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

APLICAÇÃO DA PROPOSTA DA INI-C PARA AVALIAÇÃO DE PROJETO NZEB, PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO[1]

POUEY, Juliana Al-Alam (1); MUTA, Luís Filipe (2); LEITZKE, Rodrigo Karini (3); SILVA, Antonio César Silveira Baptista da (4)

(1) UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, julianapouey@hotmail.com
(2) UFPel - Universidade Federal de Pelotas, lfmuta@outlook.com
(3) UFPel - Universidade Federal de Pelotas, rodrigokarinileitzke@gmail.com
(4) UFPel - Universidade Federal de Pelotas, antoniocesar.sbs@gmail.com

RESUMO

O presente artigo foi desenvolvido com o intuito de aplicar o novo método de etiquetagem de edificações (Minuta INI-C), no projeto Anexo FAUrb – NZEB UFPel desenvolvido pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel) para participar da Chamada Pública Procel Edifica – NZEB Brasil. A avaliação se deteve ao método que utiliza simulação termoenergética, por uma limitação da própria INI-C mas também pela intenção da utilização da simulação por parte dos autores do projeto para consideração da ventilação natural em sistema híbrido. O projeto obteve Classe A, conforme o método de simulação da INI-C, mesmo não considerando-se a energia gerada pelo sistema fotovoltaico proposto. Quando considerada a geração do sistema fotovoltaico, conforme método da INI-C, o projeto obteve consumo de energia primária negativo, o que determina sua classificação como uma Near Zero Energy Building (NZEB) ou ainda, Positive Energy Building (PEB)(Pesquisa autônoma, meio).

Palavras-chave: *eficiência energética. PBE Edifica. NZEB. simulação termoenergética.*

ABSTRACT

This article was developed with the purpose of applying the new method of building labeling (Minuta INI-C), in the project Anexo FAUrb - NZEB UFPel developed by the Federal University of Pelotas (UFPel) to participate in the Public Call Procel Edifica - NZEB Brazil. The evaluation was limited to the method that uses thermo-energetic simulation, due to a limitation of the INI-C itself but also due to the intention of the authors of the project to use the simulation to consider natural ventilation in a hybrid system. The project obtained Class A, according to the INI-C simulation method, even though the energy generated by the proposed photovoltaic system was not considered. When considering the generation of the photovoltaic system, according to the INI-C method, the project obtained negative primary energy consumption, which determines its classification as a Near Zero Energy Building (NZEB) or even, Positive Energy Building (PEB).

Keywords*: energy efficiency. PBE Edifica. NZEB. thermoenergetic simulation.*

---

[1] POUEY, Juliana Al-Alam; MUTA, Luís Filipe; LEITZKE, Rodrigo Karini; SILVA, Antonio César Silveira Baptista da. Aplicação da proposta da INI-C para avaliação de projeto NZEB, pelo método de simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 454., 2020, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2019), no ano de 2018, o setor de edificações representou 50,5% do consumo final de energia elétrica no Brasil e esse número vem crescendo ao longo dos últimos anos.

Neste aspecto, a eficiência energética apresenta grande potencial para reduzir o consumo de energia dos edifícios. A partir da aplicação da eficiência energética no processo de projeto é possível reduzir a demanda energética nas edificações em até 60% (PEDRINI; SZOKOLAY, 2005).

No Brasil, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) tem como intuito avaliar o nível (classe) de eficiência energética dos projetos e edifícios produzidos no país, tornando-os de conhecimento público através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Uma iniciativa relevante do poder público para promover a eficiência energética nas edificações, foi a publicação da Instrução Normativa SLTI/MP nº 02/2014 (BRASIL, 2014), que tornou obrigatória a ENCE Geral de Projeto e de Edificação Construída Classe "A" para edificações públicas federais novas e obras de *retrofit*.

