2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE ESTRATÉGIAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA UMA EDIFICAÇÃO DE ENERGIA ZERO[1]

GNECCO, Verônica Martins (1); GIARETTA, Rafael Fernando (2); KAMIMURA, Artur Martins (3); FOSSATI, Michele (4)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, veronicamgnecco@gmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, rgiaretta@gmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, arturkamimuras@gmail.com
(4) Universidade Federal de Santa Catarina, michefossati@gmail.com

RESUMO

O crescimento do consumo energético mundial em edificações incentiva a busca por alternativas para a minimização dessa demanda, de maneira economicamente sustentável, como por exemplo por meia das Edificações de Energia Zero (EEZ). As EEZ possuem balanço nulo entre energia consumida e produzida durante o ano, e devem vir acompanhadas de soluções de eficiência energética e geração local de energia renovável. Esse artigo busca avaliar os custos de diferentes estratégias de eficiência energética em uma edificação pública administrativa e do cálculo de payback simples das soluções. Além disso, foi incluído na análise o custo do sistema de painéis fotovoltaicos, a fim de alcançar o nível de EEZ. A modificação da Absortância à Radiação Solar (ARS) da cobertura mostrou-se, isoladamente, como a alteração mais eficiente, com um custo de R$ 2327,80, tempo de payback de 5,65 anos e redução de 5,21 m² de painéis fotovoltaicos. Considerando a inclusão de todas as alternativas de eficiência energética na envoltória, o retorno de investimento foi de 9,31 anos e, quando incluídos também o custo e o retorno financeiro dos painéis fotovoltaicos, o payback passou para 7,08 anos.

Palavras-chave: *Edificação de Energia Zero. Eficiência Energética. Análise de custos.*

ABSTRACT

The growth in world energy consumption in buildings encourages the search for alternatives to minimize this demand, in an economically sustainable way, such as the Zero Energy Buildings (ZEB). ZEB have zero balance between energy consumed and produced during the year, and must be accompanied by energy efficiency solutions and local energy generation. This article seeks to evaluate the costs of different energy efficiency strategies in a public administrative building and the calculation of simple payback for solutions. In addition, the cost of the photovoltaic panel system was included in the analysis in order to reach the ZEB level. The modification of the Solar Radiation Absorbance (ARS) of the roof proved as the most efficient alteration, with a cost of R$ 2327.80, a payback time of 5.65 years and a reduction of 5.21 m² of photovoltaic panels. Considering the inclusion of all energy efficiency alternatives in the envelope, the return on investment was 9.31 years and, when the cost and financial return of photovoltaic panels were also included, the payback decreased to 7.08 years.

---

[1]GNECCO, Verônica Martins; KAMIMURA, Artur Martins; GIARETTA, Rafael Fernando; FOSSATI, Michele. Análise de estratégias de eficiência energética para uma edificação de energia zero. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

***Keywords**: Zero Energy Buildings. Energy Efficiency. Cost analysis.*

1 INTRODUÇÃO

O relatório consolidado do Balanço Energético Nacional (BEN) divulga, anualmente, um documento contendo dados relativos à oferta e consumo de energia no Brasil. Segundo tal relatório, as edificações do setor público foram responsáveis, no ano de 2018, por 8.2% do consumo de eletricidade no Brasil (EPE, 2019). Variados autores apontam que as Edificações de Energia Zero (EEZ) podem ser uma importante alternativa para a redução do consumo energético (CAO; DAI; LIU, 2016; DENG; WANG; DAI, 2014; MARSZAL; HEISELBERG, 2011). As EEZs são edificações com o consumo de energia minimizado através de estratégias de eficiência energética e geram, por meio de fontes renováveis instaladas localmente, no mínimo tanta energia quanto consomem em um ano (TORCELLINI et al., 2006).

Quando se busca a economia de energia em uma edificação, a escolha dos materiais e a adequação da edificação ao clima são aspectos de elevada importância em um projeto (SANTANA; GUISI, 2009). Diversos fatores podem ser explorados na busca pela mitigação do consumo em edificações, como por exemplo o fator solar dos vidros (WESTPHAL, 2016), a transmitância térmica (MELO, 2007) e a Absortância à Radiação Solar (ARS) (MUNIZ-GÄAL *et al.*, 2018) a partir das características de composição, cor e rugosidade dos materiais. Estas estratégias, entretanto, devem ser acompanhadas de uma análise econômica que apontam quais são mais vantajosas em relação ao custo-benefício.

