente para habitações sociais. Assim, o consumo e, por consequência, os custos de energia elétrica são de responsabilidade do morador.
		Os projetistas, assim como os profissionais da construção, têm pouco ou nenhum conhecimento sobre desempenho térmico ou eficiência energética.
Investimento	(TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2015)	Os autores avaliaram que o orçamento para a construção é limitado para a maioria da população. Isto resulta em habitações de baixa qualidade e baixo desempenho térmico, pois, principalmente para a classe de baixa renda, prioriza-se os custos a curto prazo, sem considerar os benefícios a longo prazo de maiores investimentos.
	(BODACH e HAMHABER, 2010)	
	(PACHECO, ORDÓÑEZ e MARTÍNEZ, 2012)	O estudo mostra que geralmente, preocupa-se em intervir no edifício para melhorar o desempenho térmico e a eficiência energética durante a fase de uso. No entanto, quanto mais tarde acontece a implementação de soluções, mais caro é o processo.
	(BODACH e HAMHABER, 2010)	Para instituições de financiamento a política principal é construir o maior número de edificações com o menor investimento, visando resolver apenas o problema do déficit de habitações.

Desafio	Ref.	Discussão
<i>Retrofit</i>	(HUANG, GE e SHEN, 2018)	As estratégias adotadas precisam estar de acordo com a zona climática local. Além disso, o autor salienta que os <i>retrofits</i> são menos eficazes do que as intervenções realizadas ainda durante a fase de projeto.
	(EL-DARWISH e GOMAA, 2017)	Encontrar estratégias viáveis que se aplicam aos edifícios já construídos para melhorar o desempenho térmico, como barreiras térmicas, insolação e sombreamento.
	(WILKINSON, FEITOSA, <i>et al.</i> , 2017)	Segundo o estudo, estratégias como telhados e paredes verdes podem não ser soluções sempre viáveis devido à região em que o edifício está localizado, área útil para implementação da intervenção, capacidade de suporte da estrutura e, em alguns casos, o retorno não compensar o valor investido. Os autores avaliaram que o melhor desempenho desta estratégia acontece em regiões de clima quente e seco. Portanto, as diferenças entre o tipo de construção, clima e local do edifício são fundamentais para determinar as intervenções de <i>retrofit</i> .

4.2 Discussão dos Resultados

De acordo com a análise e estudo dos artigos, os principais desafios para se obter um bom desempenho térmico numa habitação no Brasil são: deficiência de normas e fiscalização, baixa capacitação dos profissionais da área, maior investimento inicial e dificuldade para realizar intervenções futuras.

Segundo Triana, Lamberts e Sassi (2015), as normas brasileiras apresentaram falhas quanto aos valores mínimos para assegurar conforto térmico aos usuários e isso afeta diretamente o consumo de energia elétrica, visto que serão necessários

equipamentos elétricos para melhorar as condições do ambiente, o bem-estar e a produtividade dos ocupantes.

Estas falhas podem ser explicadas pela falta de atualização das normas vigentes. Ambas as normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013) não sofreram atualizações desde o ano em que foram publicadas. Em comparação, no Reino Unido, por exemplo, a norma que visa ao maior desempenho energético e foca na performance do sistema de fechamento da edificação, *The Building Regulation – Part L – Conservation of Fuel and Power* (2010), sofreu alterações nos anos de 1976, 1985, 1990, 1995, 2002, 2006 e 2013. Além disso, emendas também são adicionadas quase anualmente, a última em 2018 (KINGSCOTT, 2018). A revisão contínua aprimora as técnicas já utilizadas, atualiza os valores limites e permite incluir novas abordagens construtivas.