Medidas de compulsoriedade, no âmbito da eficiência energética, são uma tendência global, praticadas por países desenvolvidos, que associam eficiência energética em edificações às fontes renováveis de energia, para reduzir o consumo energético e as emissões de carbono. A partir da combinação dessas medidas, surgiu o conceito *Near Zero Energy Building* (NZEB) (HU; QIU, 2019).

Nos Estados Unidos, as novas edificações comerciais devem zerar o consumo de energia até 2025. No Japão, as edificações devem zerar a emissão de carbono até 2030. Na União Europeia, as novas edificações devem aderir ao conceito NZEB a partir de 2020 (CHEN, 2019).

No Brasil, em 2019, a Eletrobras lançou o Edital "Procel Edifica – NZEB Brasil" com o objetivo de subsidiar a construção ou *retrofit* de até quatro NZEBs em território nacional; fomentar o conhecimento, estudo e desenvolvimento de projetos de NZEB; criar um efeito de demonstração de edificações NZEB, possibilitando que esse tipo de edificação possa ser adotado em larga escala, no contexto nacional; promover a utilização dos novos métodos para etiquetagem de edificações para avaliação de desempenho energético destas (ELETROBRAS, 2020).

Para fins do Edital, NZEBs são definidas considerando o consumo de energia primária, obtido a partir dos fatores de conversão explícitos nas minutas dos textos dos novos métodos para a Etiquetagem de edificações não residenciais e residenciais (ELETROBRAS, 2020).

No caso das edificações não residências, a minuta disponibilizada pelo Edital é baseada na Portaria nº 248/2018 (BRASIL, 2018) que objetivou a consulta pública da Proposta da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

A INI-C foi desenvolvida para mitigar algumas limitações observadas no regulamento vigente (RTQ-C) e apresenta em seu método simplificado um metamodelo, baseado em redes neurais artificiais, para estimar a carga térmica para refrigeração em edificações comerciais (BAVARESCO *et al.*, 2018).

O grande avanço da INI-C está vinculado ao fato do método proposto definir o consumo de energia primária (C_{EP}) da edificação (energia elétrica e(ou) térmica),

como indicador de desempenho, permitindo a quantificação da economia gerada por medidas de eficiência energética empregadas em um projeto/edifício e, consequentemente, tornando possível a identificação de NZEBs (CB3E, 2020).

Essas informações são de extrema utilidade para o dimensionamento de sistemas de geração, e torna a INI-C uma ferramenta projetual, onde alterações no projeto arquitetônico ou especificações de equipamentos podem determinar o aumento ou diminuição do consumo deste.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o novo método de etiquetagem de edificações, minuta da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), em projeto de edificação com conceito NZEB.

3 MÉTODO

3.1 Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho foi o Projeto Anexo FAUrb da UFPel, desenvolvido a partir de um projeto que recebeu, em 2012, a ENCE Nível A (triplo A – envoltória, iluminação e condicionamento de ar), e em virtude disso, foi um dos quatro projetos do Brasil a receber o Selo Procel de Projeto em 2014, ano de lançamento do Selo para Edificações.

Em 2020, o projeto da UFPel (Figura 1), de autoria de professores e técnicos da Universidade, sofreu pequenas alterações, principalmente em virtude da adaptação às normas vigentes e necessidades atuais da UFPel. O edifício abrigará salas de aulas da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAUrb) e o Laboratório de Inspeção de Eficiência Energética em Edificações (LINSE | UFPel).

Figura 1 – Fachada Norte do Anexo FAUrb – NZEB UFPel (a) e Planta Baixa do Segundo Pavimento do Anexo FAUrb – NZEB UFPel (b)



(a) (b)

Fonte: UFPel, 2020

O projeto originalmente em sua concepção já possuía alto desempenho e alto nível de eficiência energética, com o projeto bioclimático priorizando o máximo de aberturas para a orientação norte e com o devido sombreamento nos períodos

desejáveis, aproveitando a ventilação cruzada nos ambientes de permanência prolongada (salas de aula) e com paredes externas e coberturas devidamente isoladas em virtude do rigor climático do sul do Brasil.

