



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

## **AValiação de Edifícios de Energia Zero pela Nova Proposta de Etiquetação Residencial<sup>1</sup>**

**PACHECO, Fernando (1); FOSSATI, Michele (2)**

**(1)** Universidade Federal de Santa Catarina, fernandofpacheco@gmail.com

**(2)** Universidade Federal de Santa Catarina, michele.fossati@ufsc.br

### **RESUMO**

*Este estudo apresenta uma análise acerca da conversão de uma residência na cidade de Tijucas/SC em um edifício de energia zero (EEZ). Como estimativa para consumo energético utilizou-se o método simplificado presente na nova proposta para avaliação da eficiência energética das edificações, a Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R). A implantação de medidas de eficiência energética sugeridas na edificação possibilitou uma redução considerável no consumo energético e a obtenção de classe A para a edificação. Dimensionou-se um sistema fotovoltaico, de maneira a suprir integralmente a demanda energética anual. A fim de validar os resultados do método, comparou-se o consumo energético obtido para a situação real com o consumo observado nas faturas de energia elétrica dos usuários. Os consumos energéticos mostraram-se semelhantes ao serem ponderados pelo número de usuários.*

**Palavras-chave:** *Eficiência energética em edificações. Edifícios de energia zero. Etiquetação de edificações residenciais.*

### **ABSTRACT**

*This study presents an analysis about the conversion of a residence in the city of Tijucas/SC in a zero energy building (EEZ). As an estimate for energy consumption, the simplified method presented in the new proposal for the evaluation of the energy efficiency of buildings, the Inmetro Normative Instruction for Energy Efficiency Class of Residential Buildings (INI-R) was used. The implementation of energy efficiency measures suggested in the building resulted in a considerable reduction in energy consumption and the achievement of class A for the building. A photovoltaic system was designed in order to fully meet the house annual energy demand. In order to validate the results, we compared the energy consumption obtained through the simplified method for the real situation with the consumption withdrawn from the electricity bills. The energy consumptions were similar when they were weighted by the number of users.*

**Keywords:** *Energy efficiency in buildings. Zero energy buildings. Brazilian residential labeling program.*

## **1 INTRODUÇÃO**

A preocupação com a eficiência energética das edificações, já consolidada em

---

<sup>1</sup> PACHECO, Fernando; FOSSATI, Michele. **Avaliação de Edifícios de Energia Zero pela Nova Proposta de Etiquetação Residencial**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRuíDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

vários lugares do mundo como União Europeia, Estados Unidos e Austrália, vem crescendo no Brasil nos últimos tempos. O assunto é incentivado por medidas governamentais, leis, programas, normativas, entre outras, descritas no estudo publicado por Altoé et al (2017). Estas medidas foram criadas com o propósito de incorporar a preocupação com o consumo energético ao dia-a-dia da construção civil.

Apesar do aumento com a preocupação acerca da eficiência energética das edificações no País, certos assuntos ainda não são muito explorados, como é o caso de Edifícios de Energia Zero (EEZs). Conceitualmente, EEZ trata-se de uma edificação com necessidades de energia reduzidas através de ganhos em eficiência de tal maneira que o equilíbrio energético pode ser fornecido por tecnologias renováveis (Torcellini et al., 2006).

O foco deste artigo é apresentar a avaliação do desempenho energético de uma unidade habitacional na região da Grande Florianópolis frente à possibilidade de obtenção de balanço energético zero após a aplicação de medidas de eficiência energética em edificações e o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para a geração de energia renovável local. Para tanto, foi utilizada como estimativa de consumo a nova proposta para a avaliação da eficiência energética de edificações residenciais, que encontra-se em desenvolvimento (CB3E, 2018).

