

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

VALÉRIA HENRIQUE VITÓRIA

NZEB: ESTRATÉGIAS E DESAFIOS À IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO (I)

Niterói
2020

VALÉRIA HENRIQUE VITÓRIA

NZEB: ESTRATÉGIAS E DESAFIOS À IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO (I)

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:
Prof.^a Marcelo Jasmim Meiriño

Niterói
2020

Ficha Catalográfica elaborada pelo Aluno, acesse o site:

<http://www.bibliotecas.uff.br/bee/ficha-catalografica>

V845n Vitória, Valéria Henrique
NZEB: Estratégias e desafios à implantação do conceito /
Valéria Henrique Vitória ; Marcelo Jasmim Meirino,
orientador. Niterói, 2020.
54 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,
Niterói, 2020.

1. Eficiência Energética. 2. Energia Renovável. 3.
Arquitetura Bioclimática. 4. Desenvolvimento Sustentável. 5.
Produção intelectual. I. Meirino, Marcelo Jasmim,
orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de
Engenharia. III. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Sandra Lopes Coelho - CRB7/3389

VALÉRIA HENRIQUE VITÓRIA

NZEB: ESTRATÉGIAS E DESAFIOS À IMPLANTAÇÃO DO CONCEITO

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Aprovada em 14 de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Marcelo Jasmim Meiriño

Prof. Nome Completo do Orientador(Orientador) - UFF

Sérgio Luiz Braga França

Prof. Nome do Membro da Banca - UFF

Gilberto Figueiredo Pinto Filho

Prof. Nome do Membro da Banca - UFF

Niterói
2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os alunos e profissionais da área de construção civil que buscam conhecimento na área de construção com eficiência energética.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me ajudado e permitido a chegar até aqui, aos meus pais Valdir e Valcira e minha irmã Vanessa que me apoiaram nessa trajetória, e a professores, como o professor Marcelo Meiriño, que me passaram conhecimento necessário para essa formação.

RESUMO

A construção sustentável tem ganhado espaço com o aumento dos impactos ambientais. Entre os modelos deste tipo de construção encontramos o NZEB, construções eficientes com necessidades nulas de energia. A definição deste tipo de construção é elaborada com declarações de diferentes autores. Este trabalho se propõe a fazer uma revisão da literatura existente sobre a interpretação comum do NZEB, incluindo os três principais grupos de estratégias para sua implantação, sendo estes: arquitetura passiva, tecnologias eficientes e fontes de energia renovável. Aplicada à fase de operação, o trabalho também defende a adesão de avaliações energéticas. Por fim, destaca os principais desafios de uma construção NZEB relacionados à regulamentação, comportamento de profissionais e usuários e sistemas operacionais deficientes. Para superar essas barreiras, recomendações básicas foram propostas como soluções a esses desafios.

Palavras-chave:

NZEB, Energia quase zero, Eficiência Energética, Construção Sustentável, Arquitetura Passiva, Tecnologias Eficientes, Fonte Renovável, Avaliação Energética

ABSTRACT

Sustainable construction has been gaining space since the increase of environmental impacts. Among the models of this kind of construction there is the NZEB, efficient constructions with nearly zero-energy. The definition of this type of construction is elaborated with declarations made by different authors. This work proposes to make a review of the existent literature about the common interpretation of NZEB, including the three main groups of strategies for its implementation, being these: passive architecture, efficient technologies and renewable energy sources. Applied to the operations phase, this work also defends the adherence of energy assessments. Finally, it points out the main challenges of NZEB constructions related to regulation, behavior of professionals and users and unsatisfactory operational systems. To overcome these barriers, basic recommendations were proposed as solutions to these difficulties.

Keywords:

NZEB, Nearly zero building, Energy efficiency, Sustainable Construction, Passive Architecture, Efficient technologies, Renewable source, Energy evaluation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS Brasil, 2020)	13
Figura 2:	Quota global de emissão final de edifícios e construções, 2018 (Adaptado de AIE (2019)	14
Figura 3:	Quota global de energia final de edifícios e construções, 2018 (Adaptado de AIE (2019)	15
Figura 4:	Objetivos que se relacionam com a construção sustentável (Adaptado de WorldGBC, 2017)	18
Figura 5:	Matriz das métricas mais utilizadas (Adaptado de Marszal et al, 2011)	22
Figura 6:	Gráfico de equilíbrio de um NZEB (Sartori, 2010)	23
Figura 7:	Estrutura de Estratégias de NZEB	24
Figura 8:	Recursos de um Design Passivo (Adaptado de www.nzeb.in)	26
Figura 9:	Recursos de Tecnologias Eficientes (Adaptado de www.nzeb.in)	27
Figura 10:	Fontes de Energia Renovável (Adaptado de www.nzeb.in)	29
Figura 11:	Desafios de NZEB	32
Figura 12:	Etiqueta PBE Edifica	34
Figura 13:	Compensação de Energia	35
Tabela 1:	Busca por termos gerais	40
Tabela 2:	Busca por combinações de termos	40
Tabela 3:	Critério de seleção de Periódicos	41
Figura 14:	Estratégias de Implementação do NZEB	43
Figura 15:	Desafios de NZEB	45
Figura 16:	Soluções aos desafios do NZEB	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANNEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
GEE	Gases de Efeito Estufa
HVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
IEA	Agência Internacional de Energia
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
NZEB	Edifícios quase Zero de Energia
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
UE	União Europeia
ZEB	Edifícios Zero de Energia
IEA	Agência Internacional de Energia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Considerações Iniciais	12
1.2 Situação Problema	15
1.3 Objetivos da Pesquisa	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 Organização da Pesquisa	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1- Construção Sustentável	18
2.2- Edificações NZEB	20
2.3- Estratégias NZEB	24
2.3.1 - Arquitetura Passiva	25
2.3.2 – Tecnologias Eficientes	27
2.3.3 – Fonte de Energia Renovável	28
2.4- Avaliação Energética	30
2.5- Desafios do NZEB	32
2.5.1 – Regulamentação	33
2.5.2 – Profissionais Competentes	36
2.5.3 – Desempenho Energético	36
2.5.3.1 – Comportamento de Usuários	36
2.5.3.2 – Simulação Energética	37
2.5.4 – Fornecimento de Energia	38
2.5.5 – Custo Inicial	39
3. METODOLOGIA	40
4. DESENVOLVIMENTO	43
5. CONCLUSÃO	47
6. REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

É incontestável que a civilização humana evoluiu com o passar dos anos, que a população mundial passou por um crescimento e que, acompanhando essa expansão, as necessidades básicas de todos foram se modificando. O uso da inteligência humana fez com que novas tecnologias fossem desenvolvidas para atender a novas carências. Porém, em consequência desse desenvolvimento, mudanças climáticas e uma produção de gases de efeito estufa (GEE) se tornaram uma realidade mundial. Esses efeitos passaram a afetar intimamente a qualidade de vida das pessoas como também o equilíbrio de todo o planeta.

De acordo com pesquisas, as emissões de GEE alcançaram o seu maior grau na história em nossos dias. Até o final de 2018, as emissões globais de dióxido de carbono já haviam atingido um aumento de quase 50% desde 1990 (NOAA, 2019).

Como consequência, nas últimas décadas a temperatura média mundial atingiu os maiores números já registrados sendo os anos mais quentes já vistos. De particular interesse, o Rio de Janeiro registrou em janeiro de 2019 a segunda temperatura mais quente do verão desde 1961 (NASA, 2019; NOAA, 2019).

Por este motivo, alguns fenômenos têm se intensificado, como inundações, secas, tempestades ou elevação do nível do mar, além do fato de que alguns tipos de doenças estão se multiplicando (Papadis e Tsatsaronis, 2020; Revkin, 2019).

Um dos principais contribuintes para as emissões de GEE é o consumo de energia. Atualmente, cerca de 60-80% desse consumo ocorre em cidades. Segundo dados urbanos, a expectativa é de aumento populacional em centros urbanos, principalmente em países em desenvolvimento, podendo agravar a situação de demanda de energia (Energy Outlook, 2019; Papadis e Tsatsaronis, 2020).

Devido a isso, com objetivo de minimizar impactos negativos, medidas energéticas estão sendo estabelecidas em todo o mundo (IPCC, 2014; Moran, O'Connell e Goggins, 2020).

No ano de 2015, o Acordo de Paris para o clima adotado pelos países membros da Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu medidas de redução na emissão de GEE. Entre outras metas, foi afirmado o compromisso de manter o aumento de temperatura média global abaixo de 2°C em comparação com os níveis pré-industriais, com esforços de obedecer ao limite de aumento de temperatura de 1,5°C (UNFCC, 2016).

Neste mesmo ano, em um encontro também realizado pelos países membros da ONU, foi desenvolvida a Agenda de 2030, um acordo global que estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com 169 metas a serem adotadas pela comunidade internacional (figura 1). Este acordo global inclui aspectos de bem estar humano e do planeta (ONU BRASIL, 2020).

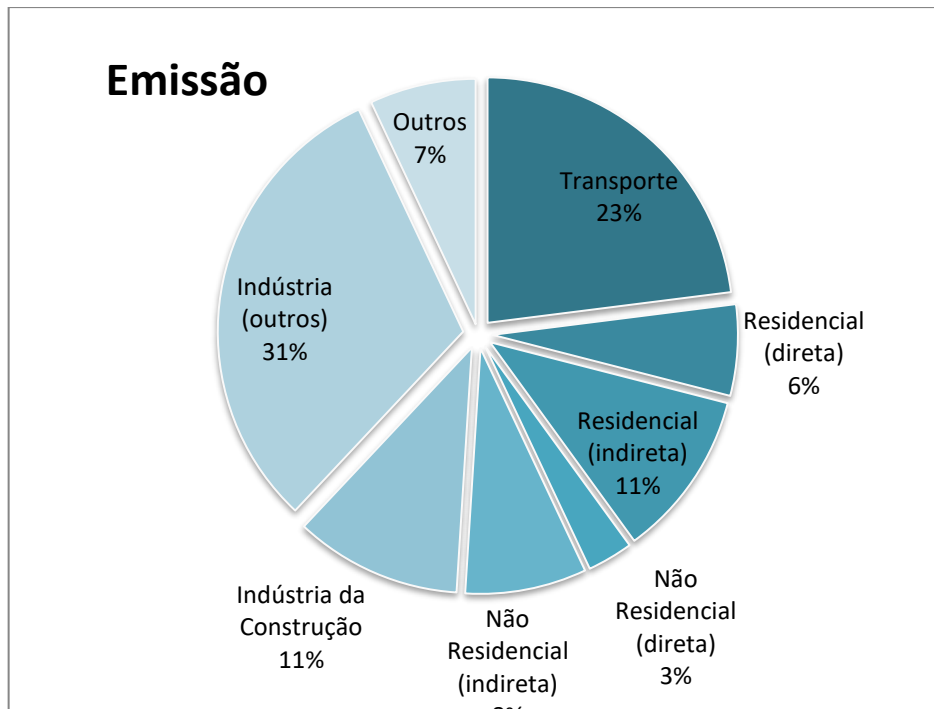
Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU BRASIL (2020)

O setor da construção civil tem se mostrado de grande influência nos objetivos mundiais, pois afeta diretamente os ODS 7, 9, 11 e 13, além de se relacionar indiretamente com alguns outros. Atualmente este setor é um dos maiores consumidores de energia, principalmente em países desenvolvidos. De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), em 2018, os edifícios foram responsáveis por 38% das emissões globais de carbono relacionadas à energia conforme especificado na figura 2.

Figura 2 - Quota global de emissão final de edifícios e construções, 2018

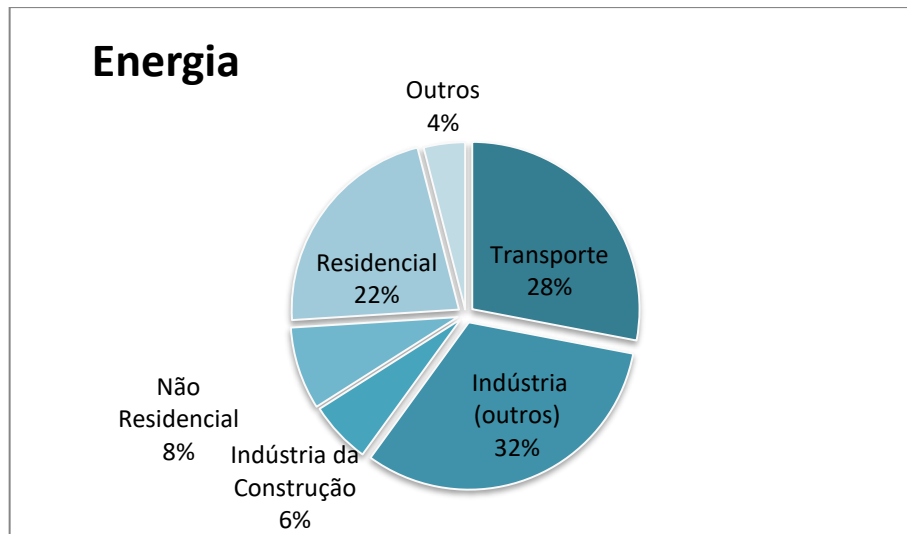


Nota: Indústria da construção é a parte (estimada) da indústria geral dedicada à fabricação de materiais da construção como aço, cimento e vidro. Emissões indiretas são emissões de geração de energia elétrica e de aquecimento.