Com o intuito de tornar o Anexo FAUrb, um projeto com alta eficiência energética em uma NZEB, este recebeu, então, o projeto de sistema de geração distribuída de fonte renovável – sistema fotovoltaico.

3.2 Minuta da INI-C

A INI-C adota para a divisão do território nacional a classificação de climas proposta por Roriz (2014 *apud* INMETRO, 2018, p. 14), que divide o território brasileiro em 24 grupos climáticos (GC). A cidade de Pelotas-RS, onde localiza-se o projeto, pertence ao GC 5, conforme Anexo G da INI-C (ELETROBRAS, 2020).

O método simplificado da INI-C possui um limitante de aplicação, referente ao percentual de abertura zenital (PAZ) do projeto, esta diz que o método de simulação computacional deve ser utilizado, para edificações localizadas nos GC 1 a 16, em que o PAZ seja superior a 2%, que é o caso do Anexo FAUrb, GC 5 e PAZ igual a 4,57%.

Portanto, o projeto foi avaliado e os consumos determinados com base em simulação computacional, conforme o Anexo C da INI-C (ELETROBRAS, 2020).

No método de simulação da INI-C a edificação é simulada para permitir a comparação entre o desempenho energético do edifício proposto (modelo real) com um edifício similar (de referência), através da especificação de parâmetros para simulação do edifício de referência, de acordo com a tipologia da edificação, estes são especificados nas tabelas do Anexo A. Para este projeto, foi utilizada a Tabela A.2, que possui os valores para edificações educacionais, tipologia do Anexo FAUrb – NZEB UFPel.

O consumo total de energia elétrica (C_{Ee}) é obtido na simulação, considerando-se o somatório dos consumos de iluminação, condicionamento de ar, aquecimento de água elétrico (quando existente) e de equipamentos/tomadas e neste somatório é descontada a geração local de energia elétrica renovável.

A determinação da Classe de Eficiência Energética Geral da Edificação é dada com base na comparação das variáveis de consumo em energia primária da edificação em sua condição real (C_{EPreal}) e de referência (C_{EPref}), definidas pelo consumo total de energia elétrica (C_{Ee}) e térmica (C_{Et}), multiplicados por seus respectivos fatores de conversão (f_{ce} e f_{ct}), conforme Equação 1.

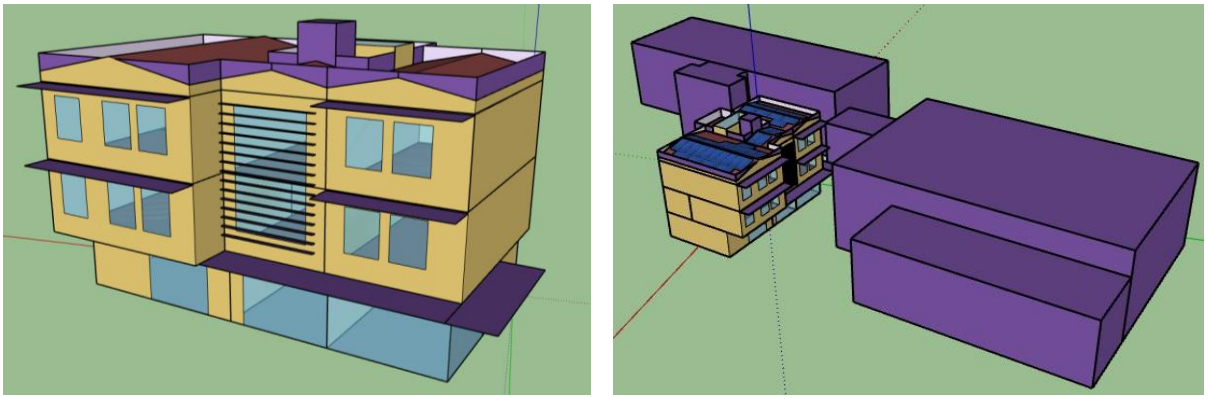
$$C_{EP\ real\ ou\ ref} = (C_{Ee}.\ f_{ce}) + (C_{Et}.\ f_{ct}) \quad (1)$$

