



O OLHAR DO SÉCULO XXI SOBRE DESEMPENHO TERMO ENERGÉTICO NA ARQUITETURA MODERNA: ANÁLISE DE CONTEÚDO, LIMITAÇÕES E LACUNAS

CARVALHO, Amanda Rosa de (1);

1. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura.
amandarosadc@gmail.com

MARTAU, Betina Tschiedel (2)

2. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura.
betina.martau@ufrgs.br

RESUMO

No Século XXI, o agravamento da crise ambiental em diversas partes do mundo e agora ainda mais com a pandemia da Covid-19, novos modos de usar a edificação são necessários, tornando-se indispensável aplicar os conceitos de conforto térmico e economia de energia nas edificações. Todavia, aplicar esses conceitos nos edifícios existentes com baixo desempenho termo energético pode colocar em risco seu valor arquitetônico histórico, pois a envoltória da edificação pode ser descaracterizada. Ante o exposto, este trabalho tem como objetivo contribuir com a discussão sobre o desempenho termo energético na arquitetura moderna identificando conteúdo, lacunas e limitações dos estudos atuais. Uma revisão sistemática da literatura permitiu levantar, analisar e comparar estudos sobre conforto térmico e economia de energia já realizados e disponíveis em publicações, servindo como base para estabelecer um quadro sobre esses temas na arquitetura moderna. A rápida análise dos estudos abordados nesta revisão de literatura permite afirmar que o desempenho termo energético da arquitetura moderna é tão eclético quando o seu estilo, não sendo possível generalizá-la como detentora de alto ou baixo desempenho termo energético. Ademais, podemos inferir que esses estudos foram mais intuitivos do que tecnicamente embasadas, produzindo afirmativas pouco consistentes em termos de sustentabilidade e desempenho termo energético. Mesmo um arquiteto de renome afirmando que sua obra é eficiente, ainda é necessário realizar análise detalhada do desempenho termo energético da obra para que essa afirmativa seja verídica.

Palavras-chave: Arquitetura moderna; desempenho termo energético; conforto térmico; eficiência energética; patrimônio histórico.



Introdução

O Século XX foi marcado por grandes transformações políticas e econômicas no cenário internacional. Guerras mundiais, revoluções industriais e crises econômicas em diversos países, além do início de um grande desequilíbrio ambiental, acontecimentos estes que influenciaram diretamente o modo de produzir e utilizar a edificação.

O processo de mecanização, a produção em massa e a rapidez de inovações que caracterizaram o período de desenvolvimento da arquitetura moderna produziram também composições estéticas inéditas, estruturas mais leves e novos paradigmas para arquitetura. Dentre esses, destaca-se o uso do concreto, aço e vidro, que permitiram flexibilizar a forma da edificação e os cinco pontos de Le Corbusier (planta-baixa e fachada livre, terraço jardim, janela em fita e uso de pilotis). Consequentemente a fachada se tornou mais leve e independente da estrutura, o que contribuiu para diminuir a massa térmica da edificação. Além disso, a busca de integração interior-exterior, materializado pela ampliação das aberturas, colaborou com o aumento das trocas térmicas entre o interior da edificação e o ambiente externo. Essas trocas térmicas normalmente eram corrigidas por sistemas de climatização artificial que aumentavam o consumo de energia e contribuíam com a emissão de CO₂ na atmosfera, uma vez que as fontes de energias mais comuns eram provenientes de combustíveis fósseis.

Todavia a arquitetura moderna não foi uniforme em suas características e materialidade, alterando-se conforme o cenário geográfico e econômico em que se encontrava. Nos contextos economicamente propícios, essa arquitetura usou tecnologia em massa, transformando-a em sinônimo de poder e status. Nos cenários desfavoráveis, ela empregava a tecnologia de forma mais racional, visando otimizar o custo-benefício das construções. Um exemplo clássico foi a implementação dos sistemas de climatização artificial. Assim, em países com maior poder econômico, o ar-condicionado popularizou-se, colaborando com a disseminação dos edifícios envidraçados e energeticamente dependentes para garantir as condições de habitabilidade. Em locais de clima quente e menos desenvolvidos socioeconomicamente, para diminuir o sobreaquecimento dos edifícios e, conseqüentemente, o uso do ar-condicionado, alguns arquitetos da arquitetura moderna passaram a utilizar elementos de sombreamento na concepção de seus projetos, como por exemplo, brises, varandas e cobogós.

Essas peculiaridades da arquitetura moderna dificultam a análise do desempenho termo energético. Muitas vezes, a abordagem é feita de forma genérica, o que leva a interpretações equivocadas e/ou contraditórias das premissas desse desempenho. Alguns autores como Buda e Mauri (2019) afirmam que a arquitetura moderna é um perigo em questão de conforto ambiental, uma vez que o acesso à tecnologia permitiu criar



ambientes internos com climas independentes dos ambientes externos. Consequentemente, os edifícios se encontravam naturalmente em alto grau de desconforto térmico, sendo necessário grande demanda de energia, proveniente do sistema de climatização artificial, para colocar a temperatura interna na zona de conforto. Em contrapartida, autores como Luccas (2004), Cunha e Bastos (2019) e Silveira, Craveiro e Talita (2009) afirmam que o uso de brise, terraço jardim e pilotis foram estratégias que consideraram o clima local e contribuíram para diminuir o sobreaquecimento da edificação e o seu consumo de energia.

No Século XXI, o agravamento da crise ambiental em diversas partes do mundo e agora ainda mais com a pandemia da Covid-19, novos modos de usar a edificação são necessários, tornando-se indispensável aplicar os conceitos de conforto térmico e economia de energia nas edificações existentes.