A deficiência nas diretrizes do Brasil implica em inúmeras consequências que contribuem para edificações com baixa qualidade sob o aspecto do desempenho térmico. Diante da dificuldade de seguimento das prescrições, a tendência é que os projetistas não apoiem suas concepções nestas normas. Além da inconsistência, outro fator que intensifica o não cumprimento é o valor das normas – para a obtenção das normas NBR 15220 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013) completas o preço pago seria de R\$1364,70¹ (ABNT CATÁLOGO, 2019). Assim, o custo se apresenta como uma barreira para que os profissionais tenham acesso ao material. Já no Reino Unido, as normas são disponibilizadas gratuitamente no site do governo britânico. O fácil acesso incentiva a utilização e cumprimento das mesmas.

Outro agravante para o baixo desempenho térmico das edificações é a informalidade. O setor da construção civil conta com poucos projetos e construções pensadas de maneira eficiente termicamente e isto é decorrente do grande número de habitações construídas sem o projeto e o acompanhamento de qualquer

¹ Valores informados pela ABNT Catálogo (site oficial da Associação Brasileira de Normas Técnicas) relativos a 02/07/2019.

profissional, as autoconstruções. Ainda hoje persiste a ideia errônea de que engenheiros e arquitetos são profissionais dispensáveis, que só elevam o valor da obra (NOVAES, 2019). Bodach e Hamhaber (2010), em seu estudo, enfatizaram a necessidade de maior fiscalização no setor para garantir o acompanhamento das construções e o cumprimento das normas e diretrizes.

Somado às normas e fiscalização insatisfatórias, os profissionais do setor têm pouca ou nenhuma capacitação na área. Disciplinas sobre conforto térmico e eficiência energética têm pouca inserção nas universidades brasileiras. Normalmente estes conteúdos são opcionais, teóricos e, ainda que os estudantes tenham contato, o conhecimento é raramente aplicado na prática (BODACH e HAMHABER, 2010).

O baixo incentivo na inserção de disciplinas de conforto implica na concepção de projetos inadequados sob o aspecto do desempenho térmico e na repetição do processo construtivo ineficaz já existente. Comumente, durante a etapa de projeto, leva-se em consideração a necessidade de aparelhos para aquecimento e resfriamento do ambiente e, raramente, avalia-se as condições de orientação do edifício, propriedades termofísicas dos materiais e estratégias passivas para garantir o conforto térmico para os ocupantes.

Além disso, durante a etapa de obra, normalmente não é comum a solicitação de informação sobre as propriedades térmicas dos materiais para os fabricantes ou ensaios para avaliação independente destas. Assim, devido à baixa demanda, os fabricantes não são estimulados a pensar em inovações dos materiais ou do processo de construção. Por fim, o setor da construção civil no Brasil ainda é muito artesanal, a maioria dos materiais são preparados *in loco* com pouco ou nenhum controle tecnológico. Todas estas condições influenciam diretamente no desempenho térmico das edificações.

Outro fator que diminui a qualidade do desempenho das habitações brasileiras é a prática de buscar o mínimo investimento possível para a execução do empreendimento. O investimento inicial é reduzido mesmo que na fase de uso o retorno financeiro pudesse ser compensado pela economia de energia elétrica (BODACH e HAMHABER, 2010). Isto pode ser presenciado principalmente nas

habitações sociais, cujo investimento governamental busca gerar o maior número de habitações possível para suprir a demanda habitacional do país (MORENO, MORAIS e SOUZA, 2016). Similarmente, a parcela mais pobre da população tem um orçamento limitado para investir em inovações tecnológicas para maior eficiência energética da edificação (TRIANA, LAMBERTS e SASSI, 2015).

Todas estas condições refletem em edificações com baixo desempenho térmico que podem provocar duas consequências: os usuários convivem com o desconforto térmico e têm sua produtividade e bem-estar comprometidos ou fazem uso de equipamentos de aquecimento e resfriamento para melhorar a sensação de conforto no ambiente. Esta prática eleva as despesas com energia elétrica tanto para o consumidor, quanto em investimentos governamentais para suprir a maior demanda.