3.3 Simulação Termoenergética conforme Minuta da INI-C

Atendendo aos requisitos específicos do método de simulação da INI-C (Anexo C), item C.1, utilizou-se como programa de simulação o *Software EnergyPlus*, versão 8.7.0, com auxílio do *Plug-in Euclid* 0.9.3 para modelagem da geometria no *Software SketchUp*, conforme Figura 2a.

O entorno da edificação foi considerado para a simulação do edifício real sendo modelados os volumes referentes aos edifícios vizinhos existentes, estando localizados ao norte e a oeste do projeto. Nenhuma das edificações vizinhas é mais alta que o projeto simulado, conforme Figura 2b.

Figura 2 – Modelo do Anexo FAUrb – NZEB UFPel para simulação (a) e Modelo do Anexo FAUrb – NZEB UFPel com entorno para simulação (b)



(a) (b)

Fonte: UFPel, 2020

Quanto ao arquivo climático a ser utilizado na simulação computacional, conforme o item C.2, este deve estar no formato Inmet publicado no endereço: http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016.

Nos arquivos publicados nesse *link* não existe arquivo climático de cidade do GC 5 no estado do Rio Grande do Sul, portanto, conforme recomendação da alínea b do item C.2, foi utilizado o arquivo climático da Cidade de Camaquã (GC 6), por ser uma região próxima que possui características climáticas semelhantes, bem como encontra-se na mesma Zona Bioclimática (ZB) de Pelotas, ZB 2 (LEITZKE *et al*., 2018).

O zoneamento térmico do modelo foi definido a partir do projeto arquitetônico e é o mesmo, tanto para o modelo real, quanto para o de referência, totalizando onze zonas térmicas. Estas foram definidas levando-se em consideração principalmente o tipo de condicionamento (Condicionada Artificialmente ou Não Condicionada). Os ambientes de circulação e banheiros foram agrupados em uma zona térmica central, por pavimento, por possuírem as mesmas características de área de permanência transitória, com exceção destas três APTs, as demais oito zonas térmicas são condicionadas artificialmente.

A densidade de potência de iluminação (DPI) foi configurada individualmente para cada zona térmica, de acordo com o projeto luminotécnico, totalizando uma potência instalada de 4.270W no edifício. Ainda, conforme o projeto, todos os quinze ambientes atendem aos requisitos específicos do sistema de iluminação para Classe A: Divisão dos Circuitos, Contribuição da Luz Natural e Desligamento Automático.

O sistema de condicionamento de ar do edifício é composto por equipamentos unitários, do tipo *Split Hi-wall*, etiquetados pelo Inmetro. Na simulação foram configurados equipamentos com *Coeficiente de Performance* (COP) de 3,24 W/W (Classe A) nas zonas térmicas condicionadas artificialmente. O requisito específico de Isolamento térmico de tubulações para Classe A é atendido por todos equipamentos do projeto.

O modelo do edifício real foi simulado considerando a ventilação natural, adotando a hipótese de conforto da ASHRAE *Standard* 55 (2017) – 80% de aceitabilidade térmica. Na simulação, o percentual de horas ocupadas em

conforto térmico ($PHOC_T$) foi de 86,5%, inferior aos 90% exigidos para que as edificações naturalmente ventiladas obtenham Classe A, pela INI-C.

Visto que a envoltória do Anexo FAUrb – NZEB UFPel não apresentava $PHOC_T$ superior a 90%, o projeto foi simulado com o sistema híbrido, considerando o aproveitamento da ventilação natural e obtendo o consumo de energia elétrica da edificação real.