A aplicação desses conceitos pode colocar em risco as edificações de grande valor arquitetônico histórico que apresentem baixo desempenho termo energético. Isso ocorre, pois, as alterações necessárias para atualizar essas edificações às exigências atuais de eficiência energética, também conhecidas como *retrofit* energético, podem ocasionar perda do valor arquitetônico ao descaracterizarem suas envoltórias.

Mesmo sabendo que não é possível criticar as questões de desempenho termo energético da edificação produzida em outro período histórico com o olhar de agora, é urgente refletir como essa realidade pode ser enfrentada. Qualificar edificações de qualquer período histórico a códigos e legislações contemporâneas é a chave para manter sua permanência nas cidades do Século XXI, e o grande desafio é fazer isso, sobretudo, sem que percam a sua identidade arquitetônica e suas características de relevância histórica.

Ante o exposto, este trabalho tem como objetivo contribuir com a discussão sobre desempenho termo energético na arquitetura moderna identificando conteúdo, lacunas e limitações dos estudos atuais. Assim ampliando reflexões sobre o processo de classificação da eficiência dessa arquitetura, ante as necessidades e os critérios antigos e atuais de conforto térmico e economia de energia. Um levantamento e análises comparativas entre estudos sobre desempenho termo energético já realizados e disponíveis em publicações serviu como base para estabelecer um quadro sobre o tema na área.

Método

O método desta pesquisa foi revisão sistemática da literatura, através de protocolo de busca em portais de pesquisa, dividido em quatro etapas. Inicialmente, procurou-se responder as seguintes perguntas: “Quais são as limitações dos estudos de desempenho termo energético em obras da arquitetura moderna?” e “Quais são as lacunas de conhecimento quando se aborda desempenho termo energético na arquitetura moderna?”. As bases de dados selecionadas para a pesquisa foram publicações disponibilizadas nos registros



do Docomomo Internacional, Docomomo Brasil e portal de pesquisa *Scopus*. A escolha dessas bases de dados ocorreu por terem disponibilidade de acesso online e apresentarem autoridade científica na área da arquitetura moderna. Durante a escolha da documentação para análise, selecionamos artigos de periódicos e eventos, nos idiomas inglês, português e espanhol que abordassem no seu corpo escrito os seguintes termos: arquitetura moderna, eficiência ou desempenho termo energético, clima e sustentabilidade. A composição final das *strings* de busca foi: (“*modern* architecture*” OR “arquitetura modern*”) AND (“*cliamte*” OR “*comfort*” OR “*clima*” OR “*conforto*” OR “*eficien**” OR “*energ**” OR “*sust**”). Dos artigos encontrados, excluiu-se aqueles que não mencionavam a relação da edificação com o clima do local e informações sobre o seu desempenho termo energético.

Na segunda etapa, analisamos de forma quantitativa os artigos encontrados, visando identificar um padrão na frequência de publicação ao longo das duas últimas décadas, os temas específicos pesquisados em relação ao desempenho termo energético e os tipos de estudos realizados e métodos utilizados. Para isso, os artigos foram categorizados em grupos, conforme ano de publicação, base de dados e tema de pesquisa. Nesse último grupo os artigos encontrados foram primeiramente lidos e depois categorizados segundo temas que representavam a relação da arquitetura moderna com o conforto ambiental, preservação do patrimônio e/ou *retrofit* energético.

Na terceira etapa, a análise qualitativa foi aprofundada através da leitura crítica dos artigos resultando em análise de conteúdo. Para esse fim, foram observados nos artigos os seguintes parâmetros: organização da estrutura do texto, relevância do tema, indicação do método e fundamentação teórica apresentada. Isso possibilitou identificar limitações e lacunas das pesquisas.

Por fim, as ideias centrais dos artigos foram organizadas numa sequência linear de observações, visando sistematizar o levantamento dos fatos, abordagens teóricas e conclusões segundo os autores selecionados.

Resultados da análise quantitativa e qualitativa da revisão sistemática

Com o protocolo de busca mencionado anteriormente, encontramos seis artigos nos registros do Docomomo Brasil, oito no Docomomo Internacional e oito na plataforma de pesquisa *Scopus*, totalizando 22 artigos. Isso mostra que o campo do conhecimento que relaciona a arquitetura moderna às questões de sustentabilidade e desempenho termo energético se distribuí uniformemente nessas bases de dados. Considerando-se as bases selecionadas e a quantidade de artigos publicados até a realização dessa etapa do estudo, que se desenvolveu de janeiro a março de 2021, é possível afirmar que os estudos sobre o desempenho termo



energético nas edificações da arquitetura moderna ainda são poucos se comparados a outros temas presentes nas bases.

Ao longo de 20 anos, apenas esses 22 artigos foram publicados, o que resulta aproximadamente na publicação de um artigo por ano juntando as três bases de dados pesquisadas. Além disso, considerando a frequência de publicação dos artigos ao longo do tempo, representada pela Figura 1, 59 % ocorreu após o ano de 2016. A constância dessas publicações nos últimos cinco anos pode estar relacionada com o aumento da demanda por debates sobre o impacto das edificações nas questões ambientais.