Fonte: Adaptado de AIE (2019^a), Estatísticas e Balanços Energéticos Mundiais (banco de dados) e AIE (2019b), Perspectivas de Tecnologias Energéticas, modelo de edifícios.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), os edifícios representam mais de 30% da demanda de energia global (figura 3). Mas esses valores podem triplicar até 2050 devido às tendências globais, como o aumento populacional e mudanças de estilo de vida em países em desenvolvimento (IPCC, 2014).

Figura 3 - Quota global de energia final de edifícios e construções, 2018



Fonte: Adaptado de AIE (2019^a), Estatísticas e Balanços Energéticos Mundiais (banco de dados), e AIE (2019b), Perspectivas de Tecnologias Energéticas, modelo de edifícios.

Diante dessa situação mundial a construção sustentável tem ganhado espaço, pois ela pode afetar a saúde e bem estar da comunidade, pode promover uma energia limpa, estimular uma cadeia de trabalho e crescimento urbano, estimular a indústria e inovação, incitar o consumo e a produção responsável, e também pode neutralizar impactos ambientais, que são alguns dos objetivos da Agenda de 2030 (Canada Green Building Council, 2016; ONU BRASIL, 2020).

Uma vertente de construção sustentável que tem sido estabelecida é a de prédios com energia quase zero, o NZEB. Definido pela União Europeia na Diretiva 2010/31/UE, o NZEB é um edifício com necessidades quase nulas de energia, de desempenho energético muito elevado, determinado com base na energia anual calculada ou efetivamente consumida. As necessidades quase nulas ou muito pequenas devem ser cobertas em grande parte por energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades (Comissão Europeia, 2019).

1.2 Situação Problema

O conceito do NZEB introduzido no início dos anos 2000 apresenta perspectivas positivas em relação aos impactos ambientais causados pelas edificações. No entanto, apesar de ter uma atenção a nível internacional, ainda não existe um consenso total na definição do NZEB (Cabeza e Chàfer, 2020).

As particularidades de uma edificação, como sua localização, clima, tipologia, situação em comunidade e ocupação são algumas questões regionais que desafiam uma definição internacional. A falta de normas e leis sobre o tema, abrem uma margem para diversas abordagens de como alcançar um edifício com necessidades de energia quase zero (Cabeza e Chàfer, 2020; Marszal *et al.*, 2011; Marszal e Heiselberg, 2010).

A literatura existente apresenta diversas métricas relevantes que podem ajudar a definir a estrutura de um NZEB. Algumas estratégias foram desenvolvidas e atividades foram aplicadas, porém, em grande parte de maneira voluntária e de forma pontual (Marszal *et al.*, 2011).

Em virtude da repercussão mundial do NZEB, podemos nos deparar com alguns questionamentos. Seria possível que este conceito de construção fosse padronizado para ser implementado em qualquer lugar? Existe uma metodologia convincente, robusta e confiável, que reflita o conceito e torne viável o trabalho de arquitetos e engenheiros? Considerando essas e outras questões que permeiam o tema, define-se como questão central da pesquisa: quais as estratégias e os desafios à implantação do conceito Nearly Zero Building?

Uma revisão de conhecimentos atuais sobre o assunto pode nos ajudar a identificar os desafios e então o caminho para que um NZEB seja um projeto real.

1.3 Objetivos da Pesquisa

1.3.1 Objetivo geral

Essa pesquisa tem como objetivo identificar os estratégias e os desafios para a implementação de edificações com o conceito Nearly Zero Building.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Contextualizar a importância de uma construção de padrão NZEB.
- Apresentar os aspectos críticos que definem uma edificação NZEB.
- Identificar as principais estratégias para um NZEB.
- Caracterizar os desafios mais comuns de um NZEB e recomendar possíveis soluções a essas barreiras.

1.4 Organização da Pesquisa

O capítulo 1 apresenta algumas considerações iniciais que nos situam ao contexto histórico-ambiental e a necessidade de abordar o tema, como também os objetivos principais da pesquisa.

O capítulo 2 expõe uma revisão da literatura sobre o assunto.

O capítulo 3 identifica a metodologia de pesquisa com base na técnica de bibliometria.

O capítulo 4 apresenta os resultados do estudo teórico sobre o tema.

Por fim, o capítulo 5 apresenta a conclusão dessa pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1- Construção Sustentável

A construção sustentável ganhou um papel relevante quando foi observado que ela poderia minimizar impactos globais. Na Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento, ela foi defendida como um processo holístico que aspira a harmonia entre o ambiente natural e o construído, e a afirmação da dignidade humana, e encorajamento da igualdade econômica. Ela é então vista do ponto de vista triplo, relacionando a sustentabilidade ambiental com a sustentabilidade econômica e social (Ministério do Meio Ambiente, 2020; Solaimani e Sedighi, 2020).

Segundo Kibert (2013), a construção sustentável tem como seu objetivo principal atender às necessidades da população atual sem comprometer as necessidades energéticas e ambientais de gerações futuras. Os edifícios sustentáveis precisam então ser construções eficientes em termos de consumo de recursos, mas também ambientes saudáveis, otimizando o seu desempenho energético e melhorando a qualidade do ambiente (Abdulaziz, 2006; Kibert, 2013; Wao *et al.*, 2016).

A construção sustentável vai além de uma estrutura inanimada. Além de ser uma oportunidade de economizar água, energia, emissões de carbono, ela tem também o papel de educar, fortalecer comunidades, melhorar o bem estar e até mesmo criar empregos. Por isso ela se relaciona tão intimamente com alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU de 2015 (Figura 4) (World Green Building Council, 2017).

Figura 4 - Objetivos que se relacionam com a construção sustentável



Fonte: Adaptado de WorldGBC (2017)

Os ocupantes de uma edificação são afetados por suas condições ambientais. De acordo com a Organização Mundial de Saúde, a baixa qualidade de ambientes internos pode gerar doenças respiratórias que se associam com três das cinco principais causas de morte. Segundo Abdulaziz (2006), a construção sustentável emprega práticas que têm capacidade de proteger e restaurar a saúde humana e a qualidade ambiental de um edifício ao longo de seu ciclo de vida. Este efeito se relaciona com o Objetivo 3 dos ODS que destaca a boa saúde e bem estar. A qualidade e circulação do ar, iluminação adequada e vegetação, tem se comprovado como fatores de efeitos positivos nesse aspecto (Abdulaziz, 2006; Organização Mundial de Saúde, 2018).

Conforme defendido por muitos autores, a construção sustentável deve fazer uso de recursos renováveis, assim, deve utilizar fontes de energia limpa. Esse aspecto se harmoniza com o Objetivo 7 dos ODS - energia limpa e acessível. Além de não produzir emissões de carbono, a energia renovável pode ser uma alternativa mais barata do que alguns combustíveis fósseis. Como exemplo, de acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) em relatório realizado em 2015, sistemas solares domésticos na África poderiam oferecer eletricidade à comunidade por US \$56 por ano, valor inferior ao uso de querosene e diesel (Canada Green Building Council, 2016; Kansal e Kadambari, 2010).

Outro aspecto também pontuado nos ODS é o trabalho decente e crescimento econômico - Objetivo 8. Uma crescente demanda de edifícios sustentáveis torna necessária a força de trabalho adequada. A indústria de construção verde no Canadá gerou quase 300.000 empregos de período integral em 2014. Sendo uma construção que exige atenção em todo o seu ciclo de vida, oportunidades de empregos poderiam ser criadas para uma variedade de pessoas por um grande espaço de tempo (Canada Green Building Council, 2016; Murtagh, Scott e Jingli Fan, 2020).

Segundo Solaimani e Sedighi (2020) a construção sustentável impulsiona práticas como: gestão da inovação, aplicação de tecnologias de ponta, e gerenciamento de recursos humanos. Essas práticas são exatamente o que os países buscam com o Objetivo 9 dos ODS - Indústria, Inovação e Infra-estrutura (Solaimani e Sedighi, 2020).

O Objetivo 11 dos ODS- cidades e comunidades sustentáveis - está diretamente relacionado com a construção civil. Os edifícios são a base de uma cidade. Casas, escolas, escritórios, lojas, e espaços abertos, todos em conjunto formam os bairros e distritos. Construções sustentáveis devem ser vistas em grupo, de maneira holística, com planejamentos urbanos, para atingir aos objetivos de redução de impactos ambientais. Assim, políticas públicas que promovem o controle da urbanização e o acesso à moradia segura, adequada e de

baixo impacto ambiental que são metas do objetivo 11, se coincidem com o conceito de edificações sustentáveis (Canada Green Building Council, 2016; Hajare e Elwakil, 2020).

A construção verde melhora a eficiência e a infra-estrutura da comunidade. Ela considera não apenas o uso de energia, mas também o uso de materiais. Uma gestão sustentável dos recursos naturais é o Objetivo 12, dos ODS- consumo e produção responsáveis. A construção civil é um dos grandes consumidores de recursos e geradores de resíduos. Por isso, o caso de uma construção com eficiência no uso de recursos e que enfatize reciclar e reutilizar tem um papel importante no desenvolvimento sustentável mundial (Kansal e Kadambari, 2010; Murtagh, Scott e Jingli Fan, 2020).

O Objetivo 13 dos ODS- ação climática - é um ponto que facilmente conseguimos relacionar com os edifícios sustentáveis. A implantação de medidas de eficiência energética em edificações reduz as emissões globais de GEE. Uma maior conscientização da população, estratégias claras e planejamentos nacionais, metas incluídas nesse objetivo, impulsionam o mercado de construções sustentáveis (Murtagh, Scott e Jingli Fan, 2020; World Green Building Council, 2017).

Como foi apresentada, a indústria da construção civil se relaciona de maneira direta ou indireta com Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Os edifícios podem contribuir para o bem estar e saúde das pessoas, a promoção de inovação, crescimento econômico, consumo consciente, preservação do meio ambiente e outros.

2.2- Edificações NZEB

As edificações NZEB, com necessidades quase nulas de energia, são edificações que se aplicam ao contexto de uma edificação sustentável (Murtagh, Scott e Jingli Fan, 2020).

Um dos primeiros autores a falar sobre o conceito foi Torcellini *et al.* (2006) o qual afirma que um edifício com energia nula é “um edifício residencial ou comercial com necessidades de energia significativamente reduzidas”. Torcellini pontuou que alguns aspectos influenciam essa construção, como: objetivos do projeto; preocupação com o clima e emissões de GEE; e o custo de energia.

Estudos recentes mostram que esses aspectos continuam válidos. Piderit *et al.* (2019) resumiram uma construção ZEB em quatro princípios, sendo estes: abordar a eficiência energética, manter a qualidade ambiental interna, reduzir a emissão de carbono associada ao consumo de energia e fazer uso de fonte de energia renovável.

O tipo de fonte de energia citado anteriormente é um aspecto relevante no ZEB. As necessidades de energia não são supridas por combustíveis fósseis, mas utilizam fontes de energia renováveis, como por exemplo, o uso de energia solar. Esse é um dos principais aspectos para alcançar seus objetivos sustentáveis de redução de impactos ambientais (International Energy Agency, 2013).

De acordo com Kilkis (2007), o edifício com necessidades zero de energia é um edifício que tem soma total de transferência de energia igual a zero em um determinado período de tempo. Em um caminho similar, Jens Laustsen (2008) defende que um ZEB é um edifício neutro no aspecto de demanda e oferta de energia.

O termo ZEB é amplo e geralmente incluem edifícios autônomos, independentes. De certa maneira, eles geram toda a energia necessária para o funcionamento da edificação. Devido a sua difícil implantação, estudiosos incluíram o termo “net” que se tornou um degrau para o objetivo inicial. O NZEB que é o tema deste trabalho é então um edifício neutro no aspecto de energia “líquida” segundo os parâmetros estipulados. Neste modelo aprimorado, a edificação deve estar conectada a uma rede de suprimento, podendo receber energia da rede para suprir sua demanda, ou podendo fornecer energia à rede, no caso do sistema de energia da edificação gerar energia excedente ao consumo local, mantendo um equilíbrio de saldo zero (Laustsen, 2008; Sartori *et al.*, 2010; Sulzakimin *et al.*, 2020).