Para configuração da estratégia de ventilação híbrida foi considerado o objeto do *EnergyPlus AvailabilityManager:Hybrid Ventilation* com a opção de controle 5, indicando a variação entre os modelos de ventilação natural e artificial através do conforto adaptativo da ASHRAE 55 para 80% de aceitabilidade (ASHRAE, 2017). Desta forma, a ventilação natural foi explorada nas horas ocupadas em que as condições de conforto estavam sendo atendidas, enquanto a climatização foi considerada nos períodos em que a ventilação natural não se mostrou suficiente para a manutenção das condições de conforto dos ambientes.

A partir da simulação foi obtido o consumo de energia elétrica de cada um dos sistemas existentes no modelo real e de referência, e consequentemente o consumo total de energia elétrica (C_{Ee}), apresentados nos resultados.

4 RESULTADOS

Conforme a INI-C, a Classe de Eficiência Energética Geral da Edificação é dada com base na comparação das variáveis de consumo em energia primária da edificação em sua condição real (C_{EPreal}) e de referência (C_{EPref}), obtidos pela Equação 1.

A tabela 1 apresenta os resultados destes valores para o projeto, tanto sem, como com a geração de energia do sistema fotovoltaico, bem como os valores obtidos na simulação para a variável de consumo total de energia elétrica (C_{Ee}) para ambos modelos. E por fim, as variáveis para a determinação dos consumos limites para cada classe, a partir do intervalo calculado:

Tabela 1 – Variáveis para determinação da Classe de Eficiência Energética Geral do Projeto

Variável	**Real**	**Ref D**	**Unidade**
C_{EP} (consumo de energia primária sem geração)	27.322,13	51.478,75	kWh/ano
C_{EP} (consumo de energia primária com geração)	- 4.908,27		kWh/ano
G_{EE} (geração local de energia elétrica renovável)	20.144,00	0	kWh/ano
C_{Ee} (consumo total de energia elétrica)	17.076,33	32.174,22	kWh/ano
f_{Ce} (fator de conversão de energia elétrica)	1,6	1,6	adimensional
C_{Et} (consumo total de energia térmica)	0	0	kWh/ano
f_{CT} (fator de conversão de energia térmica)	1,1	1,1	adimensional
CRC_{EPD-A} (coeficiente de redução do consumo de energia primária da Classe D a Classe A)	0,29		adimensional
i (intervalo)	4.976,28		kWh/ano

Fonte: Os autores

Conforme os dados obtidos na simulação, observa-se que o C_{Ee} no projeto é 17.076,33 kWh/ano, o que equivale a apenas 53% do consumo do edifício de referência D (32.174,22 kWh/ano).

A variável CRC_{EPD-A} é determinada com base no Grupo Climático do projeto (GC 5) e no Fator Forma do projeto (FF=0,34), resultando no intervalo (i) que determina o limite máximo de C_{EP} para cada Classe, conforme Tabela 2:

Tabela 2 – Limite de C_{EP} para cada Classe de Eficiência Energética do Projeto

Classe de Eficiência	**Limite Máximo C_{EP}**	**Unidade**
A	36.549,91	kWh/ano
B	41.526,19	
C	46.502,47	
D	51.478,75	

Fonte: Os autores

Os valores de consumo de energia primária limite para cada classe com base no intervalo determinado, mostram que o projeto, mesmo sem a geração de energia fotovoltaica (C_{EPreal} = 27.322,13 kWh/ano), é 25% mais eficiente que o limite para ser considerado Classe A, 36.549,91 kWh/ano.

Quando é considerada a geração de energia proporcionada pelo sistema fotovoltaico proposto, o C_{EPreal} é negativo, chegando a - 4.908,27 kWh/ano. O sistema foi dimensionado a partir dos resultados da simulação do projeto, com o objetivo de que a geração local de energia renovável fosse superior ao consumo energético do Projeto Anexo FAUrb, resultando em um sistema composto por 36 módulos fotovoltaicos de 405 Wp de potência cada, com uma capacidade instalada total de 14,2 kW.