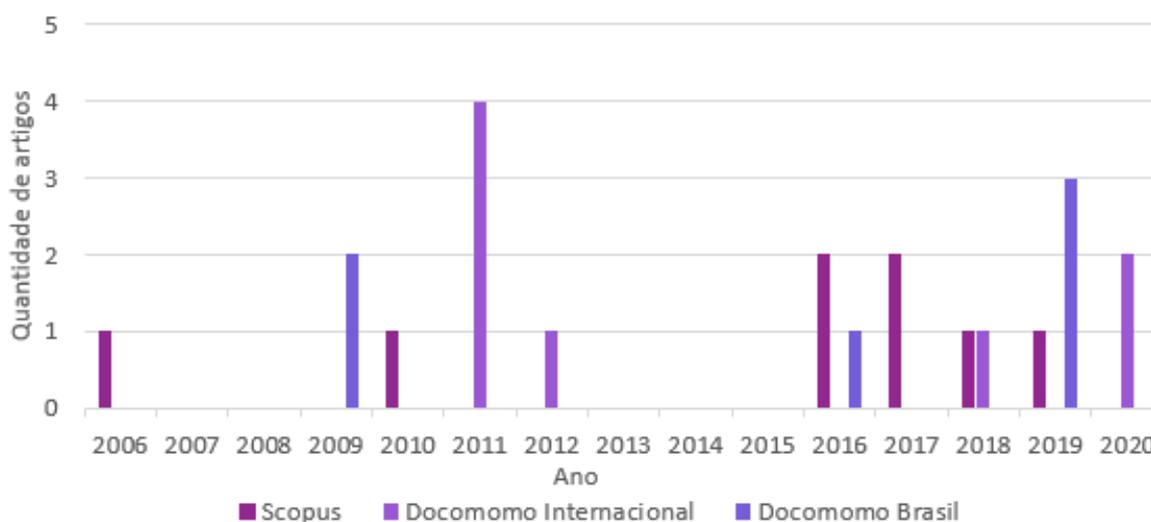


Figura 1. Frequência de publicação ao longo do tempo

Fonte: Autores, 2021

A Diretiva Europeia de 2010 aborda o adequado desempenho energético dos edifícios como uma forma eficiente de redução de 20% da emissão de gases geradores do efeito estufa até 2020 (EPBD, 2010). Já a Diretiva Europeia de 2012 ressalta a obrigatoriedade de renovar todos os anos 3% dos edifícios públicos aquecidos e/ou refrigerados artificialmente, a partir de 2014 (EPBD, 2012). Além disso, entre 2010 e 2015 começa a surgir em âmbito internacional a obrigatoriedade de comprovar o nível de eficiência energética das edificações.

A Agenda 2030 publicada pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, aponta medidas de desenvolvimento sustentável, como, por exemplo, facilitar o acesso a pesquisa e desenvolvimento de tecnologia de energia limpa, buscando energias renováveis e promovendo a alta eficiência energética. Visa também dobrar até 2030 a taxa global de melhoria da eficiência energética em todos os setores, o que inclui tanto novas construções como também alinham esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural (UNRIC, 2016).



Como indicado na metodologia, os artigos encontrados foram categorizados em cinco temas principais, sendo eles: arquitetura moderna e conforto ambiental/térmico; arquitetura moderna tropical; avaliação bioclimática e preservação do patrimônio; conforto térmico e preservação do patrimônio; e *retrofit* energético e restauro. A Tabela 1 exemplifica a relação entre os autores encontrados e as categorias de temas em que o estudo se incluía. Podemos observar que 32% dos artigos encontrados abordam, de forma distribuída equilibradamente ao longo do tempo, a arquitetura moderna e o conforto ambiental. Todavia, outros 32% dos artigos foram publicados depois de 2016 e abordam como tema *retrofit* energético e restauro no patrimônio da arquitetura moderna. Isso evidencia o aumento da preocupação dos pesquisadores em descobrir como adequar as edificações da arquitetura moderna aos novos padrões de desempenho termo energético do Século XXI, de modo que o *retrofit* energético funcionasse como mecanismo de preservação do patrimônio arquitetônico histórico.

Tema	Autores	Quantidade
Arquitetura moderna e conforto ambiental/térmico	Beltrán-Fernández, García-Muñoz e Dufrasnes (2017); Foneseca et al. (2009); Gonçalves, Sanches e Cavalcante (2006); Judah e Kaplan (2011); Michael e Phocas (2010); Stein (2011); Tomlow (2011);	7
Arquitetura moderna tropical	Caldas (2011); Guedes (2020); Quintã (2020);	3
Avaliação bioclimática e preservação do patrimônio	Cunha e Bastos (2019); Japiassú et al. (2019); Silveira, Craveiro e Talita (2009);	3
Conforto térmico e preservação do patrimônio	Requena-ruiz (2016); Silva, Neves e Gonzaga (2016)	2
<i>Retrofit</i> energético e restauro	Buda e Mauri (2019); Bustamante <i>et al.</i> (2018); Fixler (2018); Gonato (2019); Santoli (2017); Nelissen e Polman (2012); Ostojic, Versic e Muraj (2016);	7

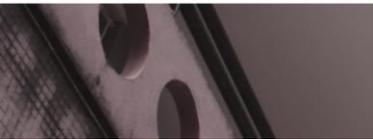
Tabela 1. Relação entre os autores/artigos selecionados na revisão sistemática da literatura e eixos temáticos de pesquisa

Fonte: Autoras, 2021

O que as publicações abordaram: análise do conteúdo

Há autores que estudaram o desempenho de algumas construções da arquitetura moderna através de análises qualitativas dos projetos, concluindo que as soluções projetuais dessas construções apresentavam desempenho térmico ou energético compatíveis com as recomendações mínimas das normativas atuais. Isso é demonstrado pelos seguintes autores:

- Beltrán-Fernández, García-Muñoz e Dufrasnes (2017) comprovam que os conceitos projetuais da Casa Jacobs, do arquiteto Frank Lloyd Wright, construído no ano de 1936, em Madison (EUA), garantiam o conforto do usuário mesmo com os materiais e sistemas elétricos menos eficientes da época;
- Silveira, Craveiro e Talita (2009) apontam a eficiência das soluções projetuais utilizadas em três edificações modernistas



(Figura 2) construídas em Teresinha, Piauí, entre 1950 e 1970, considerando-se os indicadores da Normativa Brasileira sobre Desempenho Térmico das Edificações, também conhecida como NBR 15220 (2003), para a Zona Bioclimática do Piauí (ZB 7).