Diante da problemática exposta, nesse trabalho será estudado o custo de diferentes alternativas para a redução do consumo de energia em uma edificação. A partir dos custos de construção de cada composição, foram feitos comparativos entre cada cenário, levantando ainda como cada um viabiliza o status de EEZ por meio da implantação dos painéis fotovoltaicos (PV). Não foram consideradas tarifas de juros nem manutenções ao longo do tempo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, iniciativas relacionadas à eficiência energética de edificações ganharam força em 2009, com a publicação do RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (BRASIL, 2009). Desde então outros projetos têm sido desenvolvidos a fim de incentivar tais medidas e aperfeiçoar a forma de mensurá-las. Atualmente, um novo método de avaliação foi proposto, chamado de Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C) (INMETRO, 2017). Nesse novo método é possível incluir na análise de eficiência da edificação a geração de energia por meio de fontes renováveis, o que vem incentivando o uso dessas tecnologias e também a implementação de EEZ no setor público.

Em vários países as EEZ são exploradas de maneira mais ampla, inclusive com metas para que sejam de implementação obrigatória para novas construções e *retrofits*, como é o caso da União Europeia, por meio da Diretiva do Parlamento Europeu sobre Eficiência Energética de Edifícios (EPBD) (EUROPEAN UNION, 2010) e dos Estados Unidos através do Ato de Segurança e Independência Energética de 2007 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2007). Essas mudanças começam, na maioria dos casos, no âmbito da esfera pública.

A inserção de novas tecnologias na envoltória das edificações contribui para o desempenho termoenergético das mesmas e para a sustentabilidade ambiental. Entretanto, equipes de projeto e proprietários de edifícios geralmente citam os custos incrementais das estratégias de eficiência energética como uma barreira significativa para obtenção das EEZs (PLESS; TORCELLINI, 2012). Na União Europeia, segundo o Regulamento Delegado N° 244/2012 da European Union, (2012) que complementa a Diretiva 31/2010 (EUROPEAN UNION, 2010), a implantação de medidas de eficiência energética deve considerar também os seus custos e sua viabilidade econômica.

Congedo, Baglivo, Zacá (2015) defendem ainda que atingir a meta de EEZ parece ser viável em muitos casos. No entanto, atingir um balanço energético quase nulo, levando em consideração a otimização de custos, ainda é desafiador. Este artigo abordará a avaliação de custos para mensurar o impacto financeiro de diferentes estratégias que aumentam o desempenho energético da edificação e diminuem a quantidade de painéis fotovoltaicos a serem instalados em uma EEZ.

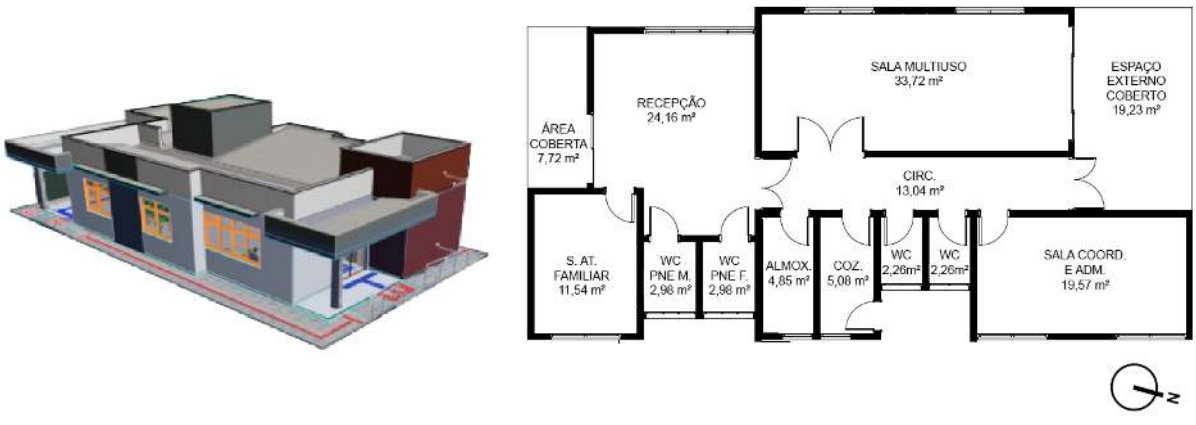
3 METODOLOGIA

3.1 Edificação Estudada

Para o estudo, foi escolhida uma edificação pública, o CRAS (Centro de Referência de Assistência Social), localizado no município de Biguaçu/SC, o qual tem um orçamento base estimado em R$ 484.415,38 (SANTA CATARINA, 2017). Mais de 365 munícipios do estado possuem edificações de uso e composição semelhantes construídas (SDS, 2016), sendo, portanto, importante a realização de estudos desta tipologia.