É fundamental observar que esses problemas poderiam ser solucionados na etapa de projeto. Pacheco, Ordóñez e Martínez (2012) mostraram, em seu estudo, que quanto mais cedo as intervenções forem estudadas e implementadas, menores serão seus custos. Huang, Ge e Shen (2018) mostraram que a economia de energia em edifícios que já foram projetados energeticamente eficientes é de 30% a 50% maior do que aqueles que passaram por *retrofit*.

Ainda que o retorno seja menos eficiente do que as soluções pensadas durante a concepção do projeto, o processo de *retrofit* apresenta bons resultados para aumento do desempenho térmico. Contudo, é importante mencionar que o *retrofit* adequadamente realizado consiste em intervenções pensadas especificamente para o edifício e região em questão. Ou seja, as soluções não devem ser padronizadas para serem utilizadas da mesma forma em todas as situações. Como apresentado no trabalho de Wilkinson, Feitosa, *et al.* (2017), por exemplo, telhados e paredes verdes dependem da área útil da edificação, tipo de vegetação local e do suporte da estrutura.

Além das falhas relativas ao projeto, as normas brasileiras abordam apenas estratégias para edificações novas. A ausência de orientações para edifícios já construídos é mais uma barreira para o alcance de melhor desempenho térmico das edificações brasileiras.

5 CONCLUSÃO

Um ambiente desconfortável termicamente provoca mal-estar e pode comprometer a produtividade e a saúde de seus ocupantes. Diante disso, para melhorar as condições ambientais das residências, os usuários normalmente recorrem a sistemas de resfriamento e aquecimento. Esses equipamentos, além de causarem o aumento do custo da energia elétrica, não são sustentáveis ambiental e financeiramente.

Por essa razão, percebe-se a importância de se construir edifícios com bom desempenho térmico. Diante do crescente consumo devido à urbanização e das mudanças climáticas que afetam a produção de energia elétrica, é indispensável buscar soluções que promovam o bem-estar da sociedade e sejam energeticamente eficientes.

Dessa forma, o presente trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica das principais barreiras encontradas para se obter um bom desempenho térmico nas edificações brasileiras. Foram realizadas investigações a respeito da qualidade das habitações do Brasil, Zonas Bioclimáticas, Normas e Certificações, *stakeholders*, estratégias para se alcançar o conforto térmico e os fatores que influenciam no desempenho térmico de uma edificação.

De acordo com as investigações iniciais, pode-se inferir que as duas principais variáveis que influenciam no desempenho térmico de um edifício são as propriedades termofísicas dos elementos que compõem a envoltória e concepção do projeto de acordo com o bioclima local.

A partir da análise de artigos publicados em revistas internacionais de alto impacto, observou-se que muitos são os desafios para se alcançar edificações termicamente eficientes. Entre os principais motivos, pode-se citar que a maioria das habitações brasileiras não contam com um projeto que leva em consideração as condições climáticas da região, o tipo de sistema de fechamento e os materiais mais adequados para sua construção. Isto é resultado da inconsistência e falta de atualização das normas – por exemplo, não foi publicada uma revisão da NBR15220

(ABNT, 2005) desde 2005 – pela falta de conhecimento dos projetistas sobre conforto e desempenho térmico e, também, pela falta de fiscalização para o cumprimento das normas.

Além disso, muitas vezes as construções brasileiras são completadas sem projeto ou acompanhamento. A maioria da mão de obra é informal e pouco qualificada, o que compromete a qualidade do produto final. O orçamento limitado de grande parte da população também impede que sejam realizados investimentos em projetos adequados, materiais de qualidade e inovação tecnológica para assegurar edificações termicamente eficientes.

Todos estes fatores resultam no mau desempenho térmico das habitações brasileiras. O governo, com suas habitações de interesse social, ou mesmo a população, ao optar por construir sem o devido desempenho térmico não estão evitando um gasto, estão somente postergando-o. Por isso, é necessário que todo o processo de construção no Brasil seja revisto, desde a concepção dos projetos até a fiscalização para o cumprimento das normas.