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Fotos das Edificações de estudo de Silveira, Craveiro e Talita (2009): (a) Casa Dr. Zenon Rocha; (b) Prédio do Departamento Estadual de Estradas e Rodagem; e (c) Prédio do Tribunal de Justiça do Piauí

Fonte: Adaptado de Silveira, Craveiro e Talita (2009)

- Foneseca *et al.* (2009) discutem sobre os princípios de conforto ambiental nas residências Helena Costa e Edgar Duvivier, projetadas por Lúcio Costa na década de oitenta, no Rio de Janeiro (Brasil), levando em consideração elementos que influenciam o microclima (topografia, vegetação, superfície do solo natural ou construído). Ao término deste estudo foi constatado que os elementos utilizados nessas residências funcionam favoravelmente ao clima brasileiro.

Todavia, antes de afirmar que todas as edificações modernistas apresentam bom desempenho energético, é importante ressaltar suas fragilidades, principalmente em relação as modificações estruturais e de comportamento do usuário ao longo dos anos. Essas fragilidades são apontadas pelos autores a seguir, bem como possíveis estratégias para contorná-las:

- Cunha e Bastos (2019) utilizam a NBR 15220 para avaliar o desempenho térmico do Edifício Nova Cintra (Figura 3), do arquiteto Lucio Costa, construído no ano de 1948, no Rio de Janeiro (Brasil). Nesse estudo, os usuários instalaram aparelhos de ar-condicionado na fachada da edificação e fecharam alguns vãos com alvenaria e grades, descaracterizando estrutura e estética da edificação e prejudicando o conforto interno. Após intervenções que resgataram o estado original desses elementos de fachada, essa edificação atingiu as recomendações mínimas de desempenho térmico apontados na respectiva normativa;

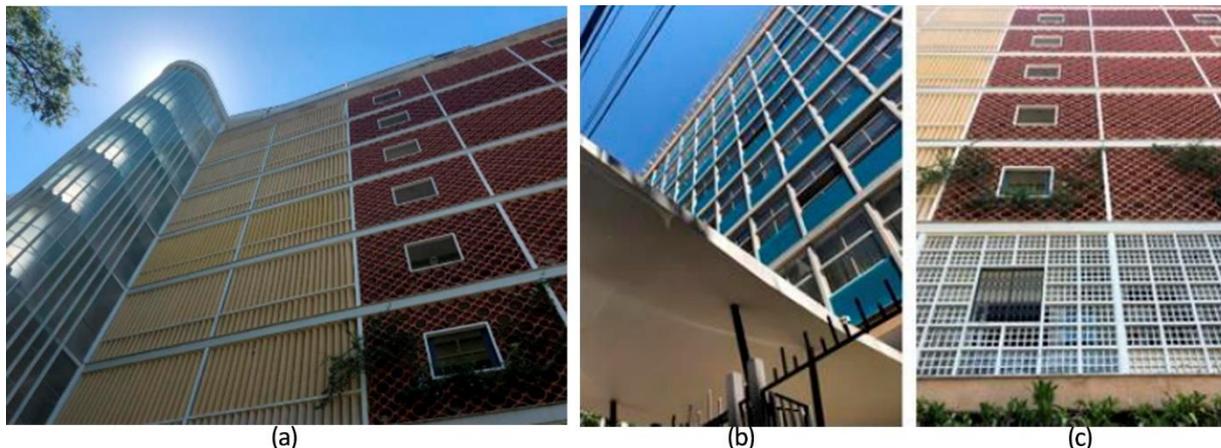


Figura 3. Edifício Nova Cintra: (a) Fachada Norte; (b) Fachada Sul; (c) Fachada Norte
Fonte: Adaptado Cunha e Bastos (2019)

- Santoli *et al.* (2017) mostram através do estudo de caso da Escola de Arquitetura Valle Giulia, do arquiteto Enrico Del Debbio, construído no ano de 1930, em Roma (Itália), que mesmo a edificação mantendo o uso original, a mudança do comportamento dos estudantes e funcionários fez com que o desempenho termo energético dessa edificação fosse classificado como ineficiente. Essas mudanças incluem a implementação de novas funções no espaço da biblioteca, salas de aula, refeitório e banheiros, aumentando a demanda de energia dessa edificação. Para controlar a nova demanda foi necessário um novo planejamento dos sistemas da edificação;
- Nelissen e Polman (2012) mostraram que os usuários da Escola ao Ar Livre de Duiker (Figura 4), do arquiteto Jan Duiker, construído no ano de 1930, em Amsterdã (Holanda), não utilizavam adequadamente as janelas devido à dificuldade do seu manuseio, contribuindo para o aumento de desconforto térmico no interior da edificação. Isso era compensado pelo acionamento do sistema de climatização artificial, o que aumentava a demanda de energia.



Figura 4. Escola ao Ar Livre de Duiker
Fonte: Nelissen e Polman (2012)



Alguns autores, a seguir relacionados, defendem que, apesar da arquitetura moderna poder incluir elementos considerados bioclimáticos, como brises e outros, isso não é suficiente para classificar a edificação como eficiente em termos de desempenho termo energético, pois esses elementos podem ter apenas função estética.