Pensando nessa interação do edifício com a rede, os autores Sartori et al (2010) resumiram a avaliação de um NZEB em duas palavras: balanço energético. Esse balanço é alcançado por meio da equação de energia:

$$\text{Net ZEB: } | \textit{exportada} | - | \textit{importada} | \cong 0$$

Ou seja, o balanço entre energia importada da rede e a exportada deve ser próxima de zero em um determinado período de tempo.

Com o objetivo de clarear essa definição de um edifício energeticamente neutro, Marszal et al (2011) analisaram algumas questões importantes através do estudo de metodologias existentes e enumeraram as suas principais conclusões (Figura 5). Primeiro, nesta pesquisa foi pontuado que a energia primária é a métrica mais favorecida. Segundo, quanto ao período de balanceamento a ser considerado, foi observado que este cálculo pode variar a desde o período de ciclo de vida de uma edificação (por exemplo, 50 anos), até saldos sazonais, ou mensais. No entanto, devido aos limites de programas de simulação, e aspectos relativos a materiais de construção, a literatura existente afirma que o período mais favorecido é o saldo de energia anual. O terceiro aspecto é o tipo de saldo. Os NZEBs conectados a rede podem ter dois tipos de equilíbrio no saldo, que são: (1) consumo de energia versus geração

de energia renovável, (2) energia fornecida ao edifício versus a energia fornecida para a rede. O estudo observou então que o primeiro saldo é o mais aplicável durante a fase de projeto do edifício e o segundo na fase de monitoramento. Um quarto aspecto é o suprimento de energia, que pode estar disponível no local, como o sol e o vento, ou precisar ser transportada, como a biomassa. Assim, ficam duas opções de fornecimento de energia renovável, sendo de suprimento local ou externo. Essas questões foram as mais importantes entre as destacadas por Marszal et al(2011) que serviram de base para outros estudos e implementações de NZEB.

Figura 5 - Matriz das métricas mais utilizadas

	Metric of the balance				Period of balance		Type of balance		Renewable supply options	
	Delivered energy	Primary energy	CO ₂ emissions	Energy cost	Annual	Monthly	Generation/ Use	Grid in/out	On-site	Off-site
Meth. 1		✓			✓		✓		✓	
Meth. 2		✓			✓		✓		✓	
Meth. 3		✓			✓		✓		✓	
Meth. 4	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓
Meth. 5	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
Meth. 6	✓					✓	✓		✓	
Meth. 7	✓	✓	✓		✓		✓		✓	✓
Meth. 8		✓			✓		✓		✓	
Meth. 9	✓				✓		✓		✓	✓
Meth. 10		✓			✓		✓		Not fully defined	
Meth. 11		✓			✓		✓		✓	
Meth. 12		✓			✓		✓		Not fully defined	

* Embodied energy.

Fonte: Marszal et al (2011)

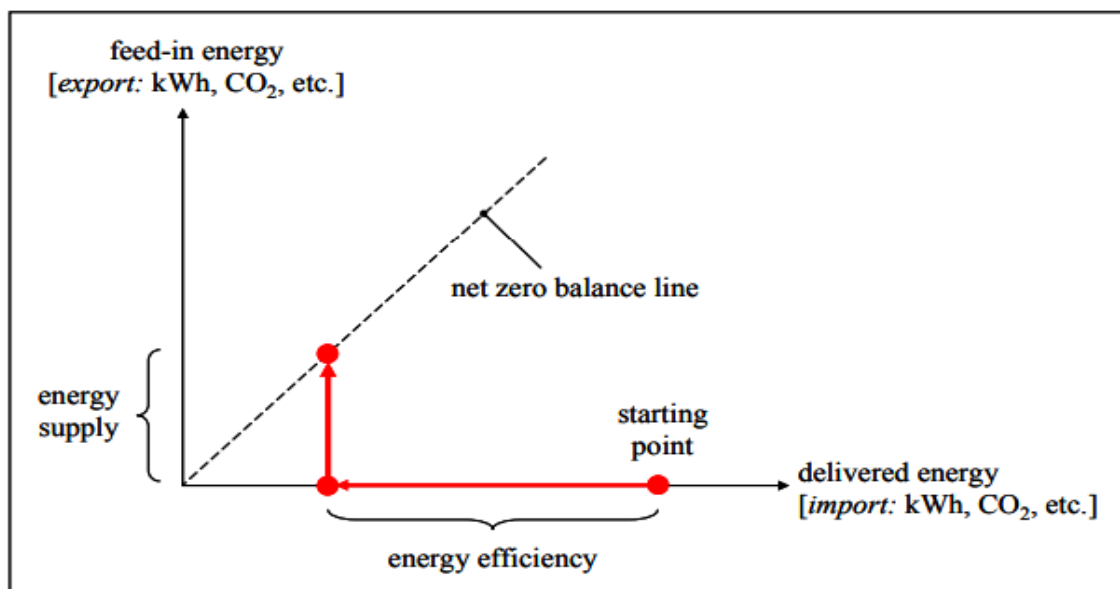
Deste modo, em harmonia com estudos anteriores, uma definição amplamente aceita é a de Deng et al (2014), que fala de uma estrutura de elementos que se relacionam. Segundo esta definição os elementos básicos são: sistema de construção, matriz energética e sistema de ponderação. Dentro de limites, o sistema de construção consome energia fornecida em forma

de eletricidade, gás natural e outros. A energia fornecida é provinda de um sistema de energia renovável da edificação ou de redes externas e pode gerar energia para a rede quando o sistema de energia renovável local gerar excessos, o que acontece normalmente no caso da eletricidade. O sistema de ponderação deve visar o saldo de energia líquida zero (Deng, Wang e Da, 2014).

Mesmo conhecendo as principais métricas de um NZEB, algumas lacunas podem ser abertas no seu conceito. Por exemplo, alguns podem admitir como um NZEB um edifício ‘normal’, no qual a energia renovável é usada em vez de petróleo ou gás. Por esse motivo, alguns autores têm destacado que o NZEB é um edifício diferente desde a etapa de projeto, onde se visa o esforço máximo em minimizar a quantidade de energia necessária proporcionando altos níveis de conforto térmico e visual, por meio de um projeto arquitetônico adequado. Assim, apenas após a redução do consumo de energia, a geração de energia renovável é considerada para fornecer energia compatível com essa demanda (Butera, 2013; Sartori *et al.*, 2010).

Segundo Sartori et al. (2010), esse balanceamento pode ser representado por meio de um gráfico, plotando a energia importada, versus a energia exportada (Figura 6).

Figura 6 - Gráfico de equilíbrio de um NZEB



Fonte: Sartori et al (2010)

O ponto de partida pode representar o desempenho de um novo edifício construído de acordo com os requisitos atualmente conhecidos ou o desempenho de um edifício existente

antes de um trabalho de reforma. O caminho geral para alcançar um NZEB consiste em duas etapas: primeiro, reduzir a demanda de energia (eixo x) por meio de medidas de eficiência energética. Segundo, gerar eletricidade ou outros transportadores de energia para obter créditos suficientes (eixo y) para alcançar o equilíbrio (Sartori *et al.*, 2010).

Com base na construção da definição de um NZEB através da bibliografia existente, podemos observar que entre as abordagens apresentadas, uma estrutura nas estratégias implantadas tem se repetido e esta pode ser considerada uma metodologia de construção com necessidades quase zero de energia.

2.3- Estratégias NZEB

A literatura atual sobre edificações com consumo de energia quase zero destaca que três grupos de estratégias precisam ser considerados. O primeiro grupo está associado a medidas passivas no *design* do edifício, focadas na redução da demanda de energia. O segundo grupo envolve um sistema eficiente no uso de energia, ou seja, escolha de tecnologias eficientes incorporadas à edificação. Com esses dois grupos, o edifício minimiza o consumo de energia. Em seguida são consideradas as estratégias que irão fornecer energia necessária como menor impacto ambiental possível. Assim, no terceiro grupo, temos as estratégias de uso de fontes de energia renováveis finalizando a estrutura de um NZEB conforme apresentado na Figura 7 (Cabeza e Chàfer, 2020; Sulzakimin *et al.*, 2020).

Figura 7 - Estrutura de Estratégias de NZEB



Fonte: Adaptado de Butera (2013)

Uma compreensão individual de cada um desses grupos e as suas respectivas estratégias ajudarão na implantação de um NZEB.

2.3.1 - Arquitetura Passiva

A fase inicial de projeto é uma fase crucial, pois é quando a maioria das decisões é tomada (Konis, Gamas e Kensek, 2016; Taghizade, Heidari e Noorzai, 2019).

Os edifícios fazem parte do ambiente, eles usam as condições solares e de ventos e por isso, eles podem ser otimizados se esses aspectos climáticos e geográficos forem considerados. Quando esses dados são avaliados na fase de projeto, o desempenho do ciclo de vida da edificação e o conforto dos ocupantes podem ser positivamente influenciados. Segundo pesquisas, decisões de projeto podem impedir um consumo de energia não renovável, reduzir emissões de gases nocivos e podem maximizar a eficiência energética (Eichner e Elsharawy, 2020).

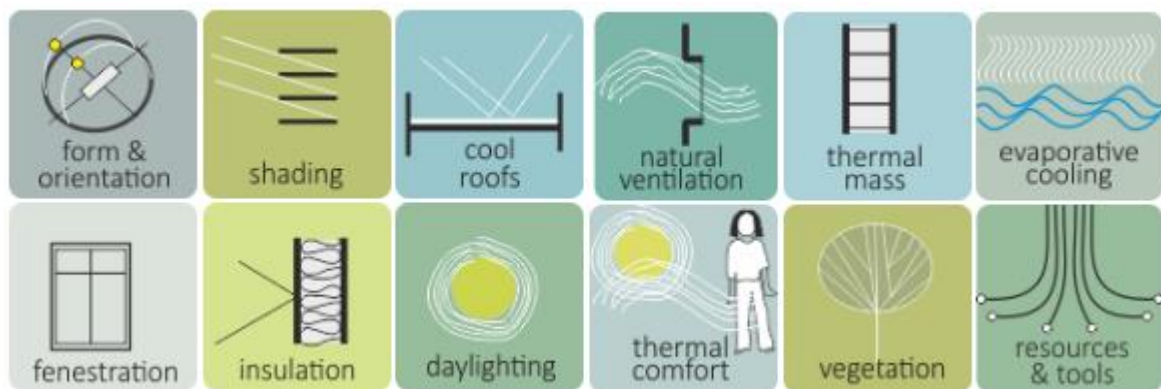
Além disso, de acordo com Kansal e Kadambari (2010) alterações feitas durante o período de projeto podem ter um custo inferior de implantação do que feitas posteriormente e, se feitas nessa fase, podem ter um melhor impacto na edificação. Por estes motivos as estratégias energeticamente eficientes devem ser exploradas na etapa de projeto.

As práticas de eficiência energética que desempenham um papel significativo na fase de projeto são as estratégias de *design* passivo (Figura 8). Essa etapa considera uma análise cuidadosa de itens como: forma da construção, orientação, relação altura / área do piso, relação área da janela/parede, níveis de isolamento, propriedades da janela, refletividade, cor, árvores e outros. O controle dessas particularidades da edificação influencia aspectos importantes como a iluminação natural, ganho de calor, sombreamento e condição de envelopes (Habash *et al.*, 2014; Omrany e Marsono, 2015; Ascione *et al.*, 2016; Becchio *et al.*, 2015; Ferrara *et al.*, 2015; Nduka *et al.*, 2019; Rodriguez-Ubinas *et al.*, 2014).

O edifício que consegue maximizar a quantidade de luz natural do dia reduz a quantidade de energia necessária de iluminação artificial, que é um item imprescindível para uma construção sustentável. Conforme Aeleinei *et al.* (2013), a orientação do edifício de acordo com a luz natural também pode favorecer o aquecimento solar quando a edificação está lidando com desafios de aquecimento. Além disso, estudos mostram que o uso da luz do dia afeta não só o consumo de energia, mas também tem efeito positivo na sensação de bem estar do ocupante (Aeleinei *et al.*, 2013; Aksamija, 2015).

Outro elemento significativo da fase de projeto que tem sido estudado de maneira detalhada é o envelope da construção. Além da geometria da construção, o envelope também influencia o desempenho energético da edificação. O envelope ou a fachada, como chamam alguns autores, tem um enorme impacto na iluminação e na temperatura da edificação. De acordo com Adhikari et al. (2011) as avaliações de envelopes de edifício demonstraram que as transmitâncias térmicas da envolvente modificam a carga térmica do edifício. Diante disso, o envelope deve ser desenvolvido de acordo com o clima da edificação. Por exemplo, Belussi et al (2019) verificaram que em climas frios os isolamentos térmicos, os elementos opacos e os transparentes aumentam o desempenho da edificação. Em climas quentes, baixos níveis de isolamento, onde há movimentação térmica entre dia e noite, explorando o efeito de resfriamento livre é uma tática relevante. Em climas amenos, os autores verificaram que o controle de radiação solar com componentes transparentes permite ganhos livres. A utilização de sistemas de sombreamento internos e externos (persianas, brises, etc.) operando de acordo com a posição solar ou o uso de elementos de envidraçamento com baixo fator solar, normalmente alcançam resultados desejados. Neste campo de estudo, novas tecnologias passivas de isolamento térmico, telhados refletores/ verdes e materiais sustentáveis, têm ganhado bastante espaço no meio da construção civil (Adhikari, Aste e Pero, 2011; Belussi *et al.*, 2019; Cabeza e Chàfer, 2020; Thalfeldt, Pikas e Kurnitski, 2013).