A edificação possui 171 m² de área construída, com padrões de uso e ocupação diferenciados entre os ambientes. A Figura 01 mostra o 3D e a planta baixa da edificação.

Figura 01 – 3D e Planta baixa da edificação analisada



Fonte: adaptado de Santa Catarina (2018)

3.2 Método

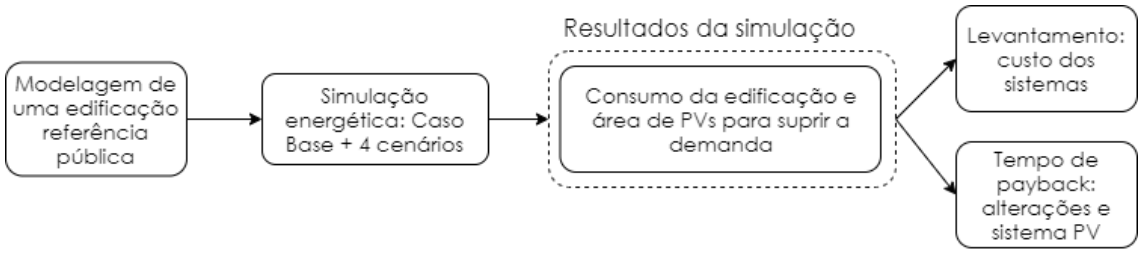
Para efeitos de comparação, foi composto inicialmente o caso base, simulado por meio do *software* EnergyPlus para obtenção do seu consumo energético, seguido de modificações para diferentes cenários. Posteriormente, os diferentes cenários foram

avaliados em relação aos custos. O caso base (0) é o edifício existente, considerando paredes de bloco cerâmico, cobertura com telha de fibrocimento sem isolante e vidro com Fator Solar (FS) 87%. Em seguida foram simulados outros 4 cenários: (1) cobertura de fibrocimento e laje pré-moldada com isolante EPS; (2) vidro com FS de 39%; (3) cobertura de fibrocimento com ARS 40%; (4) todas as modificações na envoltória.

O consumo para condicionamento das áreas de permanência prolongadas foi simulado considerando operação em dias úteis, das 8h às 18h e utilizando um sistema de climatização híbrida, que se beneficia da ventilação natural e do ar condicionado para a climatização do ambiente. Os padrões de iluminação, as temperaturas do condicionamento artificial e a carga interna dos equipamentos utilizado nas simulações são os mesmos definidos pela INI-C (INMETRO, 2017).

A partir dos dados de consumo para climatização e também com os consumos estimados para iluminação e equipamentos, calculou-se a área de painéis fotovoltaicos necessária para suprir a demanda energética da edificação, visando a obtenção de uma Edificação de Energia Zero. O painel fotovoltaico considerado possui eficiência de 15% e rendimento do sistema de 76%, resultando em uma produção de 168,50 kWh/m²/ano em Florianópolis. Por fim, foi avaliada a questão econômica para a comparação das alterações propostas. A Figura 02 ilustra a metodologia adotada.

Figura 02 - Método adotado



Fonte: os autores

3.2.1 Análise de custos

A partir dos resultados das simulações, foi calculado o valor economizado, no período de um ano, devido à redução da demanda energética da edificação, multiplicando-se o consumo pelo valor da tarifa vigente de maio de 2020 para a categoria em que a edificação se enquadra (CELESC - demais classes), de R$ 0,46978/kWh.

Em seguida, os custos relativos às estratégias de eficiência propostas foram levantados. Para o levantamento foi utilizada a Tabela SINAPI para o Estado de Santa Catarina (CAIXA, 2020), do mês de março de 2020, sem desoneração. Uma vez que os painéis fotovoltaicos não constam nas tabelas do SINAPI, uma pesquisa com fornecedores de equipamentos foi efetuada. No Quadro 01, o custo total das composições usadas para a análise foi descontado do custo da solução equivalente para o caso base, conforme o edital de concorrência da edificação, disponibilizado pelo Governo do Estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2018).

Quadro 01 – Custo estimado das estratégias de eficiência energética

Descrição	Quantidade	Custo unitário (R$)	Custo Total	Diferença em relação ao caso base (R$)
(1) Poliestireno expandido/EPS (isopor), tipo 2f, placa, isolamento termoacústico, e = 20 mm, 1000 x 500 mm	157,71 m²	11,40	1797,9	1797,9
(2) Vidro temperado verde e = 8 mm FS 0,39	27,43 m²	201,92	5538,67	2032,01
(3) Aplicação manual de pintura com tinta texturizada acrílica em panos cegos de fachada (sem presença de vãos) de edifícios de múltiplos pavimentos, uma cor	157,71 m²	14,76	2327,8	2327,8

Fonte: adaptado de Caixa (2020)

O Quadro 02 apresenta os valores relativos ao sistema fotovoltaico, conforme pesquisa com fornecedores (NEOSOLAR, 2020; SOUSA, 2019).