- Gonçalves, Sanches e Cavalcante (2006) mostram que, apesar da Escola de São Paulo (FAUUSP), do arquiteto João Vilanova Artigas, construída no ano de 1969, em São Paulo (Brasil), ser considerada por muitos críticos como obra-prima da arquitetura moderna brasileira, as estratégias de conforto ambiental aplicadas nesse projeto não eram eficientes, apresentando em seus estudos reclamações dos usuários em relação ao conforto térmico;
- Silveira, Craveiro e Talita (2009), ao analisarem a adequação bioclimática do Tribunal de Justiça do Piauí (Figura 5), do arquiteto Acácio Gil Borsoi, construído no ano de 1972, em Teresinha (Brasil), provam que o projeto dessa obra foca mais na estética do que no conforto ambiental, gerando ambientes mal iluminados que exigem uso de iluminação artificial. Além disso, os brises dessa obra não apresentam funcionalidade, pois só protegem as fachadas depois das dezesseis horas;



Figura 5. Tribunal de Justiça do Piauí
Fonte: Silveira, Craveiro e Talita (2009)

- Bustamante *et al.* (2018) estudaram o desempenho energético de um projeto modernista de Edifício de Habitação de Interesse Social da década de 1960 reproduzido em escala por todo o Chile. Concluíram que o autor desse projeto foi negligente ao não atender os critérios climáticos indicados para cada local de implantação e zona climática correspondente;
- Ostojic, Versic e Muraj (2016) ao estudar a renovação da antiga Faculdade de Tecnologia de Zagreb (Figura 6), do arquiteto Alfred Albin, construído no ano de 1958, em Zagreb (Croácia), descobriram



que essa obra simplesmente apresenta baixo desempenho energético desde a concepção do projeto.



Figura 6. Faculdade de Tecnologia de Zagreb

Fonte: Ostojic, Versic e Muraj (2016)

Alguns autores procuram conciliar estratégias de preservação do patrimônio histórico com melhorias do desempenho termo energético, visando preservar sua envoltória e sistemas construtivos. Cada qual utilizou-se de avaliação diferenciada, pois ainda há lacunas nos critérios avaliativos para edificações históricas. Entre eles destaca-se:

- Fixler (2018), visando a integridade arquitetônica dos Laboratórios Richards (Figura 7), do arquiteto Louis Kahn, construído no ano de 1961, na Filadélfia (EUA), e o melhor desempenho energético, atualizou os elementos existentes na edificação com menor impacto visual possível (vidros, lâmpadas e sistema de ar condicionado), conseguindo assim uma economia de 80% de energia elétrica;



Figura 7. Prédios dos Laboratórios Richards

Fonte: Fixler (2018)



- Buda e Mauri (2019) desenvolveram medidas de melhorias energéticas viáveis aos conceitos de preservação do patrimônio histórico, levando em consideração o significado da obra, a percepção de valor das pessoas perante ela e sua conservação. Essas medidas foram testadas na Casa Del Fascio (Figura 8), do arquiteto Giuseppe Terragni, construída em 1936 na cidade de Como (Itália);



Figura 8. Casa Del Fascio
Fonte: Buda e Mauri (2019)

- Japiassú *et al.* (2019) tentam equilibrar a preservação do Palácio da Justiça de Brasília (Figura 9), do arquiteto Oscar Niemeyer, construído no ano de 1972, em Brasília, com a necessidade de diminuir o consumo de energia elétrica, utilizando o método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), publicado pelo Procel Edifica/ Eletrobrás - a instituição responsável pelo gerenciamento de energia no Brasil. Apesar de atingirem seu objetivo, ficou comprovado que esse edifício apresentava nível moderado de desempenho energético (nível C), devido à necessidade de iluminação elétrica e ar-condicionado. Ou seja, foi comprovado que projeto do Palácio da Justiça de Brasília não é coerente ao discurso comum de que a arquitetura moderna leva em consideração as condições climáticas do local;



(a)

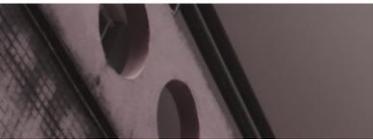


(b)



(c)

Figura 9. Prédio do Palácio da Justiça de Brasília: (a) Fachada Leste, (b) Fachada Sul e (c) Fachada Norte
Fonte: Adaptado de Japiassú *et al.* (2019)



- Requena-Ruiz (2016) declara que não se deve analisar o desempenho energético de edificações da arquitetura moderna com os olhos atuais da sociedade, mas com os olhos da época. Para isso, ele utiliza os diagramas de conforto adaptativo (GONZÁLEZ, 2004) e de Givoni (1981), a Carta Solar, simulação térmica e entrevistas com os habitantes da Villa Curutchet (Le Corbusier, 1949, La Plata na Argentina) e a Villa Chupin (André Wogenscky, 1959, Saint-Brevin-les-Pins na França) para avaliar a zona de conforto térmico de ambas as obras, retratadas na Figura 10. Os edifícios atingiram a zona de conforto durante o verão, o que não foi possível no inverno.