Figura 8 - Recursos de um Design Passivo



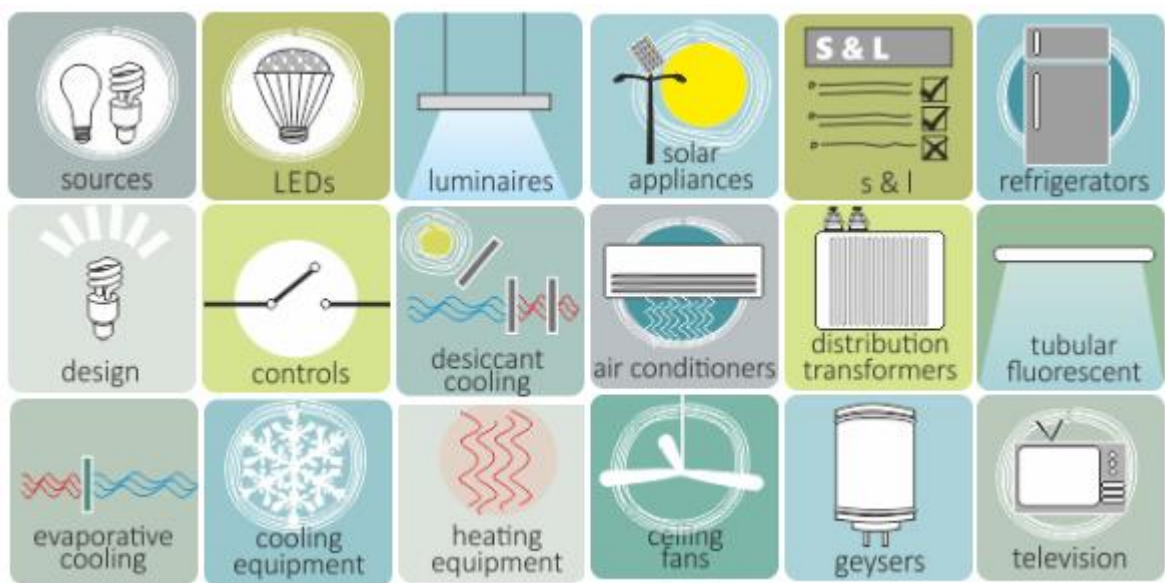
Fonte: Adaptado de www.nzeb.in

2.3.2 – Tecnologias Eficientes

As medidas passivas devem ser aplicadas e, após elas, medidas ativas de redução de consumo de energia são implantadas. Existem inúmeras tecnologias de eficiência energética que podem ser aplicadas em edifícios (Chleda et al., 2009; Harvey;2009; e Ardente et al., 2011; Nduka et AL,2019).

Os grandes pontos focais em que essas tecnologias podem ser aplicadas são: sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC), iluminação artificial e aparelhos eficientes (Figura 9). A otimização desses pontos interfere principalmente no consumo de energia na fase de operação e manutenção da edificação (IEA, 2013; Ruparathna et al., 2016).

Figura 9 - Recursos de Tecnologias Eficientes



Fonte: Adaptado de www.nzeb.in

O conjunto de sistemas de HVAC é o elemento de maior consumo de energia de um edifício. Esses sistemas devem atender às demandas de aquecimento e resfriamento do ambiente, a água quente de consumo, e devem ser eficientes sem deixar de levar em conta o conforto térmico e qualidade do ar (Mussal e Voss, 2012; Sulzakimin *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2016).

Segundo Fasiuddin e Budaiwi (2011), a seleção e operação adequada dos sistemas de HVAC podem proporcionar uma economia de energia em até 25%, mantendo condições internas aceitáveis. Em concordância a esses estudos, Ruparathna et al. (2016) afirmaram que

uma modernização dos sistemas mecânicos do edifício surte um grande efeito no desempenho energético da construção (Fasiuddin e Budaiwi, 2011; Nduka *et al.*, 2019; Ruparathna, Hewage e Sadiq, 2016).

Algumas estratégias de ventilação variável de ar, aquecimento solar de água quente, recuperação de calor, armazenamento térmico e outros, têm apresentado bons resultados energéticos (Fabrizio, Seguro e Filippi, 2014; International Energy Agency, 2013; Okochi e Yao, 2016).

A iluminação representa mais de 15% do consumo total de energia em edifícios. Pesquisadores avaliaram vários métodos para melhorar o desempenho de um sistema de iluminação. Esses métodos incluem o uso de luminárias de baixa potência, projeto de iluminação com base em tarefas, sistemas de iluminação ligados à luz do dia e o uso de sensores de ocupação. Neste caso, as luminárias com tecnologia LED possuem grande vantagem quando analisado aspectos de potência e custo. Por isso, o uso deste tipo de luminária de baixa potência tem sido a estratégia energética mais utilizada para atingir os níveis de eficiência energética desejados (Aghemo, Blaso e Pellegrino, 2014; Khan e Abas, 2011; Mussal e Voss, 2012).

A seleção de aparelhos eficientes é um item importante para o controle energético da edificação. Ainda nesse aspecto, o uso de máquinas de lavar e máquinas de lavar louça com conexão de água quente de aquecimento solar podem ser uma estratégia a ser utilizada que irá afetar o balanço energético. O acompanhamento energético de aparelhos deve ser feito desde o momento em que são adquiridos, e deve continuar durante o período de sua utilização (Mussal e Voss, 2012; Nduka *et al.*, 2019; Sulzakimin *et al.*, 2020).

Todas essas tecnologias consumidoras de energia devem incorporar o comportamento, o status socioeconômico e as necessidades humanas do usuário, para que possam ser eficientes em todo o ciclo de vida da edificação (McNabb, 2013).

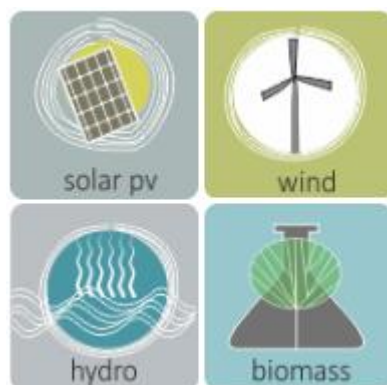
2.3.3 – Fonte de Energia Renovável

O sistema de fonte de energia renovável deve ser a última etapa de um NZEB. Após todas as medidas possíveis serem realizadas na edificação, o sistema de energia renovável intervém para suprir a demanda de energia que deve ser residual, ou seja, quase zero (Cabeza e Chàfer, 2020; Sulzakimin *et al.*, 2020).

A energia renovável normalmente pode ser gerada externamente no nível da concessionária ou no local em pequena escala (Marszal *et al.*, 2011; Sartori, Napolitano e Voss, 2012).

As fontes de energia renováveis que podemos utilizar na obtenção do NZEB podem ser: solar (como o uso de aquecedores solares de água quente e módulos fotovoltaicos), eólica, biomassa, hidrelétrica e outras (Figura 10) (IEA, 2020a; Nduka *et al.*, 2019).

Figura 10 - Fontes de Energia Renovável



Fonte: Adaptado de www.nzeb.in

Com a redução de custos para a energia solar fotovoltaica e eólica, esses dois tipos de fonte de energia vêm trilhando um grande crescimento. Atualmente, a fonte de energia fotovoltaica é o sistema mais amplamente utilizado no setor de energia renovável na construção. Estima-se que a capacidade de energia renovável possa aumentar em 50% entre 2019 e 2024 liderada pela energia solar fotovoltaica. A energia solar fotovoltaica sozinha seria responsável por quase 60% do crescimento esperado, com a energia eólica onshore representando um quarto no contexto mundial (IEA, 2020a).

As fontes eólicas possuem ampla disponibilidade, mas merecem considerações sobre carga estrutural, ruído e padrão de vento que limitam sua aplicabilidade (Nduka *et al.*, 2019; Torcellini *et al.*, 2006).

Fontes de energia geotérmicas também têm sido estudadas com aplicabilidade em edificações. A energia geotérmica pode fornecer aquecimento, resfriamento e geração de energia a partir de recursos hidrotérmicos de alta temperatura, utilizando as bombas de calor, sistemas aquíferos com baixas ou médias temperaturas e recursos de rochas quentes. Esta fonte de energia tem suas propriedades únicas e específicas de acordo com sua localização, temperatura e profundidade. Devido a isso, estudos sugerem que esse sistema pode não ser economicamente viável em cidades de climas tropicais em função do seu desempenho

ineficiente quanto à alta demanda de resfriamento. Assim, o desequilíbrio térmico no solo em razão da demanda de resfriamento consideravelmente maior que a de aquecimento pode aumentar em cidades tropicais (IEA, 2020; Nduka *et al.*, 2019).

A bioenergia, a energia derivada de material orgânico denominado biomassa, é uma energia renovável que também pode ser utilizada. Atualmente ela é mais comumente utilizada para aquecimento e transporte, mas, ela pode eventualmente contribuir para equilibrar a rede elétrica, inclusive como forma de armazenamento de energia solar (IEA Bioenergy, 2017).

Uma fonte de energia que tem sido tema de pesquisas mais recentes é o hidrogênio. Diante de restrições às emissões ambientais e da escassez de petróleo, esta uma fonte energética tem sido estudada para ser empregada como substituto de combustíveis fósseis. No caso das edificações, o hidrogênio pode ser empregado para apoiar o sistema elétrico também na área de armazenagem de energia (Bocci, Zuccari e Dell'era, 2011; Coelho B, Oliveira AC, Mendes, 2010; Deng, Wang e Da, 2014).

Diante de tais opções, as fontes de energia solares têm sido as preferidas. A fonte de energia solar fotovoltaica pode apresentar uma limitação de acordo com localização, dia, mês, estação, mas ainda assim é amplamente utilizada. Esse tipo de fonte de energia é encarado como o mais fácil de ser integrado aos edifícios (Nduka *et al.*, 2019).

O Brasil possui um ótimo potencial de geração devido a excelente incidência solar, fazendo com que esta tecnologia seja altamente expandida. As condições climáticas e geográficas são altamente favoráveis, podendo assim obter energia praticamente o ano inteiro (IEA, 2020).

2.4- Avaliação Energética

As estratégias apresentadas são utilizadas na etapa de implantação de um NZEB, porém, esta não é a única etapa que interfere no resultado esperado. Alguns autores compartilham a opinião de que o estudo do desempenho energético dos edifícios durante a fase de operação, através de avaliações energéticas, é um caminho essencial para alcançar o êxito (Dronkelaar, Van *et al.*, 2016; Xie *et al.*, 2020).

Segundo Hong *et al.* (2015), na avaliação do desempenho energético de um edifício, a edificação deve ser reconhecida como um ser vivo, sendo visto de uma perspectiva macroscópica. Eles defendem que um edifício está intimamente relacionado ao desempenho de outro, como por exemplo, ter um sombreamento desejado ou não. O foco apenas no

edifício individual pode levar a negligenciar interações significativas em escala urbana, mudar os impactos e ignorar oportunidades de melhorar o desenvolvimento urbano sustentável. De acordo com Soares et al (2017), estudar o comportamento do edifício como parte de um bairro ou distrito, com a possibilidade de compartilhar recursos e sistemas, a fim de otimizar a eficiência e custos, traz benefícios para a produção de energia (Geraldi e Ghisi, 2020; Hong *et al.*, 2015; Soares *et al.*, 2017).

Alem disso, assim como a condição de saúde de uma pessoa deve ser gerenciada ao longo de sua vida, o desempenho energético de uma construção deve ser considerado durante todo seu ciclo de vida. Ou seja, se a condição de saúde de uma pessoa pode ser monitorada e diagnosticada, da mesma maneira o edifício deve ser monitorado e adaptado a resolver problemas como, por exemplo, o excesso de energia (Hong *et al.*, 2015; Ruparathna, Hewage e Sadiq, 2016).

Segundo Kamilaris et al (2014), a avaliação energética é uma iniciativa importante na gestão de energia do edifício. Devido a isso, uma auditoria energética abrangente deve considerar o perfil ambiental, o comportamento dos ocupantes e os dispositivos de energia utilizados no edifício.

