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 TÉCNICA DO POTENCIAL DE TRANSFORMAR UMA EDIFICAÇÃO MILITAR EM EDIFICAÇÃO DE ENERGIA ZERO [1]

NETO, Luiz Pereira da Silva (1); PIMENTEL, Breno Pontes (2); BARBOSA, Andréa Teresa Riccio (3); SORGATO, Marcio José (4)

(1) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, co.luizpereira@gmail.com
(2) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, brenopontespimentel@gmail.com
(3) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, aricciobarbosa@yahoo.com.br
(4) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, marcio.sorgato@ufms.br

RESUMO

O conceito de energia zero aplicado a edificações militares é uma opção excelente para atender às demandas energéticas do meio militar e de redução do alto consumo das edificações. As edificações do Exército Brasileiro devem ser classificadas com nível A na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. A geração distribuída tem crescido no Brasil, com grande participação dos sistemas fotovoltaicos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o projeto de uma edificação militar do Exército Brasileiro para transformá-la em Edificação de Energia Zero (EEZ) com sistemas fotovoltaicos para compensar a demanda reduzida de energia. O método de simulação computacional da INI-C foi aplicado no DesignBuilder e as estimativas de geração do sistema fotovoltaico foram obtidas no programa SAM (System Advisory Model). O projeto da edificação obteve classificação nível A, com 59,5% de redução do consumo em relação à edificação de referência. Os sistemas fotovoltaicos analisados (c-Si e CdTe) atenderam a demanda anual com valores de produtividade de 1.571 kWh/kW e 1.586 kWh/kW e de Performance Ratio (PR) de 0,79 e 0,80, respectivamente. A análise de otimização da orientação da edificação resultou em pequeno impacto no consumo energia; entretanto, na geração fotovoltaica o impacto foi considerável, uma vez que na orientação otimizada a geração foi 11,3% maior. ***2 Produto de disciplina – Finalizado***

Palavras-chave: *eficiência energética, geração fotovoltaica, simulação computacional, EEZ.*

ABSTRACT

The concept of zero energy applied to military buildings is an excellent option to meet the energy demands of the military environment and to reduce the high consumption of buildings. The buildings of the Brazilian Army must be classified with level A in the National Energy Conservation Label. Distributed generation has grown in Brazil, with a large share of photovoltaic systems. The objective of this work was to evaluate the design of a military building for the Brazilian Army to transform it into a Zero Energy Building (EEZ) with photovoltaic systems to compensate for the reduced energy demand. The computational simulation method of INI-C was applied in DesignBuilder and the generation estimates of the photovoltaic system were obtained using SAM (System Advisory Model). The building project was classified as level A,

[1] NETO, Luiz Pereira da Silva; PIMENTEL, Breno Pontes; BARBOSA, Andréa Teresa Riccio; SORGATO, Marcio José. Avaliação técnica do potencial de transformar uma edificação militar em Edificação de Energia Zero. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

with a 59.5% reduction in consumption compared to the reference building. The analyzed photovoltaic systems (c-Si and CdTe) met the annual demand with productivity values of 1,571 kWh/kW and 1,586 kWh/kW and Performance Ratio (PR) of 0.79 and 0.80, respectively. The optimization analysis of the orientation of the building resulted in a small impact on energy consumption; however, in photovoltaic generation the impact was considerable, since in the optimized orientation the generation was 11.3% greater.

***Keywords**: energy efficiency, photovoltaic generation, computational simulation, ZEB.*

1 INTRODUÇÃO

Construir Edificações de Energia Zero (EEZ) é uma opção para atender às demandas energéticas dos quartéis eficientemente, reduzindo também o alto consumo de energia das edificações. Em 2019, elas foram responsáveis por 36% do consumo energético mundial, com tendências de crescimento (IEA, 2019). Uma EEZ deve ter demanda energética reduzida por medidas de eficiência energética e a demanda restante deve ser suprida por geração renovável local (CRAWLEY *et al.*, 2009).