Quadro 02 – Custo estimado do sistema de geração renovável

Descrição	Custo unitário (R$)
Painel Solar Fotovoltaico Policristalino 155W - Upsolar UP-M155P	369,00
Inversor Híbrido Epever Upower 3000W / 30A MPPT / 24Vcc / 220Vca	3999,00
Instalação de conjunto de geração fotovoltaica e inversor	1500,00

Fonte: adaptado de NEOSOLAR (2020) e Sousa (2019)

A partir do respectivo valor financeiro incremental dessas medidas, uma investigação a respeito do tempo de retorno do investimento foi calculada, pelo método do *payback* simples, através da divisão desse valor incremental pelo valor financeiro da energia economizada durante um ano. Não foram consideradas tarifas de juros nem manutenções ao longo do tempo.

4 RESULTADOS

4.1. Resultados da simulação para o consumo e área de painéis fotovoltaicos

Conforme destacado anteriormente, além de reduzir o consumo, as alternativas de eficiência energética também devem ser economicamente viáveis. A partir das simulações energéticas, foram obtidos resultados de consumo para cada cenário, resumidos no Quadro 03. O caso base possui consumo total de 13026,56 kWh/ano, enquanto que, ao aplicar todas as alterações, a demanda cai para 11439,10 kWh/ano, reduzindo em 12,19%.

Quadro 03 – Comparativo dos consumos e áreas de painéis fotovoltaicos

Caso	**Caso 0**	**Caso 1**	**Caso 2**	**Caso 3**	**Caso 4**
Descrição	**Caso Base**	**Fibrocimento+ isolante EPS**	**Vidro FS=39%**	**Fibrocimento com ARS 40%**	**Todas as alternativas**
Consumo total (kWh/ano)	13026,56	12753,00	12611,91	12149,20	11439,10
Redução percentual de consumo	0,00%	2,10%	3,18%	6,74%	12,19%
Área total de painéis (m²)	77,30	75,68	74,84	72,09	67,88
Redução da área de painéis (m²)	0,00	1,62	2,46	5,21	9,42

Fonte: os autores

4.2. Análise econômica das alternativas

Para comparar a rentabilidade de cada solução, foi calculado o *payback* simples de todos os casos analisados, com e sem o uso de painéis fotovoltaicos. Nos casos em que os painéis foram inseridos, estimou-se a quantidade suficiente para cobrir toda a demanda de consumo energético da edificação.

Conforme o método do retorno do investimento (*payback* simples), o incremento de custo líquido é dividido pelo valor da economia de energia anual. O Quadro 04 ilustra as economias e o tempo (em anos) de *payback* obtidos para cada solução.

Quadro 04 – Comparativo da economia em *payback* das soluções

Análise	**Consumo (kWh)**	**Economia anual c/ eletricidade em relação ao caso base (R$)**	**Custo incremental das soluções EE (R$)**	**Custo do sistema foto-voltaico (R$)**	**Custo total (R$)**	**Pay-back simples (anos)**
Caso base	13026,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caso base + fotovoltaico	13026,56	6119,62	0,00	46278	46278,00	7,56
Caso 1	12753,00	128,51	1797,89	0,00	1797,89	13,99
Caso 1 + fotovoltaico	12753,00	6119,62	1797,89	45540	47337,89	7,74
Caso 2	12611,91	194,79	2820,00	0,00	2820,00	14,48
Caso 2 + fotovoltaico	12611,91	6119,62	2820,00	45171	47991,00	7,84
Caso 3	12149,20	412,17	2327,80	0,00	2327,80	5,65
Caso 3 + fotovoltaico	12149,20	6119,62	2327,80	44064	46391,80	7,58
Caso 4	11439,10	745,76	6945,77	0,00	6945,77	9,31
Caso 4 + fotovoltaico	11439,10	6119,62	6945,77	36375	43320,77	7,08

Fonte: os autores

Analisando os resultados do Quadro 04 pode-se inferir que a solução que mais impactou a redução do consumo de condicionamento da edificação foi a mudança da ARS da cobertura para 40% (caso 3). Ademais, nota-se que o caso 4, onde todas as soluções de Eficiência energética foram adotadas, propicia a melhor alternativa para que a edificação seja transformada em uma EEZ, já que seu custo total é inferior ao do caso base com sistema fotovoltaico, tendo também um tempo de *payback* menor.