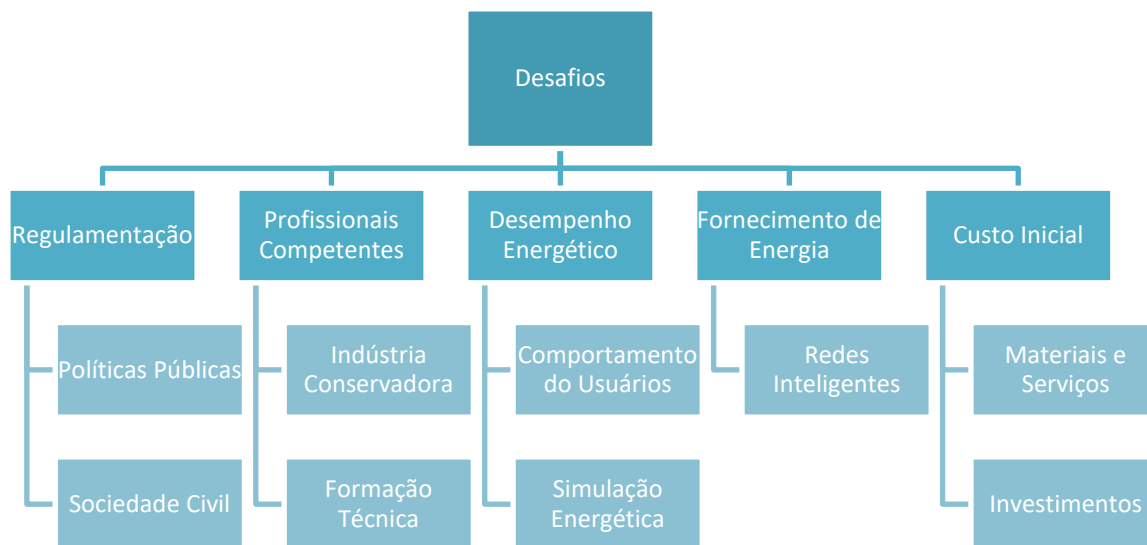
A abordagem de usos finais de energia é essencial, pois pode expor um desperdício de energia, revelar uma ineficiência do sistema e explicar o padrão de consumo. Uma avaliação macroscópica, mas também minuciosa, pode ser feita por meio de tecnologias cada vez mais aperfeiçoadas, com ferramentas digitais e tecnologias de controle de edifícios inteligentes. Alguns autores afirmam que o monitoramento de energia feito através do sistema orientado de Internet das Coisas (IoT) pode dar bons resultados. Fontes de dados como sensores e outros podem explicitar se um déficit no desempenho está relacionado ao mau funcionamento do sistema ou a má utilização do usuário. Além disso, a inclusão de componentes de IoT pode envolver o usuário no papel de gerenciamento de energia e melhorar o desempenho da edificação. Por esses motivos, pesquisadores defendem que as auditorias energéticas devem ser executadas para acompanhar todo o ciclo de vida da edificação (Lamberts *et al.*, 2019; Ruparathna, Hewage e Sadiq, 2016).

2.5- Desafios do NZEB

Apesar de o padrão NZEB possuir atenção internacional e se relacionar com objetivos sustentáveis amplamente conhecidos, construções seguindo esse modelo ainda não são comuns em nossa sociedade. Isto ocorre devido a grandes desafios que se enfrentam para sua concretização. Os principais desafios levantados na literatura atual se relacionam principalmente com ausência de regulamentação, comportamento inadequado de usuários e técnicas que precisam ser aperfeiçoadas, mas também podem incluir outros pontos conforme listados na figura 11 (Hong, Langevin e Sun, 2018; Marszal *et al.*, 2011; Ryghaug e Sørensen, 2009).

Com objetivo de vencer esses e outros obstáculos, autores têm desmembrado esses aspectos críticos. Uma análise desses desafios nos ajudará a caminhar rumo às soluções.

Figura 11 - Desafios de NZEB



Fonte: Autor

2.5.1 – Regulamentação

Um desafio antigo relacionado ao NZEB é a falta de clareza e implantação de políticas públicas (McNabb, 2013; Pan e Ning, 2015; Ryghaug e Sørensen, 2009).

As várias abordagens de um NZEB têm um grande impacto nesse aspecto. Segundo Sartori et al. (2012), todos os países enfrentam diferentes desafios relacionados à infraestrutura energética, em grande parte devido a diferentes condições climáticas e métodos de construção. De acordo com Mohamed et al (2014), essa variedade de abordagens cria uma diversidade no desenvolvimento e na aplicação de tecnologias, equipamentos e projetos. As diversas circunstâncias dos países resultam em inúmeras definições do NZEB. A falta de um consenso sobre o tema impede um conceito amplamente aceito (Mohamed, Hasan e Sirén, 2014; Pan e Ning, 2015; Sartori, Napolitano e Voss, 2012).

Muitas maneiras de vencer esses obstáculos vêm sendo consideradas. A sugestão de Sartori et al. (2012) é que todo país precisa adaptar a definição de NZEB às suas próprias condições específicas para estabelecer seus requisitos de eficiência energética. Neste caso ele exemplificou que fatores de conversão de energia primária ou de emissão de carbono para os transportadores de energia, e uma priorização de certas tecnologias devem ser determinados pelas autoridades nacionais.

Outros autores também constataram que aspectos políticos influenciam a regulamentação do NZEB. Os esforços governamentais são limitados ou inexistentes nesse tema (Ryghaug e Sørensen, 2009).

Segundo Sperling e Arler (2020), alguns passos importantes de uma visão micro para o macro podem ser bem sucedidos. Em primeiro lugar, as autoridades locais precisam identificar profissionais engajados com conhecimento na área energética para explorar novas possibilidades no planejamento climático e energético. Em segundo lugar, considerando benefícios mais amplos que os locais, zonas de compromissos sociais em uma grande escala devem ser criadas com apoio de autoridades nacionais. Assim, deve ser de consciência das autoridades que é de responsabilidade nacional criar e apoiar espaços estratégicos de transição sustentável para instigar uma participação e um comprometimento das pessoas.

Ainda sobre regulamentação, além de faltar políticas públicas sobre a fase de construção do NZEB, pesquisas mostram que faltam códigos relacionados com a avaliação da edificação pós-ocupação. As diferentes definições de um NZEB também influenciam essa etapa, pois para haver uma avaliação, é necessário um escopo de visão em comum. Segundo Nduka et al (2019), falta um processo consistente de avaliação, um método unificado de

avaliação do desempenho energético, que muitas vezes é excluído dos atuais métodos. Além disso, Lamberts et al (2019) destacam que há uma falta de consenso sobre os principais atores envolvidos na prática de avaliação de pós ocupação. Assim, o que se observa é a necessidade de um projeto de regulamentação para edificações em sua fase de construção e também de operação.

No Brasil ainda não existe um programa de incentivo governamental de prazos e metas para implantação do NZEB. Nas últimas décadas, instituições governamentais passaram a desenvolver planos e programas voltados para eficiência energética, e no que se refere a edificações, encontramos dentre esses o programa governamental PROCEL EDIFICA, executado pela Eletrobrás, e coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Neste programa, rótulos são atribuídos de acordo com o desempenho energético da edificação segundo as categorias de envoltória, iluminação e ar condicionado, ou seja, focados nas etapas de arquitetura passiva e utilização de tecnologias eficientes, incluindo bônus para outras ações sustentáveis (figura 12) (Lopes *et al.*, 2016; PROCEL, 2020a).

Figura 12 - Etiqueta PBE Edifica



Fonte: PROCEL

O processo de etiquetagem no Brasil ocorre de forma distinta para edifícios comerciais, de serviço e públicos e para edifícios residenciais. O programa brasileiro é de adesão voluntária, sendo apenas obrigatório para prédios públicos federais, resultando em um baixo engajamento (PROCEL, 2020).

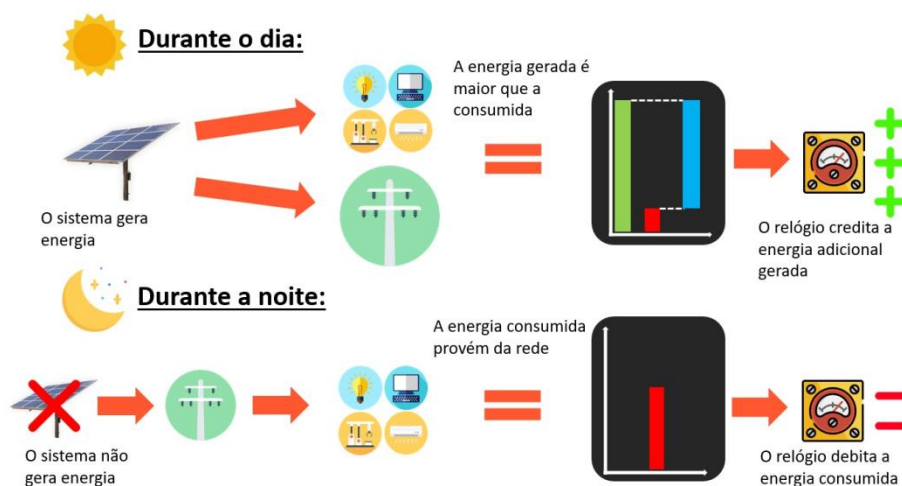
Quando tratamos do terceiro grupo de estratégias para um NZEB, o uso de fonte de energia renovável, a regulamentação brasileira apresenta políticas mais sólidas. Com respeito ao tipo de fonte de energia renovável de maior crescimento, a energia solar fotovoltaica, a regulamentação brasileira é feita pela a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Ela é responsável pela regulamentação de transmissão, distribuição e comercialização de geração de energia solar fotovoltaica (ANNEEL,2015).

Por meio de Resoluções, a ANEEL definiu requisitos para o acesso à microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Além disso, ela determinou os requisitos do sistema de compensação de créditos (ANNEEL, 2015).

De acordo com as resoluções normativas n°482 e n°687, o sistema de compensação de créditos permite que a energia elétrica gerada na edificação possa ser injetada na rede de distribuição da concessionária, e assim gerar créditos para o consumidor poder posteriormente abater o valor na fatura de energia. A regulamentação define o período de compensação, atualmente de 60 meses para utilização de créditos, e os tipos de geração de acordo com a potência instalada, assumindo os limites de 75kW para microgeração e 3MW para minigeração (ANEEL, 2015).

Segundo as resoluções vigentes, não é possível vender energia solar quando se faz parte do sistema de compensação de créditos. Ou seja, estes consumidores não podem vender energia, pois dentro do prazo estipulado, essa energia excedida poderá ser consumida, por exemplo, quando o sistema não estiver gerando energia durante o período da noite ou dias nublados (figura 13) (Instituto Solar, 2020).

Figura 13 - Compensação de Energia



Fonte: Você Solar

2.5.2 – Profissionais Competentes

Uma barreira ao NZEB apresentada por alguns autores é a força de trabalho inadequada. A indústria da construção civil é vista como rígida e conservadora. Muitos profissionais da área, como projetistas, construtores e empreiteiros, relutam na incorporação de novas tecnologias. A falta de responsáveis técnicos envolvidos e qualificados influencia não só a construção de um NZEB, mas também a operação e manutenção da edificação. Isso se dá, pois sem profissionais competentes, a fiscalização é ineficiente (McNabb, 2013; Ryghaug e Sørensen, 2009; Yoshino, Hong e Nord, 2017).

Esses aspectos expostos pelos pesquisadores podem ser vistos na realidade brasileira. Por exemplo, no caso do programa governamental PROCEL EDIFICA, a avaliação é realizada por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro. No entanto, no momento o programa possui apenas dois organismos de inspeção o que dificulta a sua disseminação. De acordo com McNaab (2013), o conhecimento deve então ser difundido em universidades e uma capacitação de profissionais do mercado deve ser estimulada (McNabb, 2013; INMETRO, 2020; PROCEL, 2020a).

2.5.3 – Desempenho Energético

Um indicador técnico de êxito de um NZEB é o desempenho energético. Os resultados obtidos em estudos mostram que é comum uma lacuna de desempenho entre o real e o projetado. Este é um grande desafio, pois segundo pesquisas, essa diferença existe por diversos motivos (Calì *et al.*, 2016; Dronkelaar, Van *et al.*, 2016; Frei, Sagerschnig e Gyalistras, 2017; Menezes *et al.*, 2012; Robinson, Foxon e Taylor, 2016).

Alguns autores indicam que tanto o comportamento dos ocupantes, como também a ineficiência dos sistemas operacionais são influenciadores do desempenho. Além disso, os programas de simulação, que fornecem os dados de desempenho projetado, possuem algumas limitações que precisam ser superadas (Menezes *et al.*, 2012; Yan *et al.*, 2015).