Logo, a edificação pode ser conceituada como *Positive Energy Building* (PEB), ou seja, o projeto apresenta um conceito superior ao solicitado pelo Edital Procel Edifica – NZEB Brasil. Cabe destacar que o projeto apresentado foi um dos contemplados pelo Edital, classificado na segunda posição, conforme resultado final do edital (disponível em: https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/RESULTADO%20FINAL%20-%20etapa%20final.pdf)

5 CONCLUSÕES

A aplicação da INI-C no projeto evidencia a importância do atendimento de um dos principais objetivos do novo método proposto pela Regulamentação de Eficiência Energética em Edificações do Brasil**:** trabalhar com variáveis de resultado palpáveis, como o consumo de energia primária, no qual é possível quantificar e comparar, por exemplo, dois projetos Classe A, um mais eficiente que outro, ou o quanto o projeto proposto é mais eficiente que um de referência Classe D, e por fim, chegarmos a determinação e identificação de uma NZEB, tanto por simulação como pelo método simplificado.

A substituição do atual RTQ-C pela INI-C, com apresentação de dados de consumo da edificação, é uma medida que trará diversos benefícios ao PBE Edifica, principalmente no que se refere ao entendimento e impacto das variáveis do edifício no consumo de energia.

Avanços ainda são necessários na INI-C, mas a aplicação desse método em uma edificação institucional, no clima com maior sazonalidade do país, gerando mais energia do que consome, aponta claramente que as edificações no Brasil podem almejar um outro patamar de eficiência energética e que a INI-C se configura como uma importante ferramenta nesse processo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE/AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

BAVARESCO, M. V.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise de Sensibilidade do Metamodelo da Etiquetagem Brasileira: Edificações Comerciais. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 17., 2018, Foz do Iguaçu, PR. p. 368-376.

BRASIL. Instrução Normativa SLTI/MP nº 2, de 4 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Brasília: **Diário Oficial da União**. 2014.

BRASIL. Portaria Inmetro nº 248, de 10 de julho de 2018. Aprova o aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, que doravante passa a ser denominado como Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Brasília: **Diário Oficial da União**. 2018.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Novo Método de Avaliação.** Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>. Acesso em: 13 mai. 2020.

CHEN, S. Y. USE OF GREEN BUILDING INFORMATION MODELING IN THE ASSESSMENT OF NET ZERO ENERGY BUILDING DESIGN. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 27, n. 3, p. 174-186, 2019.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Edital de Chamada Pública NZEB Brasil.** Procel Edifica, 2020.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Edital de Chamada Pública NZEB Brasil**. **Minuta: Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** Procel Edifica, 2020.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2019**: Ano base 2018. Rio de Janeiro: EPE, 2019.

HU, M.; QIU, Y. A comparison of building energy codes and policies in the USA, Germany, and China: progress toward the net- zero building goal in three countries. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, p. 291-305, 2019.

LAMBERTS, R.; CLETO, L. T. **Certificação de Sistemas PBE Edifica**. Seminário Programa Brasileiro de Etiquetagem em Eficiência Energética para Sistemas de Refrigeração e Ar-condicionado. 2018. Disponível em: <http://abrava.com.br/wp-content/uploads/2018/08/Seminario-PBE-RAC-03-PBEEDIFICA-Lamberts-e-Tomaz_compressed-1.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2020.

LEITZKE, R.; BELTRAME, C.; FREITAS, J.; SEIXAS, J.; MACIEL, T.; CUNHA, E.; RHEINGANTZ, P. Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: The Pelotas.epw Case. **Journal of Civil Engineering and Architecture**. v. 12. n. 1, p. 741-756, 2018.

PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. **Ambiente Construído**, v. 5, n. 1, p. 39-54, 2005.

UFPEL. Universidade Federal de Pelotas. (não publicado) Memorial Descritivo Anexo FAUrb – NZEB UFPel, submetido ao Edital "Procel Edifica – NZEB Brasil". Pelotas, 2020.