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Na nova proposta para a avaliação da eficiência energética das edificações residenciais, o RTQ-R passa a ser chamado de Instrução Normativa Inmetro para a classe de eficiência energética de edificações residenciais (INI-R). Na INI-R, o consumo de energia elétrica e energia térmica da edificação são levados em consideração, assim como o potencial de geração de energia local renovável. Os consumos energéticos são convertidos em energia primária, fornecendo assim um parâmetro de comparação entre edificações e a possibilidade de somar-se diferentes tipos de energia. Para a atribuição da classe de eficiência energética, proposta para ser de A a D, a edificação real é comparada à edificação na condição de referência. A edificação na condição de referência possui o mesmo formato, volume, orientação solar, áreas e o mesmo pé-direito da edificação avaliada em sua condição real e equivale à Classe C de eficiência energética. A avaliação do consumo energético possui três métodos distintos: método prescritivo, método simplificado e método de simulação, descritos na INI-R. Nos métodos simplificado e de simulação é possível determinar, além do consumo, o percentual de horas da edificação ocupadas em conforto térmico quando a edificação é ventilada naturalmente.

No método simplificado, foco deste trabalho, a avaliação da eficiência energética da envoltória é feita através da análise de simulações paramétricas de um número limitado de casos através de metamodelagem em redes neurais artificiais.

A classificação da edificação residencial é obtida através do percentual de redução do consumo de energia primária da edificação analisada em relação ao consumo da mesma edificação com características de referência.

Independente do método de avaliação, também se encontram dispostos critérios para a avaliação do aquecimento de água, do potencial de geração local de energia renovável, do uso racional da água em edificações e das emissões de

dióxido de carbono. O desempenho dos últimos dois itens tem caráter informativo, não influenciando na classificação de eficiência energética das edificações.

Segundo o estudo de Li, Yang e Lam (2013), há um crescente interesse mundial no potencial dos EEZs como forma de aliviar os problemas relativos à exaustão dos recursos energéticos e à degradação do meio ambiente. Os autores também ressaltam que os EEZs, de maneira geral, envolvem duas estratégias: a diminuição da necessidade do uso de energia através de medidas de eficiência energética (MEEs) e a utilização de energias renováveis e outras tecnologias a fim de suprir as necessidades energéticas restantes. Por fim, apontam que a ampla difusão da geração fotovoltaica e de turbinas eólicas pode gerar instabilidade energética e comprometer a qualidade da estrutura da rede elétrica existente, e por este motivo os EEZs devem ser projetados para funcionar em sinergia com a rede de concessionários locais e não sobrecarregar a infraestrutura de energia existente.

No Brasil, as resoluções normativas n.482/2012 e 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2012; 2015) permitem que seja feita a exportação da energia renovável produzida localmente para a rede de distribuição, gerando créditos de consumo em caso de produção excedente, a ser descontada num imóvel do mesmo proprietário. Lamberts e Pacheco (2013) sugerem que a aplicação de EEZ em larga escala é possível no Brasil, graças as condições climáticas favoráveis e área média de cobertura para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Também apontam que a possibilidade de exportação de energia renovável para a rede de distribuição foi um divisor de águas no assunto, possibilitando a existência de EEZs no âmbito legal.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Objeto de estudo**

A edificação analisada foi construída no ano de 2011, sob o Programa Minha Casa Minha Vida, na cidade de Tijucas/SC (Grupo Climático 1-b) (RORIZ, 2014). Possui três moradores, dois adultos e uma criança. Possui seis ambientes, sendo três deles ambientes de permanência prolongada (APPs): sala de estar, e dois dormitórios, totalizando área total construída de 69,40 m<sup>2</sup> e área útil de 51,23 m<sup>2</sup>. Seu pé direito é de 2,85 m. É composta por estrutura de concreto armado, paredes de vedação em alvenaria e cobertura composta por duas camadas de laje pré-moldada, uma plana e outra inclinada onde apoiam-se telhas cerâmicas.

Para a determinação da transmitância e capacidade térmica da cobertura utilizou-se o procedimento de cálculo presente na NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Para os dados de transmitância e capacidade térmica das paredes externas foi utilizada a composição nº 41 do Anexo V do RAC (INMETRO, 2013). O valor de absorvância solar adotado para as fachadas e cobertura foi o mesmo, com valor de 0,611, equivalente à cor nº 23 Cinza BR do Anexo V do RAC.