Para que os projetos dos edifícios sejam adequados é preciso que os profissionais estejam capacitados sobre os temas de desempenho térmico e eficiência energética e isto cabe às universidades. Além disso, sob responsabilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas, as normas precisam ser atualizadas constantemente e trazer novas abordagens construtivas, tanto para edificações novas quanto para as existentes.

Durante a etapa de construção, é imprescindível que os órgãos responsáveis, como o governo municipal, estadual e federal e conselhos de arquitetura e engenharia fiscalizem as obras para garantir que estas estejam sendo acompanhadas pelos profissionais apropriados. Cabe também a estes órgãos fiscalizar as construtoras para avaliar as condições de projeto e obra.

A implementação de políticas de eficiência energética por parte do governo promoveria empreendimentos sustentáveis e termicamente confortáveis para os usuários. Isso pode ser feito, por exemplo, por meio de financiamentos direcionados, diminuição de impostos para certos tipos de materiais e sistemas, disponibilização

gratuita das normas e fomentação das disciplinas de conforto térmico nas universidades brasileiras.

Finalmente, é preciso criar incentivos para mudar a mentalidade sobre a forma de se projetar e construir no Brasil. Não é suficiente, apenas, que os problemas do déficit habitacional e aumento do consumo de energia sejam solucionados. A população deve enxergar a necessidade da contratação dos profissionais adequados e estes precisam levar em consideração estratégias para se obter maior eficiência energética e conforto nos edifícios brasileiros.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR15220**: Desempenho térmico de edificações. [S.I.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

ABNT CATÁLOGO. **ABNT Catálogo**, 2019. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br>>. Acesso em: 02 Julho 2019.

ABNT, A. B. D. N. T. **NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. [S.I.]. 2013.

ABNT, A. B. D. N. T. Conheça a ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 2014. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/abnt/conheca-a-abnt>>. Acesso em: 21 Abril 2019.

AGÊNCIA BRASIL. Consumo de Energia Elétrica cresce 4,6% em fevereiro. **Agencia Brasil**, 2019. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-03/consumo-de-energia-eletrica-cresce-46-em-fevereiro>>. Acesso em: 17 Junho 2019.

ASHRAE. **Handbook of Fundamentals - American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**. New York, USA. 2005.

BITTENCOURT, L.; CHRISTHINA, C. **Ventilação Natural em Edificações**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2010.

BODACH, S.; HAMHABER, J. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy**, p. 7898-7910, Stembro 2010.

BRASIL. LEI Nº 8.078, DE 11 DE SETEMBRO DE 1990. **Código de Defesa do Consumidor**, Brasília, 11 Setembro 1990.

CAIXA. Selo Casa Azul. **CAIXA**, 2010. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/produtos-servicos/selo-casa-azul/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 22 Abril 2019.

CAU/BR, C. D. A. E. U.; DATAFOLHA. Pesquisa CAU/BR DATAFOLHA. **Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil**, 2015. Disponível em: <<http://www.caubr.gov.br/pesquisa2015/>>. Acesso em: 21 Abril 2019.

CBIC, C. B. D. I. D. C. **A Inovação da Construção Civil no Brasil sob a Ótica do Consumidor**. Instituto SENSUS. [S.l.], p. 40. 2014.

CBIC, C. B. D. I. D. C. Banco de Dados, Novembro 2018. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/emprego/pnad-ibge-arquivos-resultados-brasil>>. Acesso em: 2018.

CEOTTO, L. H. **A construção civil: 1ª parte; 2ª parte; 3ª parte**. 51 a 53. ed. São Paulo: [s.n.], 2008.

CITY OF MELBOURNE. Council House 2. **City of Melbourne**, 2010. Disponível em: <<https://www.melbourne.vic.gov.au/building-and-development/sustainable-building/council-house-2/Pages/council-house-2.aspx>>. Acesso em: 09 Junho 2019.