Figura 10. Edificações de estudo de Requena-Ruiz (2016): (a) Villa Curutchet e (b) Villa Chupin
Fonte: Adaptado de Requena-Ruiz (2016)

Os autores a seguir afirmam que em alguns casos as abordagens de análise do desempenho termo energético das edificações pertencentes à arquitetura moderna precisa ser sistemático e metodológico, devendo ir além dos princípios qualitativos ou quantitativos dos padrões convencionais de eficiência energética (demanda de energia, inércia térmica da envoltória e porcentual de horas em conforto térmico):

- Judah e Kaplan (2011), afirmam que é necessário ir além das ideias quantitativas, investindo em princípios e métodos qualitativos para justificar claramente as intervenções dos edifícios modernos, visando assim manter a integridade histórica da obra;
- Stein (2011) ressalta que o movimento moderno na arquitetura deve ser abordado como um método e uma atitude ao invés de um estilo, onde a eficiência deve ser analisada como um todo, através do uso adequado dos recursos para a construção, ocupação, exploração passiva e ativa de padrões solares e eólicos, bem como a incorporação da vegetação no projeto. Em seu trabalho intitulado “*Greening Modernism*” esse autor argumenta que a eficiência energética de uma edificação não deve ser medida apenas pela capacidade de BTUs (*British Thermal Unit* = Unidade Térmica Britânica), que determina a potência de refrigeração de cada sistema de condicionamento artificial, mas pelos indicadores de qualidade de vida e pela sua forma.



Outros autores afirmam que analisar o clima, o microclima e a condição do entorno imediato (topografia, vegetação e superfície do solo) são indispensáveis para compreender o comportamento termo energético da arquitetura moderna e o conforto do usuário:

- Tomlow (2011) aborda a sustentabilidade na arquitetura moderna, ressaltando como a física do clima local influenciou na estética das construções realizadas no movimento moderno da Alemanha;
- Quintã (2020) analisa a composição dos edifícios tropicais de Angola e explica a importância dos estudos do clima nos projetos da arquitetura moderna desse país. Esse autor demonstrou que os arquitetos locais utilizaram os dados climáticos fornecidos pelo Serviço Meteorológico para criar uma arquitetura moderna com princípios passivos puramente científica;
- Michael e Phocas (2010), estudam as abordagens bioclimáticas da arquitetura residencial moderna em Chipre, entre 1952 e 1974, e afirmam a importância de examinar o microclima quando se analisa o desempenho energético de uma edificação modernista. Para isso, esses autores utilizaram equipamentos para medir as condições climáticas anuais internas que serviram como base para a criação de um edifício de referência, fazendo comparações entre esse edifício e o edifício real.

Analisando o conteúdo dos referidos artigos foram sintetizadas as concepções de seus autores relativas à arquitetura moderna e seu desempenho termo energético nas cinco premissas a seguir:

- A arquitetura moderna apresenta bom desempenho termo energético desde a elaboração do projeto;
- O desempenho termo energético da arquitetura moderna é frágil devido as modificações estruturais e de comportamento do usuário ao longo dos anos;
- A arquitetura moderna pode apresentar baixo desempenho termo energético desde a elaboração de projeto;
- A avaliação do desempenho termo energético nas edificações modernistas deve ir além dos princípios qualitativos ou quantitativos dos padrões convencionais de eficiência energética: demanda de energia, inércia térmica da envoltória e porcentual de horas em conforto térmico;
- Os princípios físicos da climatologia são indispensáveis para análise do conforto proporcionado ao usuário nas edificações da arquitetura moderna.

Limitações e lacunas encontradas

Após ler e analisar os artigos foi possível encontrar algumas limitações e lacunas de pesquisa. Japiassú *et al.* (2019) foram os únicos autores que consideram os dispositivos elétricos, materiais da envoltória e uso da edificação na análise da



eficiência energética. Ou seja, a maioria dos autores mencionados anteriormente não consideram os elementos que produzem calor interno no próprio edifício ao estudarem sua eficiência.

Os autores mencionados nesta pesquisa também não levam em consideração alguns fatores importantes para análise detalhada do comportamento dos edifícios em relação ao clima e ao meio em que se encontram, como o comportamento da ventilação natural perante obstáculos. Foneseca *et al.* (2009) e Cunha e Bastos (2019) ao analisarem o conforto ambiental de algumas edificações da arquitetura moderna não mencionam o percentual de abertura e a tipologia das esquadrias, bem como a influência dos elementos vazados de sombreamento nas fachadas na permeabilidade do vento. A ventilação natural é utilizada como estratégia passiva de resfriamento e não consideram o percentual de abertura de esquadrias e outros elementos que alteram o fluxo de ar, como elementos vazados de sombreamento, produz resultados incertos na análise do conforto térmico do edifício. Não é possível saber o impacto dessas análises incompletas nas afirmativas de Foneseca *et al.* (2009) e Cunha e Bastos (2019) em relação ao funcionamento térmico dos edifícios estudados.

Ademais, essas duas últimas pesquisas citadas juntamente com a pesquisa de Silveira, Craveiro e Talita (2009) usam a Normativa de Desempenho Térmico de Edificações (ABNT/NBR, 2003) como referência de análise, sendo considerada uma normativa com critérios limitados por pesquisadores como Bogo (2016). Ele explica que essa normativa não exige controle do excesso de insolação nos ambientes para períodos de calor, apresentando incoerências como a mesma classificação bioclimática entre cidades com climas diferentes (BOGO, 2016).

Santoli *et al.* (2017), Nelissen e Polman (2012) e Cunha e Bastos (2019), mesmo citando que a mudança de comportamento dos usuários altera o desempenho das edificações, eles não avaliam o impacto dessa mudança no conforto dos ambientes internos, apenas evidenciam as alterações nos elementos e sistemas das edificações da arquitetura moderna.