Segundo Fossati *et al.* (2016), a redução do consumo energético das edificações pode ser obtida pela regulação, avaliação e classificação do desempenho energético. Em edificações do Exército Brasileiro, isso pode ser feito pela etiquetagem de edificações com a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nível A, exigida para edificações públicas federais desde 2014 (BRASIL, 2014).

A ENCE pode ser obtida aplicando o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, RTQ-C (INMETRO, 2012). Devido várias limitações e imprecisões encontradas na aplicação do RTQ-C (BAVARESCO *et al.*, 2017; MELO *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2013; YAMAKAWA; WESTPHAL, 2011), o regulamento foi revisado e será substituído pela Instrução Normativa INMETRO para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que passou por Consulta Pública (INMETRO, 2018), mas não foi homologada definitivamente até o momento.

Com a demanda reduzida e o aumento da eficiência energética obtidas pela etiquetagem, pode-se gerar energia renovável local para suprir a demanda restante a fim de tornar a edificação uma EEZ. A geração fotovoltaica tem se destacado no contexto energético nacional, especialmente devido à Resolução Normativa 482 da ANEEL, que impulsionou o número de usinas fotovoltaicas no país – em 2020, são mais de 3 GW de potência instalada de sistemas fotovoltaicos (ANEEL, 2012, 2020).

2 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi avaliar tecnicamente o projeto de uma edificação militar do Exército Brasileiro de modo a torná-la em uma Edificação de Energia Zero. Este trabalho visa contribuir para que o Exército Brasileiro elabore projetos baseados em desempenho por meio de simulação para eficiência energética e geração de energia, garantindo maior eficiência energética e uso otimizado de recursos federais.

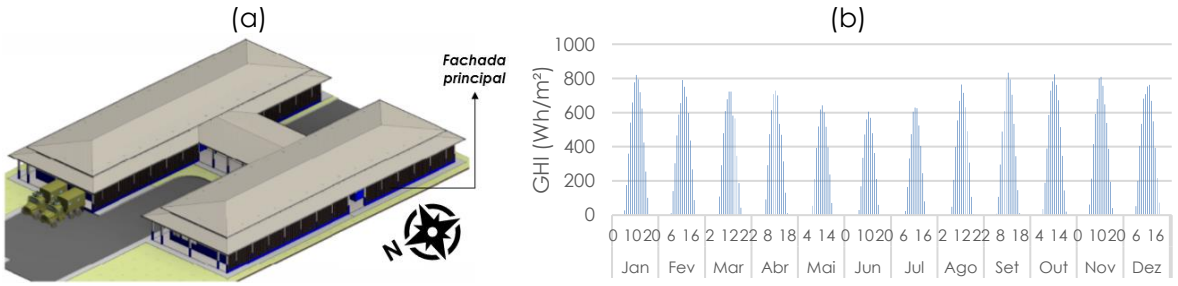
3 MÉTODO

3.1 Caracterização do objeto e do local da pesquisa

A edificação militar avaliada é um Pavilhão Companhia de Comando e Apoio (Figura 1(a)), tipologia comum a diversos quartéis de todo o território nacional. Essa

edificação está em construção e localiza-se em Campo Grande, MS (20.4697° S, 54.6201° W e clima tropical com inverno seco e verão chuvoso de acordo com Köppen-Geiger). Os valores diários médios de Irradiação Horizontal Global (GHI) para Campo Grande, conforme apresentados Figura 1(b), são elevados a maior parte do ano, com mínimos acima de 600 Wh/m² e máximos superiores a 800 Wh/m².

Figura 1 – (a) Vista em perspectiva do pavilhão do Exército Brasileiro avaliado pela INI-C e (b) Valores horários de GHI para Campo Grande



Fonte: (a) adaptado de CO/ 3° GPT E (2017) (b) arquivo climático do SWERA[2]

O Pavilhão, usado para fins de escritório, possui formato de "H" e é composto por uma edificação do lado Leste e uma do lado Oeste (cada uma com área total de 467,80 m²), interligadas por uma circulação aberta nas laterais. Como elementos de sombreamento, há varandas voltadas para todas as fachadas, e cobogós nas fachadas Oeste dos dois blocos da edificação que formam o pavilhão.