EL-DARWISH, I.; GOMAA, M. Retrofitting strategy for building envelopes to achieve energy efficiency. **Alexandria Engineering Journal**, p. 579-589, 2017.

EPE, E. D. P. E. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 - Ano base 2016**. Ministério de Minas e Energia. [S.l.], p. 232. 2017.

EPE, E. D. P. E. **Projeção de Demanda de Energia Elétrica - 2017 -2026**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, p. 95. 2017.

EPE, E. D. P. E. Consumo de Energia Elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/consumo-de-energia-el%C3%A9trica>>. Acesso em: 12 Maio 2019.

EPE, E. D. P. E. **Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro**. Ministério de Minas e Energia. [S.l.], p. 43. 2018.

ESTÁDIO MINEIRÃO. Sustentabilidade. **Estádio Mineirão**, 2014. Disponível em: <<http://estadiomineirao.com.br/o-mineirao/imprensa/sustentabilidade/>>. Acesso em: 08 Junho 2019.

ESTADO DE MINAS. Falta de chuvas vai deixar conta de energia até 7% mais cara. **Estado de Minas**, 2017. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2017/09/16/internas_economia,901046/conta-de-luz-mais-cara-com-estiagem.shtml>. Acesso em: 15 Abril 2019.

FELIX, M.; ELSAMAHY, E. The Efficiency of Using Different Outer Walls Construction Materials to Achieve Thermal Comfort in Varios Climatic Zones. **Energy Procedia**, p. 321-331, 2017.

FGV, C. D. S. D. F. G. V. **Edificações Sustentáveis e Eficiência Energética**. Fundação Getúlio Vargas. [S.l.], p. 52. 2017.

FREITAS, R. M. D. O princípio da legalidade aplicado às normas ABNT. **JUS.COM.BR**, 2012. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/23337/o-principio-da-legalidade-aplicado-as-normas-abnt>>. Acesso em: 08 Junho 2019.

GAMA, P. J. M.; FALCÃO, D. F. **Stakeholders e as Medidas Sutentáveis em Empreendimentos Imobiliários Residenciais**. LARES - Latin American Real Estate Society. São Paulo: [s.n.]. 2015. p. 17.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em light steel framing**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto , p. 191. 2007.

GONÇALVES, H. **Ambiente construído**: clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa. Lisboa: INETI, 2004.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Construindo um Futuro Sustentável. **Certificação LEED**, 2014. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acesso em: 22 Abril 2019.

GREEN EDUCATION FOUNDATION. Bank of America Tower. **Green Education Foundation**, 2018. Disponível em: <<http://www.greeneducationfoundation.org/green-building-program-sub/case-studies/892-bank-of-america-tower.html>>. Acesso em: 09 Junho 2019.

HM GOVERNMENT. **The Building Regulations - Part L**. [S.l.]: NBS , RIBA Enterprises Ltd., 2010.

HUANG, Z.; GE, J.; SHEN, J. Post-evaluation of energy consumption of the green retrofit building. **Energy Procedia**, p. 3608-3613, 2018.

IBGE. Pesquisa Anual da Indústria da Construção. **IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=destaques>>.

INMETRO. **Resolução nº 12, de 24 de Agosto de 1992**. INMETRO. [S.l.], p. 2. 1992.

IRIART, J. A. B. et al. Representações do trabalho informal e dos riscos à saúde entre trabalhadoras domésticas e trabalhadores da construção civil.. **Ciência & Saúde Coletiva**, 2006. 167-174.

KINGSCOTT, T. C. C. **Comparative Analysis of Thermal Performance Towards for Buildings Between Brazil and the United Kingdom**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto , p. 77. 2018.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 2014.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; VECCHI, S. G. R. D. **Conforto e Stress Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina. [S.l.], p. 87. 2011.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 2010.

MAYR, L. R. **Falhas de Projeto e Erros de Execução: Uma questão de comunicação**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis , p. 147. 2000.