O sistema de aquecimento de água é elétrico de um único ponto de consumo (chuveiro elétrico). Possui sistema de condicionamento de ar do tipo split no dormitório 2. O equipamento possui potência de 7.000 BTUs/h e Selo Procel de Economia de Energia. A residência não possui geração local de energia renovável.

#### **3.2 Aplicação do método simplificado**

Os cálculos para a obtenção da classe de eficiência energética da envoltória, do sistema de aquecimento de água e classificação geral foram realizados através de uma planilha Excel, a qual segue os procedimentos descritos na INI-R, elaborada e disponibilizada pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da UFSC e disponível no site do CB3E (CB3E, 2018). A envoltória foi avaliada utilizando a interface do metamodelo, também disponível no site do CB3E.

O consumo total de energia elétrica da edificação foi calculado somando-se os consumos para refrigeração, para aquecimento e para aquecimento de água proveniente de fontes de energia elétrica. De acordo com a INI-R, deve-se acrescentar um consumo médio estimado de equipamentos, considerando duas pessoas por dormitório, cada uma com consumo de 28,37 kWh/mês.

A classe de eficiência energética da UH foi calculada a partir do percentual de redução do consumo de energia primária da edificação real em relação à edificação com as características de referência, em função do número de dormitórios e do grupo climático.

O percentual de horas ocupadas em conforto térmico quando ventilada naturalmente ( $PHOC_T$ ) é definido pelo resultado da média das horas ocupadas em conforto térmico de cada APP, ponderada pela respectiva área útil.

### **3.3 Reaplicação do método simplificado com medidas de eficiência energética**

No caso de não obtenção da classe A de eficiência energética, foram propostas MEEs de possível aplicação, considerando que a residência já se encontra edificada. Para a envoltória, foram incorporadas venezianas em todas as aberturas dos APP, além da mudança das absortâncias solares das paredes externas e das coberturas para 0,3, valor relativo a cores claras.

Para o sistema de aquecimento de água, foi dimensionado um sistema de aquecimento solar, utilizando o chuveiro elétrico como *backup*. O coletor (Classe A) e reservatório foram selecionados através das tabelas de eficiência, disponibilizadas pelo Inmetro (INMETRO, 2018). O dimensionamento do sistema de aquecimento de água por energia solar foi realizado de acordo com os procedimentos descritos na INI-R, utilizando a planilha Excel disponibilizada pelo CB3E como ferramenta de cálculo.

Com os novos parâmetros definidos, aplicou-se novamente o método simplificado, a fim de se obter a nova carga térmica de resfriamento e aquecimento e consequente melhoria no consumo.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado conforme método de cálculo apresentado em Marinowski, Salamoni e Ruther (2004). Para os fatores de perda médios, utilizou-se a quantificação feita pela Sociedade Alemã de Energia Solar (DGS, 2013), para um rendimento do sistema de 76,04%.

Por fim, foram comparados os consumos obtidos, a fim de tentar mensurar a diferença gerada por modificações relativamente simples e a possibilidade de redução total ou parcial do consumo por fontes renováveis. Para análise dos resultados da INI-R, foram comparados os consumos obtidos com os consumos reais medidos na fatura de energia elétrica da UH. Este trabalho não considerou as taxas mínimas cobradas pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica (CELESC).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Aplicação do método simplificado

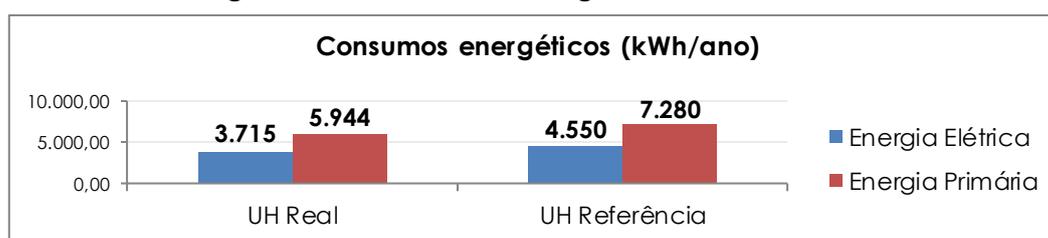
A partir da entrada dos dados na interface do metamodelo, foi possível obter os valores de carga térmica para aquecimento e resfriamento para os APPs da UH, de 0,77 e 137,38 kWh/m<sup>2</sup>.ano, respectivamente. Estes valores foram comparados aos valores obtidos para a edificação de referência, de 2,09 e 384,78 kWh/m<sup>2</sup>.ano, para aquecimento e resfriamento, a fim de estipular-se o percentual de redução no consumo energético e a classe de eficiência energética da envoltória.