A cobertura dos ambientes fechados do pavilhão é formada por laje pré-moldada de 12 cm (concreto com espessura de 4 cm, EPS com espessura de 7 cm e argamassa com espessura de 1 cm), uma laje técnica de 1,60 m de altura, e telhas termoacústicas TB-30, da camada mais interna para a mais externa. Os fechamentos externos são todos em alvenaria de bloco cerâmico (9 cm x 19 cm x 19 cm), com argamassa interna e externa de 2,5 cm. A pintura das paredes é de cor branca, com valor de absortância solar a igual a 0,20 (INMETRO, 2016). As aberturas são compostas por vidro simples, não refletivo, com 6 mm de espessura e fator solar de 0,82.

O sistema de iluminação é composto de lâmpadas de LED (20W e 2600 lúmens), com potência instalada variável em cada zona térmica, de acordo com o projeto luminotécnico que atende à NBR ISO/CIE 8995-1:2013 – Iluminação de ambientes de trabalho. Os ambientes condicionados artificialmente possuem aparelhos de ar-condicionado do tipo Split Hi-Wall de 9.000, 12.000 e 18.000 BTU/h, etiquetados pelo INMETRO com ENCE nível "A" e coeficiente de eficiência médio de 3,24.

3.2 Método de Simulação da INI-C

Os consumos finais de energia elétrica e térmica dos sistemas individuais da edificação (condicionamento de ar, iluminação e equipamentos instalados) foram obtidos pelo método de simulação da INI-C. A classificação energética da edificação foi obtida comparando o consumo primário (simulado) do edifício na condição de projeto com o consumo na condição de referência. A modelagem, a caracterização e a simulação termoenergética da edificação foram realizadas no software *DesignBuilder* versão 6.1.0.006, que utiliza como algoritmo o *EnergyPlus* versão 8.9.0.001 e atende todos requisitos exigidos pela INI-C (item C.1 do Anexo C).

[2] Disponível em https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA//BRA_Campo.Grande.836120_SWERA

Para as simulações, foi utilizado o arquivo climático SWERA para Campo Grande, MS. Os valores da transmitância térmica e da absortância solar das paredes e coberturas, as propriedades dos vidros, o Percentual de Abertura na Fachada (PAF), os Ângulos Horizontais e Verticais de Sombreamento (AHS e AVS), o Coeficiente de Performance (COP) do sistema de condicionamento de ar e a Densidade de Potência de Iluminação (DPI) e de Equipamentos (DPE) foram definidos conforme Tabela A.1 do Anexo A da INI-C para a condição de projeto e para a condição de referência.

A ocupação da edificação considerada foi entre 8:00h e 18:00h, de segunda a sexta, período no qual todos os sistemas (iluminação, equipamentos e condicionamento de ar) funcionam. Considerou-se cada ganho térmico interno em todas as horas de ocupação de 100% de carga e o total de ganho de calor por pessoa de 120 W (taxa metabólica média para atividade de escritório desempenhada pelos ocupantes). A fração radiante dos ganhos de calor sensível pelas pessoas foi fixada em 30% e os 70% restantes foram assumidos como carga térmica por convecção.

Conforme adotado por Versage (2015), a fração radiante das cargas internas do sistema de iluminação e dos equipamentos adotada foi de 72%, a fração convectiva de 10%, e os 18% restantes foram a fração visível das lâmpadas ou a fração de trabalho dos equipamentos. Na modelagem, foram utilizados valores de ocupação, de equipamentos e de iluminação em números absolutos (W) e o objeto *Packaged Terminal Air Conditioner* (PTAC) para o sistema de condicionamento de ar.