2.5.3.1 – Comportamento de Usuários

Segundo McNabb (2013), quase todos os proprietários não conhecem a pegada energética e de carbono de sua própria residência. A falta de conhecimento é um parâmetro negativo, pois o usuário tem um forte impacto na edificação (Marszal e Heiselberg, 2010).

Um estudo realizado por Wilde (2014) identificou que o consumo de energia se relaciona com seis principais fatores: (1) clima, (2) envelope da construção, (3) serviços de construção e sistemas de energia, (4) operação e manutenção predial, (5) atividades e comportamento dos ocupantes e (6) qualidade ambiental interna. Dentre esses, o estudo revelou que os últimos três fatores, relacionados ao comportamento humano, podem ter uma influência tão grande quanto ou maior que os três fatores anteriores, relacionados à construção. Em uma mesma linha de raciocínio, Butera (2013) averiguou que o desafio de um NZEB não se limita à fase de projeto, mas se estende à fase de operação, pois um edifício bem projetado pode se tornar um desperdício de energia se não for operado adequadamente e se os ocupantes não tiverem consciência da energia. Para Menezes et al (2012), a interação do humano-construção apresenta bastante dificuldade, pois pode variar dentro de uma população ocupante, e até mesmo em um único indivíduo ao longo do tempo.

Segundo Lamberts et al. (2019), para melhorar as práticas de pós ocupação, algumas transições são necessárias. O conhecimento de pesquisadores ou orientadores sobre o tema precisa passar para os proprietários/ ocupantes da edificação, o conhecimento da academia deve ser passado para indústria, resultando assim na disseminação de conhecimento técnico.

Alguns autores defendem um treinamento dos usuários do edifício. Fornecer aos usuários um entendimento e controle do sistema de energia do edifício, além de promover programas intensivos de conscientização para reforçar os esforços de eficiência energética a nível organizacional, pode dar bons resultados. Os estudos provam que o compartilhamento de informações relevantes, informações lógicas e práticas inspiram os consumidores na participação e no monitoramento do desempenho (Buck e Young, 2007; Ibrahim *et al.*, 2014; McNabb, 2013; Nduka *et al.*, 2019; Ruparathna, Hewage e Sadiq, 2016).

2.5.3.2 – Simulação Energética

O desempenho energético projetado normalmente é obtido por meio de ferramentas digitais – os programas de simulações. Dados reais experimentais incluídos em simulações digitais podem fornecer informações que serão úteis na hora das decisões dos responsáveis técnicos. A utilização de modelos de simulações energéticas tem permitido melhorar a pegada ecológica durante todo o ciclo de vida; explorar implicações da qualidade ambiental arquitetônica; identificar e avaliar as emissões dos materiais; e calcular e representar o impacto ambiental dos edifícios em grupo (Deng, Wang e Da, 2014; Eichner e Elsharawy, 2020).

No entanto, esses programas apresentam suas próprias limitações. Segundo Hong, Langevin e Sun (2018), enquanto a precisão da simulação da construção de modelos de energia é determinada por milhares de parâmetros, geralmente existem dados limitados de medição disponíveis como entradas de calibração. Além disso, características urbanas de entorno afetam o desempenho, porém o que se observa é que os programas representam edifícios individuais, quando deveriam representá-los em escala comunitária. Neste tipo de modelagem é necessária a representação com precisão do micro clima urbano, o que constitui-se outro enorme desafio (Hong, Langevin e Sun, 2018; Pisello *et al.*, 2014).

Uma visão comum de diferentes autores é que mais pesquisas são necessárias para explorar os vínculos de desempenho. Para alguns, fazer uso dos dados obtidos na fase de operação, através das auditorias energéticas, é um caminho promissor para alcançar programas de simulação mais refinados, e uma compreensão de uso mais próximo do real. O *feedback* das preferências humanas e o padrão de manutenção predial promove então dados empíricos da etapa de pós-ocupação que podem ser incorporados na modelagem, ou seja, no processo de simulação (Choi, Loftness e Aziz, 2012; Dronkelaar, Van *et al.*, 2016; Geraldi e Ghisi, 2020; Menezes *et al.*, 2012; Xie *et al.*, 2020).

A coleta de dados desta etapa de operação deve ter como alvo uma grande amostra de ocupantes, a fim de fornecer informações amplamente representativas dos comportamentos observados (Yan *et al.*, 2015).

2.5.4 – Fornecimento de Energia

Apesar de eficiência energética ser um assunto de relevância, atualmente ainda falta conhecimento técnico em algumas áreas. Esse fato tem sido uma barreira a boas decisões de projeto da edificação. Um aspecto que muitos autores observaram é que o consumo de energia renovável está associado a condições técnicas existentes. Porém, atualmente as tecnologias estão mais adaptadas ao consumo de energia fóssil. Além disso, fontes de energia renováveis existentes muitas vezes não são compatíveis com a geografia. Devido a isso, Xie e al (2020) afirmaram que ainda é necessário desenvolvimento tecnológico nessa área para viabilizar a transição de fonte de energia fóssil para renovável (Butera, 2013; Ruparathna, Hewage e Sadiq, 2016; Xie *et al.*, 2020).

Outro desafio do NZEB também relacionado ao fornecimento de energia é a interação do edifício-rede. Um primeiro aspecto é a dificuldade de obter correspondência de carga, ou seja, alcançar anualmente um equilíbrio entre consumo de energia de um edifício e a produção

de energia renovável. Segundo estudos, construções no padrão NZEB que são interligadas a uma matriz energética, principalmente no caso da rede elétrica, apresentam problemas como estabilidade e qualidade de energia. Além disso, é um desafio essa interação de edifício-rede porque o custo de energia pode ser avaliado de maneira diferente dependendo das condições de rede que mudam rapidamente (Butera, 2013; Sartori, Napolitano e Voss, 2012).

Em frente a isso, Sartori, Napolitano e Voss (2012) sugere que opções devem ser comparadas no nível de matriz energética, para tirar proveito de uma economia em escala e equalização de picos. O controle rápido de demanda e oferta de grupos de edifícios deve ser feito para manter um bom funcionamento e segurança da rede. Para isso, Hong, Langevin e Sun (2018) defendem que o uso de vários tipos de armazenamento de energia e eletricidade são essenciais para cargas críticas nesses edifícios que também devem operar em modos de serviços parciais, no tempo e no espaço (Butera, 2013; Hong, Langevin e Sun, 2018; Sartori, Napolitano e Voss, 2012).

2.5.5 – Custo Inicial

Um desafio comum a novas tecnologias é o alto custo inicial. M. Hu (2019) destaca que há um alto custo de instalação de tecnologias eficientes e fontes de energia renováveis. Este custo cria medo em investidores. Segundo pesquisas, faltam incentivos exclusivos, como vincular o crédito de carbono de consumidores a benefícios pessoais. Também foi observado que faltam incentivos fiscais para desenvolvedores e usuários de tecnologias ZEB. Além disso, estudos mostram que existe um monopólio em projetos e construções com tecnologias renováveis, o que afeta o preço de oferta (Hu, 2019; Marszal *et al.*, 2011; McNabb, 2013).

Portanto, investimentos precisam ser feitos na área de construção sustentável. Segundo Sperling (2020), o governo deve direcionar fundos de apoio a investidores locais. Xie e al (2020) também destacam a necessidade de investimentos de parte do governo na indústria de energia renovável, indústria de economia de energia, e proteção ambiental. Além disso, bancos deveriam reduzir adequadamente taxas de empréstimos por meio de sistemas de créditos para promover o desenvolvimento do setor de energia renovável (Sperling e Arler, 2020; Xie *et al.*, 2020).

3. METODOLOGIA

O estudo foi fundamentado em um modelo de pesquisa exploratória realizada por meio de uma revisão bibliográfica sobre o tema. Conforme Gray (2012), o estudo exploratório busca investigar um fenômeno por meio de busca na literatura e entrevistas a especialistas e/ou grupos interessados. Esse tipo de estudo ajuda a definir se há margem para mais pesquisas sobre o tema ou não (Gray, 2012).

Para o presente estudo, o levantamento bibliográfico foi feito utilizando a técnica de bibliometria. Segundo Ribeiro (2017), esta técnica de análise de pesquisa visa estudar publicações, livros e artigos sobre um assunto para quantificar, analisar e avaliar a produção acadêmica científica o tema, sendo assim, adequada para este estudo (Ribeiro, 2017).

Uma base de dados foi escolhida para este estudo, o portal Scopus. Esta foi a base escolhida, pois é o portal que prevalece em conteúdo desta área de estudo.

Alguns termos foram utilizados nesta pesquisa como “zero energy building”, “energy balance building” e “net zero building”, resultando na amostra indicada na Tabela 1.

Tabela 1: Busca por termos gerais

Termo de Busca	Quantidade de Publicações
“zero energy building”,	5.052
“energy balance building”	5.289
“net zero building”	1.683

Algumas combinações de pesquisa foram feitas adicionando termos específicos, como “advantages”, “challenges” e “strategies” (Tabela 2).

Tabela 2: Busca por combinação de termos

Conectores	Palavras Chaves	Quantidade de Publicações
	“zero energy building”,	
Or	“energy balance building”	
Or	“net zero building”	
And	“challenges”	843

	“zero energy building”,	
Or	“energy balance building”	
Or	“net zero building”	
And	“strategies”	1.547

	“zero energy building”,	
Or	“energy balance building”	
Or	“net zero building”	
And	“advantages”	437

A pesquisa foi refinada com o uso de alguns filtros. Estes foram: (a) artigos publicados no período de 2000 a 2020; (b) Subáreas: Engenharia, Energia e Ciência Ambiental.

Após o uso dos filtros, a seleção de artigos a serem analisados foi realizada com base em dois critérios: (a) a seleção dos 60 periódicos mais relevantes – seleção realizada pelo próprio banco de dados CAPES; e (b) Leitura de títulos e resumos, para avaliar se os artigos atendem aos objetivos do estudo.

Tabela 3: Critério de Seleção de periódicos

Conector	Palavras Chaves	Quantidade de Publicações			
		Todos	Após Filtros	Mais relevantes	Leitura de título e/ou resumo
	“zero energy building”				
Or	“energy balance building”				
Or	“net zero building”				
And	“challenges”	843	698	60	60

	“zero energy building”				
Or	“energy balance building”				
Or	“net zero building”				
And	“strategies”	1.547	1342	60	60

	“zero energy building”				
Or	“energy balance building”				

Or	“net zero building”				
And	“advantages”	437	354	60	60
Total		2827	2394	180	180

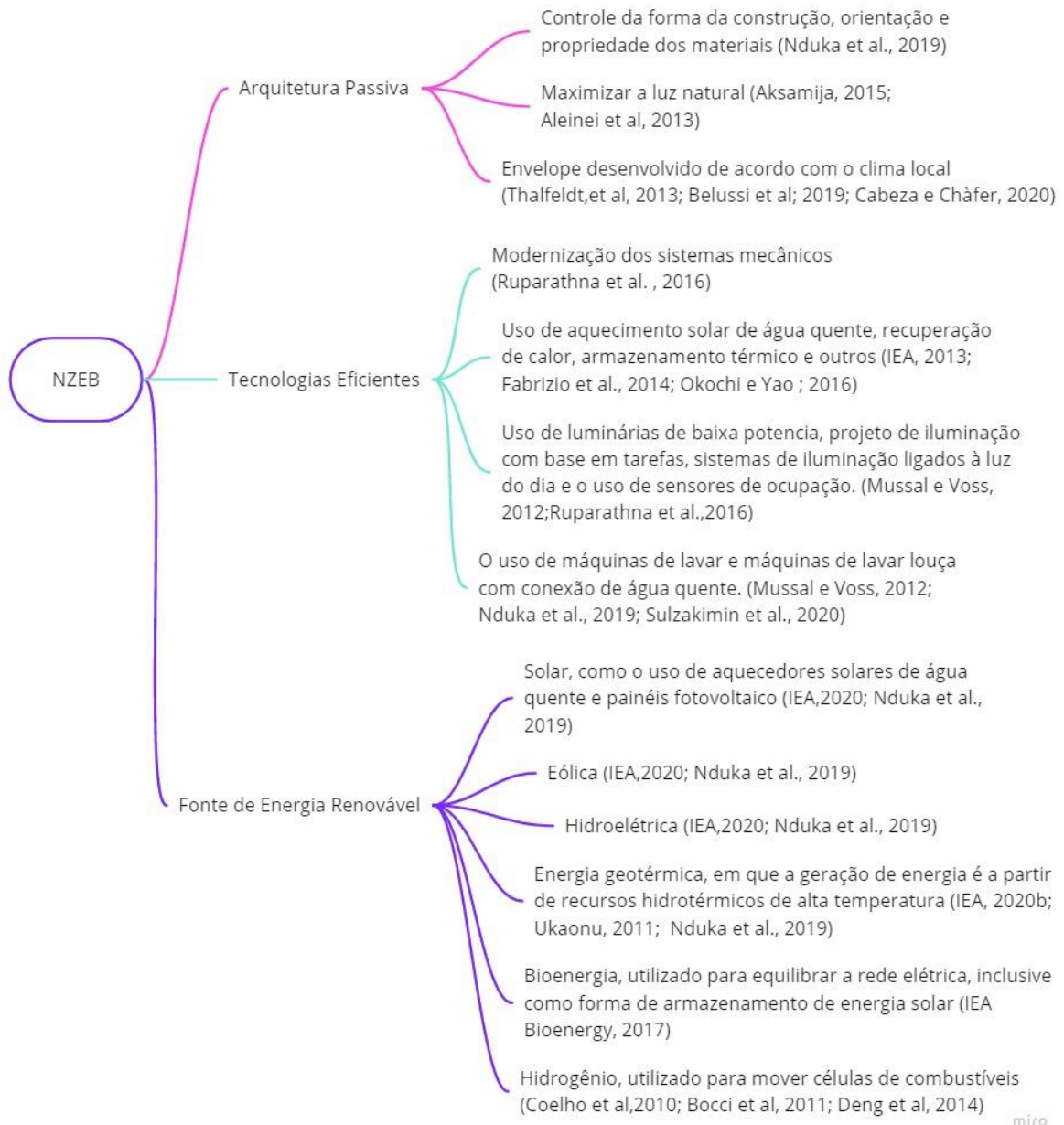
Após a aplicação de tais critérios, foi observado um total de 180 periódicos relacionados com o tema.