A envoltória da UH foi classificada como classe B de eficiência energética e apresentou um PHOC<sub>T</sub> de 72%.

Considerando um chuveiro com eficiência de 0,95, a classificação do sistema de aquecimento de água da UH é de classe D de eficiência energética, o mesmo valor da condição de referência.

Foram somados os consumos de energia elétrica da UH provenientes de: envoltória, aquecimento de água e equipamentos. O consumo total de energia elétrica e o consumo convertido em energia primária, para a UH e a edificação com características de referência encontra-se na Figura 1.

Figura 1 – Consumos energéticos anuais da UH



Fonte: O autor

Com os consumos energéticos da edificação real e de referência, foi possível classificar a UH, a qual obteve classe C de eficiência energética, apresentando um percentual de redução de consumo de 18% em relação à edificação com características de referência.

### 4.2 Reaplicação do método simplificado com medidas de eficiência energética

Após a aplicação das medidas propostas, a partir da entrada dos novos dados na interface do metamodelo, foram obtidos os valores de carga térmica para aquecimento e resfriamento dos APPs, de 11,36 e 42,63 kWh/m<sup>2</sup>.ano, respectivamente, os valores obtidos para a edificação de referência se mantêm os mesmos, de 2,09 e 384,78 kWh/m<sup>2</sup>.ano, para aquecimento e resfriamento.

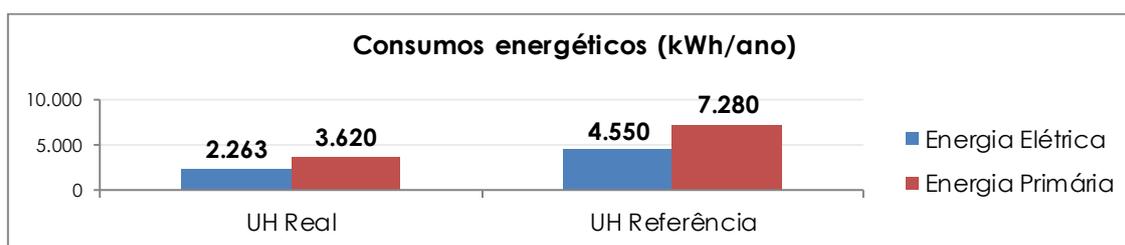
É possível observar um aumento nas cargas térmicas de aquecimento em relação ao caso real, todavia, as cargas térmicas para refrigeração diminuíram consideravelmente, gerando aumento no PHOC<sub>T</sub> e aumento no nível de classificação da envoltória para classe A de eficiência energética, com 83% de horas ocupadas em conforto térmico quando a edificação é ventilada naturalmente.

Através de dados de irradiação solar anual para a cidade de Tijucas e do método de cálculo da INI-R, calculou-se que o total de energia captada para aquecimento

de água por fontes solares é de 1.163,04 kWh/ano, o que representa um percentual de redução no consumo de 62% em relação ao sistema de aquecimento de água da edificação de referência. Para os momentos onde não é possível obter água quente pelo sistema dimensionado, será utilizado um chuveiro com eficiência de 0,95. O consumo total de energia elétrica para aquecimento de água encontrado foi de 718,14 kWh/ano e 1.149,03 kWh/ano convertido em energia primária. O sistema de aquecimento de água para este caso foi classificado em classe A de eficiência energética.