Após avaliação desses sistemas individualmente, o consumo total da edificação calculado (Equação 8 da INI-C). O consumo total anual de energia primária da edificação foi estimado com a Equação 7 da INI-C. Posteriormente, calculou-se o percentual de economia de energia da edificação de projeto em relação à edificação de referência (Equação10 da INI-C). Para essa edificação, o Fator de Forma é de 0,74 (Leste) e de 0,77 (Oeste). Como o Fator de Forma dessa edificação de escritório é maior que 0,50, pela Tabela 5 da INI-C, o coeficiente de redução mínimo do consumo de energia primária da classe "D" para a classe "A" é de 38% (considerando Campo Grande, MS, classificada por Roriz (2014) no Grupo Climático 10) (INMETRO, 2018).

Foi realizada uma análise paramétrica com o objetivo de quantificar a redução de consumo e o aumento de potencial fotovoltaico que poderiam ser obtidos caso fosse realizada uma avaliação prévia da orientação solar da edificação por meio de simulação. A orientação da fachada principal na condição de projeto é Oeste (ou seja, 90º em relação ao Norte). Utilizando o *DesignBuilder,* variou-se a orientação da fachada principal da edificação para 0º, 180º e 270º em relação ao Norte, com o objetivo de verificar qual orientação apresenta menor consumo energético e maior potencial fotovoltaico. Para essa análise específica, os cobogós da fachada Oeste foram excluídos na modelagem, mantendo os elementos de sombreamento iguais em todas as direções. Na orientação de menor consumo e maior potencial fotovoltaico, os cobogós foram adicionados à modelagem novamente, em posição favorável a redução da carga térmica de resfriamento da edificação.

3.3 Simulação do sistema fotovoltaico

Para análise do desempenho dos sistemas fotovoltaicos, foram realizadas simulações no programa SAM (*System Advisory Model*) versão 2020.2.29, desenvolvido pelo NREL. As simulações também utilizaram o arquivo climático do SWERA para a cidade de Campo Grande e o modelo de Perez da radiação difusa do céu. Utilizou-se inversores

Fronius Symo (Potência nominal de 22,7kWac, trifásico e com eficiência de 97,64%). Os módulos escolhidos foram de silício policristalino, pois correspondem a 93% da produção mundial (FRAUNHOFER, 2019) e de Telureto de Cadmio (Tabela 1), que possui bons desempenhos em climas brasileiros (SORGATO *et al.*, 2018).

Tabela 1 - Características elétricas dos módulos escolhidos

Tec.	Modelo/Fabricante	$P_{máx}$ (W)	V_{mp} (V)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	Eficiência (%)	Dimensões (mmxmm)
c-Si	CanadianSolar CS3W-405P	405	38,9	10,42	10,98	18,30	2108x1048
CdTe	FirstSolar FS-6435A	435	183,6	219,6	2,5	17,54	2009x1232

Na condição de projeto, as coberturas que possuem área disponível para alocação dos módulos são as do lado leste (ângulo azimutal 90º) e do lado oeste (ângulo azimutal 270º). A inclinação em ambas é de 10º. Foram utilizados os valores padrão do SAM para as perdas: 2% para *mismatch* dos módulos, 0,5% para diodos e conexões, 2% para fiação CC, 1% para fiação CA e 5% para sujeira. As perdas por sombreamento foram desconsideradas pois não há volumes próximos à edificação.