MORENO, A. C. R.; MORAIS, I. S. D.; SOUZA, R. V. G. D. Thermal Performance of Social Housing - A Study Based on Brazilian Regulations. **Energy Procedia**, p. 111-120, 2016.

NAKAMURA, J. Retrofit de Edifícios. **Equipe de Obra**, 2011. Disponível em: <<http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/37/retrofit-de-edificios-220681-1.aspx>>. Acesso em: 15 Maio 2019.

NETZSCH. Definição de Condutividade Térmica. **NETZSCH Proven Excellence.**, 2016. Disponível em: <<https://www.netzsch-thermal-analysis.com/pt/landing-pages/definicao-de-condutividade-termica/>>. Acesso em: 5 Maio 2019.

NICOLETTI, A. M. A. **Eficiência Energética em um Ministério da Esplanada em Brasília: Propostas para RETROFIT de Envoltória.** Universidade de Brasília. Brasília, p. 235. 2009.

NOVAES, L. A. **Autoconstrução no Brasil - Panorama Geral e Estudo de Caso.** Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto , p. 51. 2019.

OLIVEIRA, R. D. et al. Concrete walls thermal performance analysis by Brazilian Standards. **Energy Procedia**, p. 213-218, 2015.

OLIVEIRA, R. D.; SOUZA, R. V. G. D.; SILVA, R. M. D. Issues to be improved on the Thermal Performance Standards for Sustainable Buildings consolidations: an overview of Brazil. **Energy Procedia**, p. 71-80, 2017.

PACHECO, R.; ORDÓÑEZ, J.; MARTÍNEZ, G. Energy efficient design building: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 3559-3573, 2012.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "My House My Life". **Energy and Buildings**, p. 95-102, 2013.

PROCEL. O Programa. **PROCELINFO - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=>

PROCEL. Selo PROCEL Edificações. **PROCELINFO - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**, 2015. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=>

PROJETEEE. Inércia Térmica. **Projeteee - Projetando Edificações Energicamente Eficientes**, 2013. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/estrategia/inercia-termica-para-aquecimento/>>. Acesso em: 06 Maio 2019.

ROMANO, F. V. **Modelo de Referência para o Gerenciamento de Projeto Interado de Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 381. 2003.

ROTHERY, B. **ISO 9000**. São Paulo: Makon Books, 1993.

SIQUEIRA, T. C. P. A. et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista da Escola de Minas**, Ouro preto, p. 133-138, Junho 2005.

SORGATO, M. J. et al. Análise do procedimento de simulação da NBR15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais.. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, p. 83-101, Outubro 2014. ISSN ISSN 1678-8621.

SOUZA, J. L. P. D.; KERN, A. P.; TUTIKIAN, B. F. Análise Quantitativa da Norma de Desempenho (NBR 15575/2013) e Principais Desafios de Implantação do Nível Superior em Edificação Residencial de Multipavimentos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 13, p. 127-144, Fevereiro 2018. ISSN 1.

STRUCTURAE. Bank of America Tower. **Structurae**, 2009. Disponível em: <<https://structurae.net/structures/bank-of-america-tower-2009-new-york>>. Acesso em: 20 Junho 2019.

TÉCHNE. **Retrofit**: quando é vantajoso requalificar um modernizar uma edificação? São Paulo: Pini, 2016.

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

VILELA, T. F.; SAUER, A. S.; COUTINHO, S. L. M. Passivhaus Aplicado ao Instituto de Artes Lyfia Pape. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 4, p. 25-34, Abril 2018.

WILKINSON, S. et al. Evaluating the Thermal Performance of Retrofitted Lightweight Green Roofed and Walls in Sydney and Rio de Janeiro. **Procedia Engineering**, p. 231-240, 2017.

YILMAZ, Z. Evaluation of energy efficient design strategies for different climatic zones: Comparison of thermal performance of buildings in temperate-humid and hot dry climate. **Energy and Buildings**, Istanbul, p. 306-316, 2007.