O consumo total de energia elétrica da UH após as MEEs implantadas e o consumo convertido em energia primária encontram-se na Figura 2.

Figura 2 – Consumos energéticos da UH, após a aplicação das MEEs



Fonte: O autor

Após as aplicações das medidas propostas foram comparados os consumos energéticos totais da edificação em relação à edificação com características de referência, resultando em classe A de eficiência energética, com percentual de redução no consumo energético de 50%.

Para o cálculo da capacidade do sistema fotovoltaico, foi utilizado o consumo anual de energia elétrica encontrado através do método simplificado com as MEEs incorporadas (2.262,60 kWh). A potência calculada do sistema fotovoltaico para a UH é de 1,89 kWp.

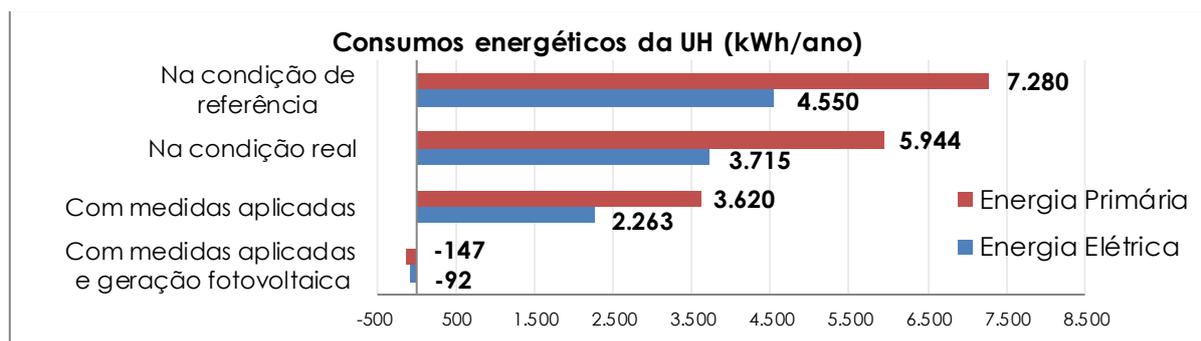
O módulo considerado, o qual provém das tabelas disponíveis no site do Inmetro (INMETRO, 2017), foi escolhido por possuir uma alta eficiência (17,2%) e ser classe A de eficiência energética. As células são do tipo Silício Monocristalino, com área de 1,63 m<sup>2</sup>.

Foram considerados 7 módulos, com área resultante de 11,41 m<sup>2</sup>, 1,96 kWp e geração anual de 2.354,73 kWh/ano, posicionado a 27° em relação ao plano horizontal, voltadas para o norte. Neste caso, o sistema supre o consumo anual além de retornar à rede 92,13 kWh/ano, com Potencial de Geração de Energia (PGE) de 104%, de acordo com a INI-R.

### 4.3 Comparação dos resultados

Na Figura 3 são apresentados de maneira resumida os resultados obtidos na avaliação da UH em relação aos consumos de energia elétrica e energia primária, respectivamente, na condições de referência (Classe C), na condição real (Classe C, com redução do consumo de 18% em relação à referência), com as medidas sugeridas aplicadas (Classe A, com redução do consumo de 50% em relação à referência) e finalmente com as medidas aplicadas e geração fotovoltaica (Classe A, com redução do consumo de 104% em relação à referência).

Figura 3 – Consumos energéticos da UH, após a aplicação das MEEs



Fonte: O autor

Neste caso a UH se enquadra na definição escolhida de EEZ de energia local. A produção excedente pode ser transferida para outro imóvel de mesmo proprietário.

A partir da fatura de energia elétrica da edificação real, foi encontrado o consumo anual no valor de 2.640,00 kWh, aproximadamente 29% menor que o consumo anual encontrado através do método simplificado, de 3.715,16 kWh. Uma possível causa está no fato de a INI-R considerar duas pessoas por dormitório. A fim de comparar os resultados sob um indicador comum, dividiu-se o consumo anual pelo número de pessoas considerado nos dois casos, o real e o calculado pela INI-R, resultando em 880,00 e 928,79 kWh/ano, respectivamente, uma diferença de aproximadamente 5%.