5 CONCLUSÕES

Foram investigadas algumas modificações na envoltória da edificação, visando a economia de energia para o condicionamento. Os resultados das simulações indicaram que a alteração da ARS da cobertura de 70% para 40% foi a solução que mais impactou individualmente na redução de consumo: resultou em redução de 6,74% na demanda por condicionamento. Quando todas as modificações na envoltória foram adotadas, houve redução de 12,19% no consumo para condicionamento.

Compreendendo a análise econômica, percebe-se que incremento no custo total, a partir da inserção das estratégias de eficiência energética sugeridas mais a instalação do sistema de geração de energia renovável, no caso 4, foi de R$ 43.320,77. Este valor representa um aumento de 8,94% de valor total do orçamento base para a edificação. Essas alternativas promovem uma economia de energia anual, com tempo de retorno do investimento de 7,08 anos. Dessa forma, para zerar o balanço energético da edificação em questão, transformando-a em uma EEZ, são necessários 68 m² de painéis fotovoltaicos, uma redução de aproximadamente 10m², quando comparado ao caso base.

Logo, os resultados mostraram que é possível atingir uma EEZ com soluções de eficiência energética que representam uma pequena diferença de custos no valor total investido no caso base. Em se tratando de uma edificação de investimento público e replicada em vários municípios, essas soluções contribuem ainda para diminuir as necessidades de energia anual e consequentemente economizar no sistema de geração de energia renovável.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001e da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras).

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

CAIXA (Brasil). SINAPI**: Relatório de Insumos e Composições** - MAR/20 - Sem Desoneração. 2020.

CAO, X.; DAI, X.; LIU, J. Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 198–213, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>

CELESC (Santa Catarina). Tarifas e taxas de energia. 2020. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#tarifas-vigentes>. Acesso em 04 de maio de 2020.

CONGEDO, P.M.; BAGLIVO, C.; D'AGOSTINO, D.; ZACÀ, I. Cost-optimal design for nearly zero energy office buildings located in warm climates. **Energy,** 91 (2015), pp. 967-982

DENG, S.; WANG, R. Z.; DAI, Y. J. How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research. **Energy**, *[S. l.]*, v. 71, n. 2014, p. 1–16, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.007

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanço energético nacional (BEN) 2019.** 2019.

EUROPEAN UNION. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May, 2010 on the energy performance of buildings. **Official Journal of the European Union**. 2010.

EUROPEAN UNION. Commission delegated regulation N°244/2012 of 16. Supplementing directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements. **Official Journal of the European Union**. 2012.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 163, de 08 de junho de 2009**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Brasília, 2009.

INMETRO. Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas (INI-C). p. 151, 2017.

MARSZAL, A. J.; Heiselberg, P. Life cycle cost analysis of a multi-storey residential Net Zero Energy Building in Denmark. **Energy**, 36 (2011), pp 5600-5609

MELO, A. P. **Análise da Influência da Transmitância Térmica no Consumo de Energia de Edificações Comerciais**. 2007. Universidade Federal de Santa Catarina, [s. l.], 2007.

MUNIZ-GÄAL, L. P.; PEZZUTO, C. C.; CARVALHO, M. F. H.; MOTA, L. T. M. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 503–518, 2018.

NEOSOLAR. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/>. Acesso em: 04 de maio de 2020.

PLESS, S.; TORCELLINI, P.; Controlling capital costs in high performance office buildings: a review of best practices for overcoming cost barriers. **NREL/CP-5500-55264**. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2012.

SANTA CATARINA. **Edital de Concorrência N° 0042/2017**. Brasil, 2017.

SANTA CATARINA. **Caderno de Projetos BIM do Governo de Santa Catarina.** Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, 2018.

SANTANA, M. V.; GHISI, E. Influência de parâmetros construtivos relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório da cidade de Florianópolis. ENCAC. **Anais**...Natal, RN: ENCAC, 2009

SDS. **Relação de CRAS em SC**. 2016. Disponível em: <http://www.sds.sc.gov.br>.

SOUSA, R. F. **Análise Financeira de Medidas de Eficiência Energética e Geração de Energia em Habitações de Interesse Social**. 2019.

TORCELLINI, P.; PLESS, S.; DERU, M.; CRAWLEY, D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. **ACEEE Summer Study Pacific Grove**, November 2014, p. 15, 2006.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Independence and Security Act Public Law**. 2007.

WESTPHAL, F. S. **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações**. São Paulo: Abividro, 2016.