Para complementar o conteúdo do estudo, alguns sites governamentais e relatórios de pesquisa relacionados à energia foram consultados.

4. DESENVOLVIMENTO

A pesquisa desenvolvida neste trabalho acadêmico identificou por meio da literatura existente três grupos principais de estratégias para a implantação de um NZEB. Os grupos e metodologias destes são explicitados a seguir (Figura 14).

Figura 14 - Estratégias de Implementação do NZEB



Fonte: Autor

Assim como a fase de implantação de um NZEB possui certas prescrições, a fase de operação também possui suas recomendações. E uma das práticas que mais interfere no êxito de um NZEB nesta fase é o uso de avaliações energéticas. Assim como foi destacado neste estudo, o uso de auditorias energéticas de uma perspectiva holística tem o efeito de melhorar as interações entre edifícios, permitir o compartilhamento de sistemas e melhorar o desenvolvimento urbano sustentável. Além disso, esse tipo de controle energético permite então expor um desperdício de energia, revelar uma ineficiência do sistema, explicar o padrão de consumo, como também envolver os usuário no papel de gerenciamento de energia e melhorar o desempenho da edificação.

Além de identificar metodologias da construção e controle do NZEB, a revisão bibliográfica do tema identificou que ainda existem lacunas para a implantação deste tipo de construção. Esses obstáculos se relacionam com o comportamento humano, mas também com limitações tecnológicas do setor de construção sustentável. O presente estudo então identificou razões para a existência dessas barreiras, como também baseado em pesquisas anteriores, propôs algumas soluções aos desafios de uma construção NZEB. Os principais pontos desenvolvidos neste trabalho acadêmico são destacados nas figuras 15 e 16.

Figura 15: Desafios de NZEB

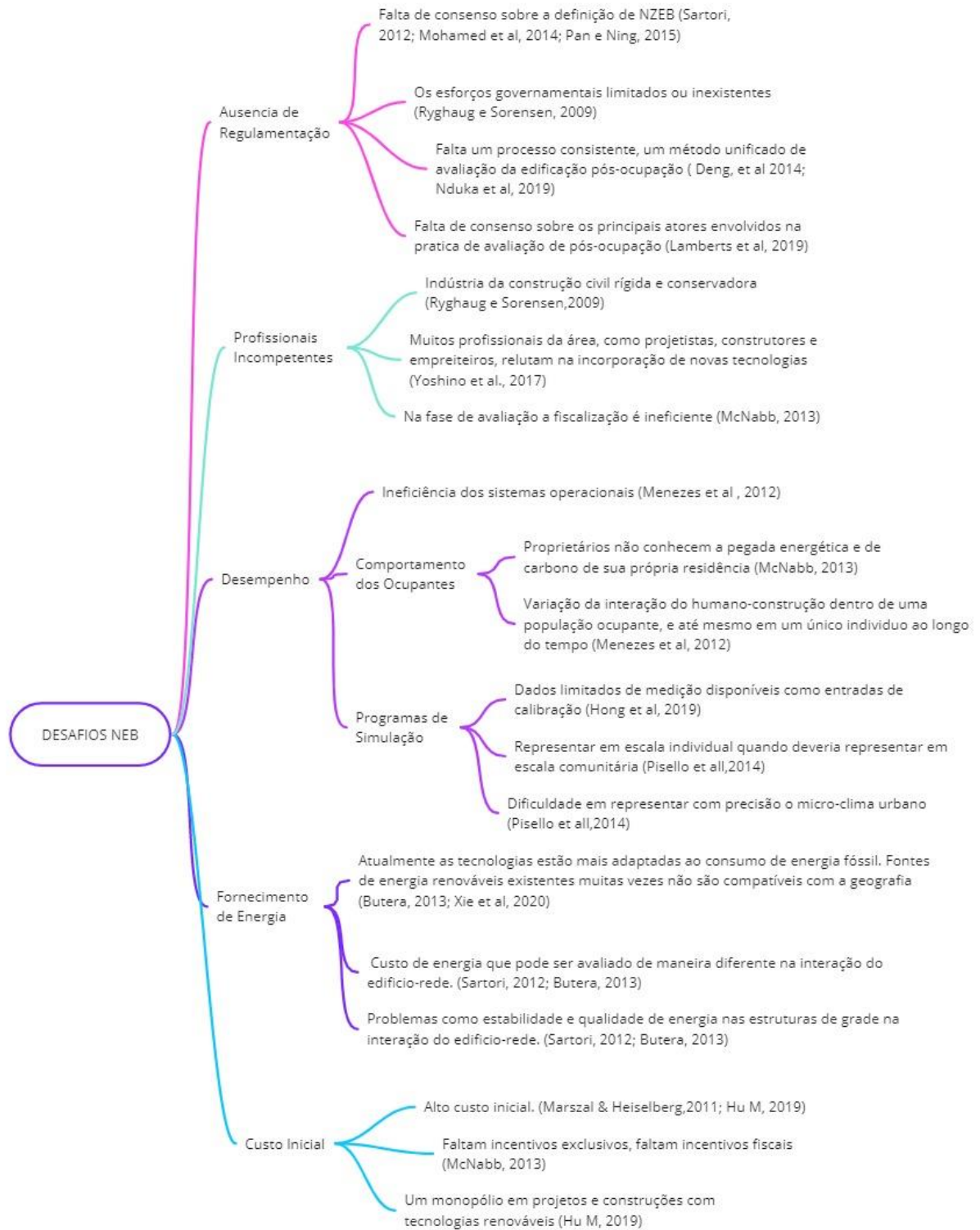
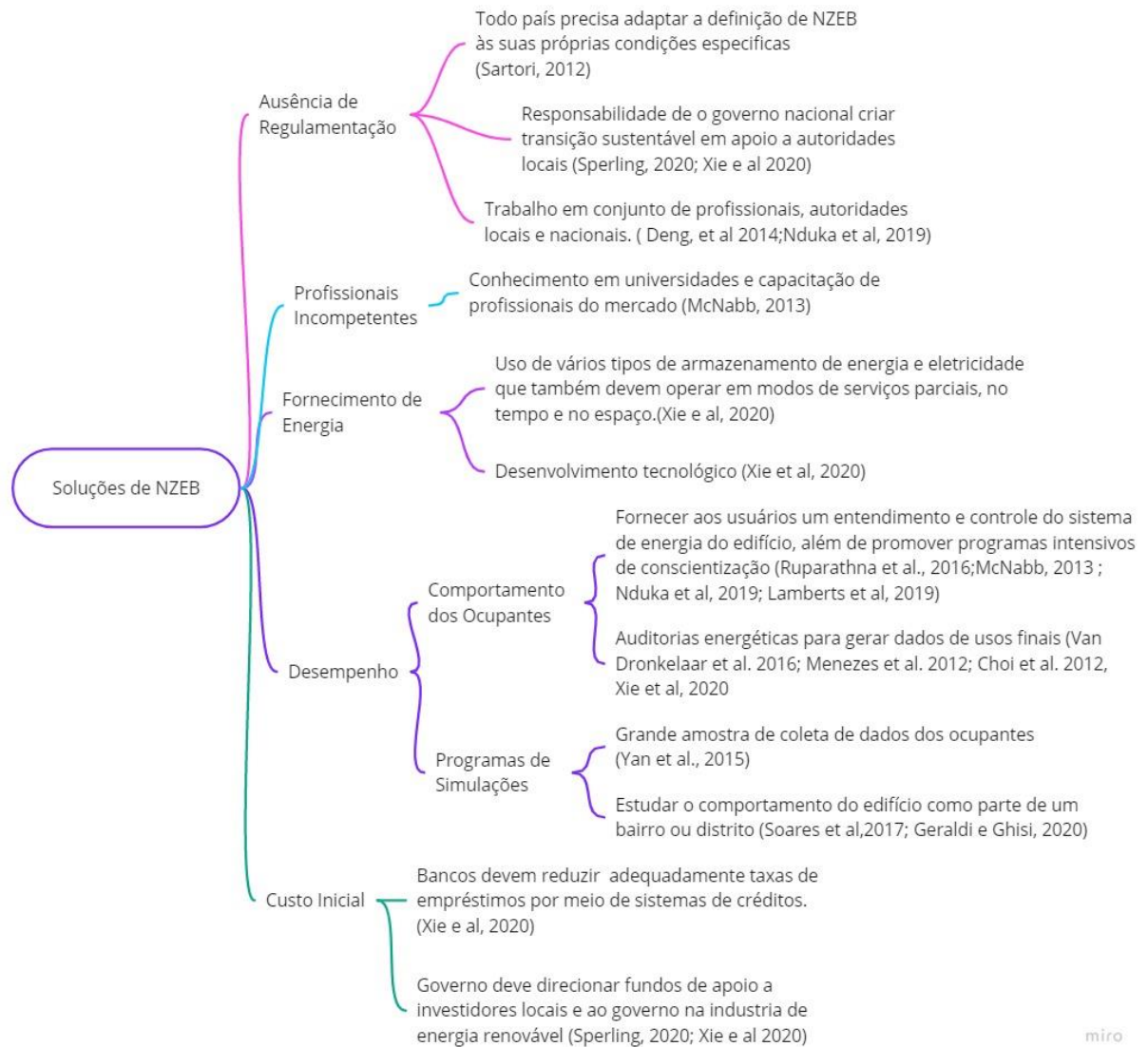


Figura 16 - Solução aos Desafios de NZEB



Fonte: Autor

5. CONCLUSÃO

Este estudo analisou a literatura existente com o objetivo de alcançar uma edificação de consumo de energia quase zero conhecida como *nearly zero energy building*. As mais relevantes definições do NZEB foram apresentadas para estruturar o conceito do tema. Para atingir às metas energéticas, três principais grupos de estratégias de implantação de um NZEB foram identificados, sendo estes um projeto otimizado de arquitetura passiva, a escolha de tecnologias eficientes e a seleção da fonte de energia renovável adequada. Como complemento, recomendações para a fase de operação, no caso as auditorias energéticas, foram enfatizadas para atingir o desempenho energético desejado.

No entanto, mesmo seguindo essa estrutura lógica de se alcançar um NZEB, alguns desafios ainda existem relacionados à regulamentação, comportamento de usuários e sistemas operacionais deficientes. Devido a isso, recomendações básicas foram apresentadas, defendendo então uma adequação das definições de acordo com o cenário nacional, um incentivo ao desenvolvimento tecnológico na área de eficiência energética, e também uma conscientização de profissionais e usuários da edificação.

Assim, é possível concluir que quando nos concentramos na aplicação dos pontos gerais que constituem o conceito, sendo estes os grupos de estratégias apresentados, podemos afirmar que uma construção de padrão NZEB pode ser implementada em qualquer lugar. Com as devidas escolhas dentro de cada grupo, respeitando a infraestrutura energética local, esse modelo pode se tornar uma metodologia confiável e viável para engenheiros e arquitetos.

Em vista disso, apesar de ainda haver necessidade de mais estudos sobre o tema para refinar seu conceito e facilitar sua implantação, o conhecimento já existente sobre o tema é suficiente para atingir diversas metas energéticas mundiais e por isso, ele deve ser aplicado por todos os agentes envolvidos.