Quando ponderados por usuários, os consumos anuais ficaram mais próximos, significando que a INI-R se aproximou consideravelmente do caso real, dadas todas as especificidades e variáveis associadas ao consumo de uma edificação.

## 5 CONCLUSÕES

Através da nova proposta para o método de avaliação da eficiência energética em edificações que encontra-se em desenvolvimento, a INI-R, buscou-se obter os consumos energéticos da edificação analisada pelo método simplificado. Na primeira avaliação, a envoltória obteve classe B e o aquecimento de água classe D, com  $PHOC_T$  de 72%. A UH obteve classificação C de eficiência energética.

As MEEs aplicadas foram suficientes para a obtenção de classe A para envoltória. O sistema de aquecimento de água também obteve classe A. Resultando na classificação geral em classe A de eficiência energética, com redução de 39,10% em relação ao consumo calculado antes da aplicação das medidas sugeridas. O percentual de horas em conforto aumentou de 72% para 83%.

Após a obtenção de classe A de eficiência energética, dimensionou-se de maneira simplificada um sistema fotovoltaico para a geração de energia local renovável, de maneira a enquadrar a edificação na definição de EEZ. O sistema fotovoltaico dimensionado (com 7 módulos) cobriria o consumo anual de energia elétrica de 2.262,60 kWh e produziria um excedente anual de 92,13 kWh. Não foram consideradas as taxas mínimas cobradas pelas concessionárias. Também se supôs que a energia exportada seria compensada, tornando a produção excedente uma consequência favorável. A produção energética excedente é favorável apenas em casos onde o proprietário possua outro imóvel para descontar os créditos adquiridos.

Na comparação dos consumos totais presentes na fatura de energia elétrica do caso real, com os consumos obtidos pelo método simplificado da INI-R, os valores divergiram em um primeiro momento, porém, ao ponderar-se estes consumos pelo

número de usuários da residência, a diferença observada foi consideravelmente menor. O consumo obtido nas faturas é de 880 kWh/ano por pessoa, e o consumo obtido através do método simplificado é de 928,79 kWh/ano por pessoa, indicando que a metodologia de cálculo da INI-R apresentou dados próximos à situação real.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220. **Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- ALTOÉ, COSTA, FILHO, MARTINEZ, FERRAREZ e VIANA. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. Artigo. São Paulo, Janeiro de 2017.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2020.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2020.
- CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Desenvolvimento da etiquetagem - Atividades Gerais entre Núcleos**. 2018. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>>. Acesso em: 25 abr. 2020.
- DGS - German Solar Energy Society. **Planning and Installing Photovoltaic Systems**. 2013.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria n.º 50, de 01 de fevereiro de 2013**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros. Rio de Janeiro, 2013.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Tabela de eficiência energética – Módulos fotovoltaicos** - Edição 2017. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela\\_fotovoltaico\\_modulo.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf)>. Acesso em: 06 nov. 2019.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. 2018. **Tabelas de eficiência energética – PBE Solar – coletores e reservatórios**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/coletores-solares.asp>>.
- LI, D. H. W., YANG, L. e LAM, J. C. **Zero energy buildings and sustainable development implications – A review**. Artigo. Energy, Vol. 54 (2013).
- MARINOSKI, SALAMONI e RUTHER. **Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC**. X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Artigo. Julho de 2004.
- PACHECO, M., GHISI, E. E LAMBERTS, R. **Proposição de estratégias para obtenção de Edifícios de Energia Zero**. Relatório interno. Florianópolis, 2013.
- PACHECO, M. e LAMBERTS, R. **Proposição de estratégias para obtenção de Edifícios de Energia Zero**. Relatório interno. Florianópolis, 2013.
- RORIZ, R. - **Classificação de climas do Brasil – versão 3.0**. ANTAC: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto Ambiental e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. Março de 2014.
- TORCELLINI, P. et al. **Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition**. California: ACEEE Summer Study, 2006.