Em síntese as lacunas de pesquisa percebidas foram:

- A insuficiência de trabalhos que abordem o calor interno da edificação modernista, produzido por seus sistemas (equipamentos, iluminação artificial, taxa metabólica e ocupação);
- A ausência de estudos relacionando conforto da edificação e mudança do comportamento da ventilação natural causada por elementos construtivos da fachada, como tipo de abertura e elementos de proteção solar;
- A carência de um modelo de avaliação do desempenho termo energético que considere as diferenças culturais, aceitação e adaptabilidade da edificação aos padrões atuais de desempenho energético;



- A escassez de pesquisa que analise a mudança do comportamento dos usuários ao longo da vida útil da construção e sua influência na classificação do desempenho termo energético da edificação.

Conclusão

O agravamento dos problemas ambientais, a maior consciência sobre o papel do homem e do ambiente construído na manutenção da natureza e a mudança de comportamento do usuário ao longo do tempo, como a mudança atual causada pelo enfrentamento da pandemia da Covid-19, reforçam a necessidade de reutilizar as construções existentes como fator de preservação ambiental e histórico-cultural. Para isso essas edificações devem ser adaptadas aos novos padrões de desempenho termo energético.

A rápida análise dos estudos abordados nesta revisão de literatura permite afirmar que o desempenho termo energético da arquitetura moderna é tão eclético quando o seu estilo, não sendo possível generalizá-la como detentora de alto ou baixo desempenho termo energético. Ou seja, não são as premissas de um estilo ou linguagem arquitetônica que garantem sua eficiência ou sustentabilidade, mas a adaptação de técnicas construtivas compatíveis com o clima local. Apesar do senso comum segundamente afirmar que arquiteturas como as Louis Kahn (FIXLER, 2018), Giuseppe Terragni (BUDA; MAURI, 2019) e Oscar Niemeyer (JAPIASSÍ *et al.* 2019) serem questionáveis em termos de desempenho termo energético, os estudos de Judah e Kaplan (2011), Stein (2011), Tomlow (2011), Quintã (2020) e Michael e Phocas (2010), indicaram que a adaptação dos elementos do edifício e sua materialidade ao clima do local é a principal premissa para se obter conforto térmico e eficiência energética, e isso dependerá da habilidade de cada arquiteto em operar essas variáveis. Mesmo que arquitetos, como João Vilanova Artigas, afirmassem em seu discurso conceitual que seu projeto almejava atender as condições do clima local, Gonçalves, Sanches e Cavalcante (2006) mostraram que ainda é necessário comprovar essa afirmativa através de análises de desempenho. Isso é importante devido a possibilidade dos edifícios terem passado por modificação ao longo do tempo (CUNHA; BASTOS, 2019; SANTOLI *et al.*, 2017; NELISSEN; POLMAN, 2012), do projeto e sua execução serem diferentes, ou dos elementos construídos serem mais estéticos do que funcionais (SILVEIRA; CRAVEIRO; TALITA, 2009; JAPIASSÚ *et al.*, 2019).

Em relação a análise do desempenho termo energético dos estudos mencionados nesta revisão de literatura, podemos inferir que foram mais intuitivas do que tecnicamente embasadas, produzindo afirmativas pouco consistentes em termos de sustentabilidade e desempenho termo energético. Isso é perceptível, pois poucos desses estudos abordaram os princípios físicos dos materiais, como resistência térmica e densidade, durante análise do desempenho da envoltória da edificação no conforto interno. Também foram poucos abordados nesses estudos o levantamento das cargas térmicas internas, como o calor produzido pelos equipamentos



eletroeletrônicos, sistemas de iluminação elétrica, metabolismo do usuário, e o comportamento do usuário na edificação, sendo que ambos são fatores importantes na análise de conforto térmico da edificação.

Se desejamos manter e requalificar o acervo de obras da arquitetura moderna é indicado uma mudança de posicionamento. Assumir que atualizar o desempenho termo energético aos padrões atuais de conforto térmico e economia de energia pode descaracterizar a obra arquitetônica exige busca de métodos e ferramentas que deem suporte às decisões de intervenções e colaborem no processo para avaliar sua eficácia. Uma vez que a arquitetura moderna é tão eclética quanto o seu desempenho termo energético, ainda são insuficientes os estudos que visem a criação de metodologias quantitativas e qualitativas para essa avaliação, o que torna urgente pautar essa discussão em congressos e eventos da área, principalmente em relação ao contexto climático brasileiro.

Referências bibliográficas

ABNT/NBR. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas técnicas, 2003. p. 1–23.

BELTRÁN-FERNÁNDEZ, M.; GARCÍA-MUÑOZ, J.; DUFRASNES, E. Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la casa Jacobs I. **Informes de la Construcción**, Espanha, v. 69, n. 547, 2017.

BOGO, A. J. Reflexões Críticas Quanto As Limitações Do Texto Das Normas Brasileiras De Desempenho Nbr 15220-3 E Nbr 15575. **Holos**, Blumenau, v. 7, p. 290, 2016.

BUDA, A.; MAURI, S. Building survey and energy modelling: An innovative restoration project for casa del fascio in como. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Itália, v. 42, n. 2/W11, p. 331–338, 2019.

BUSTAMANTE, W. *et al.* Retrofitting strategies for social housing buildings in different climate conditions.: The Corvi 1010-1020 block type in three Chilean cities. **PLEA 2018 - Smart and Healthy within the Two-Degree Limit: Proceedings of the 34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Hong Kong, v. 1, n. December, p. 318–323, 2018.

CALDAS, J. V. Design with climate in Africa. The world of galleries, brise-soleil and beta windows. **Docomomo**, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 16–23, 2011.