6. REFERÊNCIAS

ABDULAZIZ, S. **Value engineering application benefits in sustainable construction.**

Disponível em: <[http://www.pmi-agc.com/techdocs/The paper - Value Engineering application benefits in Sustainable Construction.pdf](http://www.pmi-agc.com/techdocs/The%20paper%20-%20Value%20Engineering%20application%20benefits%20in%20Sustainable%20Construction.pdf)>.

ABRACEEL. **CARTILHA MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA**, 2019.

Disponível em: <https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/2019/05/ABRACEEL_process_230519.pdf>

ADHIKARI, R.; ASTE, N.; PERO, D. Net Zero energy buildings: expense or investment? 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering. 2011.

AELENEI, D. *et al.* Design strategies for nonresidential zero-energy buildings: lessons learned from Task40/Annex 52: towards net zeroenergy solar buildings. 2013.

AGHEMO, C.; BLASO, L.; PELLEGRINO, A. Building automation and control systems: a case study to evaluate the energy and environmental performances of a lighting control system in offices. 2014.

AKSAMIIJA. Regenerative Design of Existing Buildings for Net-Zero Energy Use. **Procedia Engineering**, 2015.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>

ANNEE. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>

ASCIONE, F. *et al.* Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study. **Applied Energy**, 2016.

BECCHIO, C. *et al.* Cost optimality assessment of a single family house: Building and technical systems solutions for the nZEB target. **Energy and Building**, 2015.

BELUSSI, L. *et al.* A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. 2019.

BOCCI, E.; ZUCCARI, F.; DELL'ERA, A. Renewable and hydrogen energy integrated house. 2011.

BUCK, J.; YOUNG, D. The potential for energy efficiency gains in the Canadian commercial building sector: a stochastic frontier study. **Energy**, 2007.

BUTERA, F. M. Zero-energy buildings: the challenges. **Advances in Building Energy Research**, v. 7, n. 1, p. 51–65, 2013.

CABEZA, L.; CHÀFER, M. Technological options and strategies towards zero energy buildings contributing to climate change mitigation: A systematic review. 2020.

CALÌ, D. *et al.* Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test. **Energy and Buildings**, 2016.

CANADA GREEN BUILDING COUNCIL. **New CaGBC market impact report demonstrates green buildings are an engine of economic growth in Canada**. Disponível em: <https://www.cagbc.org/News/EN/2016/20160210_News_Release.aspx>. Acesso em: 3 jun. 2020.

CHOI, J.; LOFTNESS, V.; AZIZ, A. Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines. **Energy and Buildings**, 2012.

COELHO B, OLIVEIRA AC, MENDES, A. Concentrated solar power for renewable electricity and hydrogen production from water-a review. 2010.

COMISSÃO EUROPEIA. **Energy performance of buildings directive**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en>. Acesso em: 12 maio. 2020.

DENG, S.; WANG, R. Z.; DA, Y. J. How to evaluate performance of net zero energy building e A literature research. 2014.

DRONKELAAR, C. VAN *et al.* A review of the energy performance gap and its underlying causes in non-domestic buildings. **Frontiers in Mechanical Engineering**, 2016.

EICHNER, M. J.; ELSHARAWY, H. H. Life cycle assessment (LCA) based concept design method for potential zero emission residential building. p. 9, 2020.

ENERGY OUTLOOK. **BP Energy Outlook 2019 edition**, 2019. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>>. Acesso em: 13 junho 2020

EPE. **BRAZILIAN ENERGY BALANCE**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/epe64.pdf>>. Acesso em: 13 junho 2020

FABRIZIO, E.; SEGURO, F.; FILIPPI, M. Integrated HVAC and DHW production systems for zero energy buildings. 2014.

FASIUDDIN, M.; BUDAIWI, I. HVAC system strategies for energy conservation in commercial buildings in Saudi Arabia. 2011.

FERRARA *et al.* Appraising the effect of the primary systems on the cost optimal design of nZEB: A case study in two different climates. **Energy Procedia**, p. 2028–2033, 2015.

FREI, B.; SAGERSCHNIG, C.; GYALISTRAS, D. Performance gaps in Swiss buildings: An analysis of conflicting objectives and mitigation strategies. **Energy Procedia**, 2017.

GERALDI, M. S.; GHISI, E. **Building-level and stock-level in contrast: A literature review of the energy performance of buildings during the operational stage** **Energy and Buildings**, 2020.

GRAY, D. **Pesquisa no Mundo Real**. 2. ed. Porto Alegre: 2007.

HABASH, G. *et al.* Sustainable Design of a Nearly Zero Energy Building Facilitated by a Smart Microgrid. **Journal of Renewable Energy**, 2014.

HAJARE, A.; ELWAKIL, E. Integration of life cycle cost analysis and energy simulation for building energy-efficient strategies assessment. 2020.

HONG, T. *et al.* A review on sustainable construction management strategies for monitoring, diagnosing, and retrofitting the building's dynamic energy performance: Focused on the operation and maintenance phase. **Applied Energy**, 2015.

HONG, T.; LANGEVIN, J.; SUN, K. Building simulation: Ten challenges. **Building Simulation**, v. 11, n. 5, p. 871–898, 2018.

HU. Does zero energy building cost more? –An empirical comparison of the construction costs for zero energy education building in United States. **Sustainable cities and society**, 2019.

IBRAHIM, A. *et al.* Efficiencies and improvement potential of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) system. **Energy Convers Manag**, 2014.

IEA. **Brasil**. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/brazil>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

IEA. **Renováveis**. Disponível em: <<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

IEA. **Outras Energias Renováveis**. Disponível em: <<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/other-renewables>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

IEA BIOENERGY. **Bioenergy's role in balancing the electricity grid and providing storage options – an EU perspective**, 2017. Disponível em: <<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/03/Two-Page-Summary-Bioenergys-role-in-balancing-the-electricity-grid-and-providing-storage-options.pdf>>. Acesso em: 13 junho 2020

INMETRO. **Organismos de Inspeção Acreditados**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/Edificacoes.asp>>. Acesso em: 24 ago. 2020.

INSTITUTO SOLAR. **Posso Vender Energia Solar para a Concessionária?** Disponível em: <<https://institutosolar.com/posso-vender-energia-solar-para-a-concessionaria>>. Acesso em: 24 ago. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. [s.l.] Cambridge University Press, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Transition to Sustainable Buildings**. 2013.
IPCC. **Climate Change 2014**. 2014. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>.

- KAMILARIS, A. *et al.* A literature survey on measuring energy usage for miscellaneous electric loads in offices and commercial buildings. **Renew Sustain Energy**, 2014.
- KANSAL, R.; KADAMBARI, G. Green buildings: An assessment of life cycle cost. **Journal of Infrastructure**, 2010.
- KHAN, N.; ABAS, N. Comparative study of energy saving light sources. 2011.
- KIBERT, J. C. **Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery**. 2. ed. New Jersey: 2013.
- KILKIS, S. A new metric for net- zero carbon buildings. 2007.
- KONIS, K.; GAMAS, A.; KENSEK, K. Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support. 2016.
- LAMBERTS, R. *et al.* Technological innovations to assess and include the human dimension in the building-performance loop: A review. **Energy and Buildings**, 2019.
- LAUSTSEN, J. Energy Efficiency Requirements in Building Codes. 2008.
- LOPES, A. DO C. P. *et al.* Programa de rotulagem de eficiência energética para edifícios no Brasil em comparação com os Estados Unidos e Portugal. 2016.
- MARSZAL *et al.* Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. 2011.
- MARSZAL; HEISELBERG. Zero Energy Building (ZEB) definitions – A literature review. 2010.
- MCNABB, A. N. Strategies to achieve net-zero energy homes: a framework for future guidelines. **workshop summary report, National Institute of Standards and Technology Special Publication 1104 US Department of Commerce**, 2013.
- MENEZES, A. *et al.* Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap. **Applied Energy**, 2012.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Construção Sustentável**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/construção-sustentável.html>>. Acesso em: 3 jun. 2020.
- MOHAMED, A.; HASAN, A.; SIRÉN, K. Fulfillment of net-zero energy building (NZEB) with four metrics in a single-family house with different heating alternatives. **Applied Energy**, 2014.
- MORAN, P.; O'CONNELL, J.; GOGGINS, J. Sustainable energy efficiency retrofits as residential buildings move towards nearly zero energy building (NZEB) standards. **Energy and Buildings**, v. 211, 2020.
- MURTAGH, N.; SCOTT, L.; JINGLI FAN. Sustainable and resilient construction: Current

status and future challenges. 2020.

MUSSAL, E.; VOSS, K. The passive house concept as suitable basis towards net zero energy buildings. **Proc. in Conf.: Passive House Conference**, p. 1–6, 2012.

NASA. **2018 Was the Fourth Hottest Year on Record**. Disponível em: <<https://svs.gsfc.nasa.gov/13142>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

NDUKA, D. O. *et al.* **Awareness, benefits and drawbacks of net zero energy building practices: Construction industry professional's perceptions** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...2019**

NOAA. **Global Climate Report - Annual 2019**. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913#gtemp>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

OKOCHI, G. S.; YAO, Y. A review of recent developments and technological advancements of variable-air-volume (VAV) air-conditioning systems. 2016.

OMRANY; MARSONO. Optimization of building energy performance through passive design strategies. **British Journal of Applied Science & Technology**, 2015.

ONU BRASIL. **Década da Ação é impulso a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/decada-da-acao-e-impulso-a-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Tha top 10 causes of death**. Disponível em: <<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

PAN, W.; NING, Y. Socio-technical framework of zero-carbon building policies. **Building Research & Information**, 2015.

PAPADIS, E.; TSATSARONIS, G. Challenges in the decarbonization of the energy sector. 2020.

PIDERIT, M. B. *et al.* Net zero buildings-A framework for an integrated policy in Chile. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 5, 2019.

PISELLO, A. L. *et al.* Expanding inter-building effect modeling to examine primary energy for lighting. **Energy and Buildings**, 2014.

PROCEL. **Procel Edificações**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C%7D>>. Acesso em: 24 ago. 2020.

PROCEL. **Etiquetagem em Edificações**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3%7D>>. Acesso em: 24 ago. 2020.

REVKIN, A. **Most Americans now worry about climate change—and want to fix it.**

Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/01/climate-change-awareness-polls-show-rising-concern-for-global-warming/>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

RIBEIRO, H. Bibliometria: quinze anos de análise da produção acadêmica em periódicos brasileiros. 2017.

ROBINSON, J.; FOXON, T.; TAYLOR, P. Performance gap analysis case study of a non-domestic building. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers—Engineering Sustainability**, 2016.

RODRIGUEZ-UBINAS, E. *et al.* Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. 2014.

RUPARATHNA, R.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. Improving the energy efficiency of the existing building stock: A critical review of commercial and institutional buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 2016.

RYGHAUG, M.; SØRENSEN, K. H. How energy efficiency fails in the building industry. **Energy Policy**, 2009.

SARTORI, I. *et al.* Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. **Proceedings of EuroSun 2010**, 2010.

SARTORI, I.; NAPOLITANO, A.; VOSS, K. Net zero energy buildings: A consistent definition framework. **Energy and Buildings**, 2012.

SOARES, N. *et al.* A review on current advances in the energy and environmental performance of buildings towards a more sustainable built environment. **Sustainable Energy Reviews**, 2017.

SOLAIMANI; SEDIGHI. Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. 2020.

SPERLING, K.; ARLER, F. Local government innovation in the energy sector: A study of key actors' strategies and arguments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 126, 2020.

SULZAKIMIN, M. *et al.* **Benefits for Public Healthcare Buildings towards Net Zero Energy Buildings (NZEBS): Initial Reviews** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...2020**

TAGHIZADE, K.; HEIDARI, A.; NOORZAI, E. Environmental impact profiles for Glazing systems: Strategies for early design process. 2019.

TANG *et al.* Study on the reduction of condensation risks on the radiant cooling ceiling with superhydrophobic treatment. 2016.

THALFELDT, M.; PIKAS, M.; KURNITSKI, J. Facade design principles for nearly zero energy buildings in a cold climate. **Ener. and Build.** 2013.

TORCELLINI, P. *et al.* Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. 2006.

UNFCCC. **Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015**2016Disponível em:
<<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>>

WAO, J. O. *et al.* **Refocusing Value Engineering for Sustainable Construction**, 2016.
(Nota técnica).

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. **Construção verde: melhorando a vida de bilhões, ajudando a alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**. Disponível em: <<https://www.worldgbc.org/news-media/green-building-improving-lives-billions-helping-achieve-un-sustainable-development-goals>>. Acesso em: 3 jun. 2020.

XIE, F. *et al.* How to coordinate the relationship between renewable energy consumption and green economic development: from the perspective of technological advancement. **Environmental Sciences Europe**, v. 32, 2020.

YAN, D. *et al.* Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. **Energy and Buildings**, 2015.

YOSHINO, H.; HONG, T.; NORD, N. Development of an automatic calibration method of a VRF energy model for the design of energy efficient buildings. **Energy and Buildings**, 2017.