CUNHA, V. de S. da; BASTOS, L. E. G. Avaliação bioclimática de edifício moderno: o caso do Edifício Nova Cintra, Parque Guinle, Rio de Janeiro. *In*: **DOCOMOMO BRASIL**, 13., 2019, Salvador. **Anais do 13º DOCOMOMO Brasil**. Salvador: Docomomo, 2019.

EPBD. Directiva 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 relativo ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios, publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea del 18/6/2010 en las páginas 13 a 35. **Jornal Oficial da União Europeia**, Parlamento Europeu e do Conselho, 2010. p. 13–35.

EPBD. DIRETIVA 2012/27/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de outubro de 2012 relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE. DIRETIVA 2012/27/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de outubro de 2012 relativa à eficiência energética. **Jornal Oficial da União Europeia**, Europa, Europa: Parlamento Europeu e do Conselho, 2012. p. 1–56.



- FIXLER, D. Managing expectations – contemporary design culture, conservation and the transformation of the Richards laboratories. *Docomomo*, [s. l.], v. 58, n. 1, p. 20–29, 2018.
- FONESECA, I. C. L. *et al.* Arquitetura moderna e conforto ambiental nos trópicos—diretrizes aplicáveis a casas de Lucio Costa na Gávea, Rio de Janeiro. *In: DOCOMOMO BRASIL*, 9., 2009, Rio de Janeiro. **Anais do 8º Seminário docomomo**. Rio de Janeiro: Docomomo, 2009.
- GIOVANI, B. **Man, Climate and Architecture**. Amsterdam, Elsevier Publishing, 1981.
- GNOATO, S. Restauro e retrofit do Palácio da Justiça do Paraná. *In: DOCOMOMO BRASIL*, 13., 2019, Salvador. **Anais do 13º DOCOMOMO Brasil**. Salvador: Docomomo, 2019.
- GONÇALVES, J. C.; SANCHES, P.; CAVALCANTE, R. FAUUSP, São Paulo, Brazil: An icon of Brazilian modern architecture with lessons and questions on environmental design and thermal comfort. *In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE*, 23., 2006, Geneva. **PLEA 2006 - 23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference Proceedings**. Geneva: PLEA, 2006. p. 6–8.
- GUEDES, P. **Behind the veils of modern tropical architecture**. [S. l.]: Docomomo International, v. 63, n. 2, p. 6-17, 2020.
- JAPIASSÚ, P. *et al.* Retrofit energético de patrimônio arquitetônico moderno em Brasília: estudo do Palácio da Justiça. *In: DOCOMOMO BRASIL*, 13., 2019, Salvador. **Anais do 13º DOCOMOMO Brasil**. Salvador: Docomomo, 2019.
- JUDAH, I.; KAPLAN, D. Sustainability and modernism: Design research at Cornell NYC. *Docomomo*, [s. l.], v. 44, p. 40–47, 2011.
- LUCCAS, L. H. H. **Arquitetura moderna brasileira em porto alegre: Sob o mito do “gênio artístico nacional”**. 2004. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- MICHAEL, A.; PHOCAS, M. C. Bioclimatic approaches of modern residential architecture in cyprus, 1952-1974. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, Espanha, v. 1, n. 8, p. 27–32, 2010.
- GONZÁLEZ, F. J. N. **Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible**. 4. ed, Madrid, Munilla-Ilería, 2004.
- NELISSEN, S.; POLMAN, M. Duikers’ Open Air School: Re-use or contin-use? *Docomomo*, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 34–41, 2012.
- OSTOJIĆ, S.; VERŠIĆ, Z.; MURAJ, I. Energy analysis and refurbishment strategy for Zagreb University buildings: Former Faculty of Technology in Zagreb by Alfred Albini. *Energy and Buildings*, Croácia, v. 115, p. 47–54, 2016.
- QUINTÃ, M. **Tropical building research: The Angolan case**. [S. l.]: Docomomo International, v. 63, p. 18-25; 2020.
- REQUENA-RUIZ, I. Thermal comfort in twentieth-century architectural heritage: Two houses of Le Corbusier and André Wogenscky. *Frontiers of Architectural Research*, França, v. 5, n. 2, p. 157–170, 2016.
- SANTOLI, L. de *et al.* Energy and technological refurbishment of the School of Architecture Valle Giulia, Rome. *Energy Procedia*, Itália, v. 133, p. 382–391, 2017.
- SILVA, P. M. W. M. do R.; NEVES, J. F. A.; GONZAGA, S. C. M. Como conservar? O caso do edifício vertical de escritórios moderno e da eficiência energética. *In: DOCOMOMO BRASIL*, 11., 2016, Recife. **11º Seminário Docomomo Br**. Recife: Docomomo, 2016.
- SILVEIRA, A. L. R. C. da; CRAVEIRO, J.; TALITA, T. Análise da adequação bioclimática de edifícios modernos em Teresina-PI. *In: DOCOMOMO BRASIL*, 8., 2009, Rio de Janeiro. **Anais do 8º DOCOMOMO Brasil**. Rio de Janeiro: Docomomo, 2009.
- STEIN, C. Greening modernism. *Docomomo*, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 8–15, 2011.
- TOMLOW, J. Building physics and its performance in modern movement architecture. *Docomomo*, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 24–31, 2011.
- UNRIC (CENTRO REGIONAL DE INFORMAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EUROPA). **Guia sobre desenvolvimento sustentável: 17 objetivos para transformar o nosso mundo**. Online, 2016. Disponível em: https://www.instituto-camoes.pt/images/ods_2edicao_web_pages.pdf. Acesso em: 05 mai. 2021.