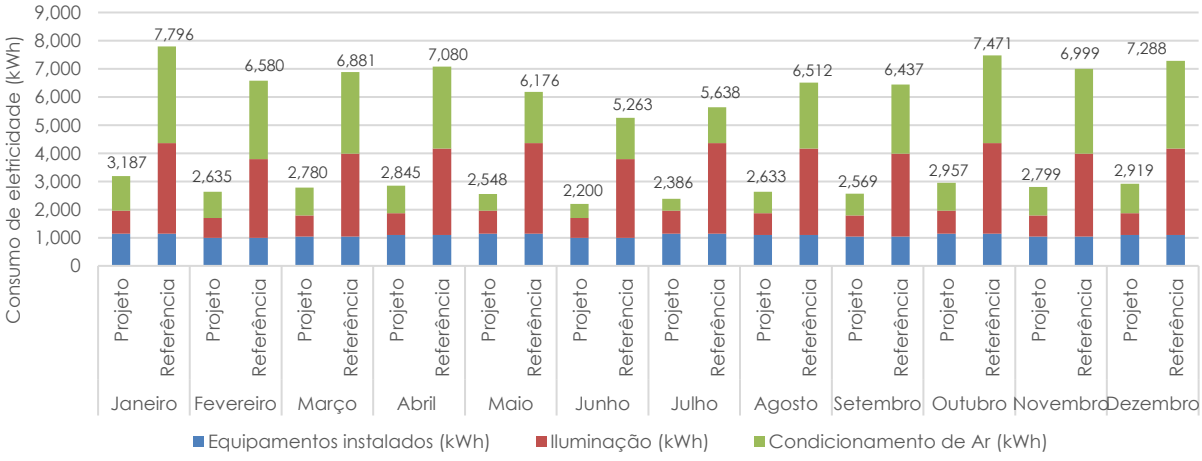
A análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos é feita por meio do *Performance Ratio* (PR) e do *Yield*. O PR mede a qualidade do sistema relacionando o desempenho real com o ideal, ou seja, sem perdas (quanto mais próximo de 1, mais eficaz é o sistema fotovoltaico). O *Yield* é a fração entre a energia elétrica total gerada pelo sistema em um intervalo de tempo e a potência nominal do sistema fotovoltaico em kWh/kW (BRAGA *et al.*, 2018).

O balanço energético será calculado com base na geração de energia por sistemas fotovoltaicos instalados na cobertura da edificação. Será considerado para fins desse balanço o consumo anual de eletricidade da edificação (equipamentos instalados, iluminação e condicionamento de ar).

4 RESULTADOS

A edificação militar foi avaliada pelo método de simulação da INI-C. Os consumos mensais na condição de projeto e de referência são apresentados na Figura 2.

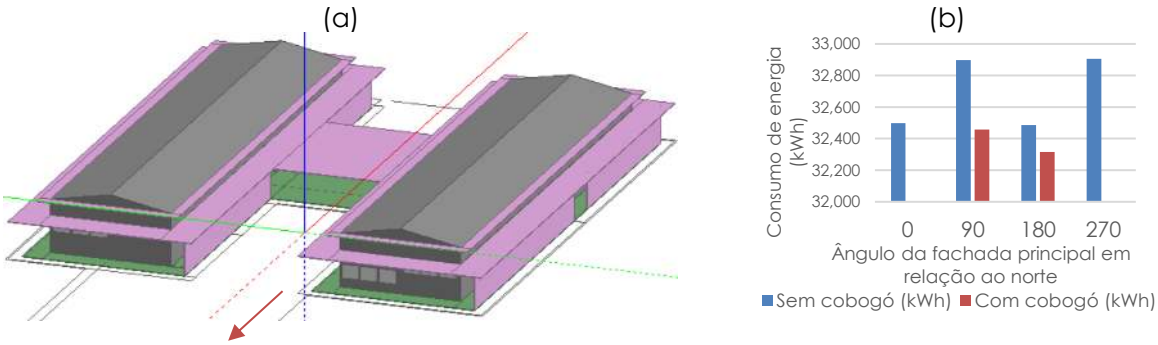
Figura 2 - Consumo mensal de eletricidade (condição de projeto e de referência)



O consumo anual da edificação projetada foi de 32.457 kWh, enquanto na condição de referência foi de 80.122 kWh, resultando em um percentual de economia de energia de 59,5%. Obteve-se, portanto, ENCE Geral de Projeto classe "A", seguindo as diretrizes nacionais para edificações públicas federais.

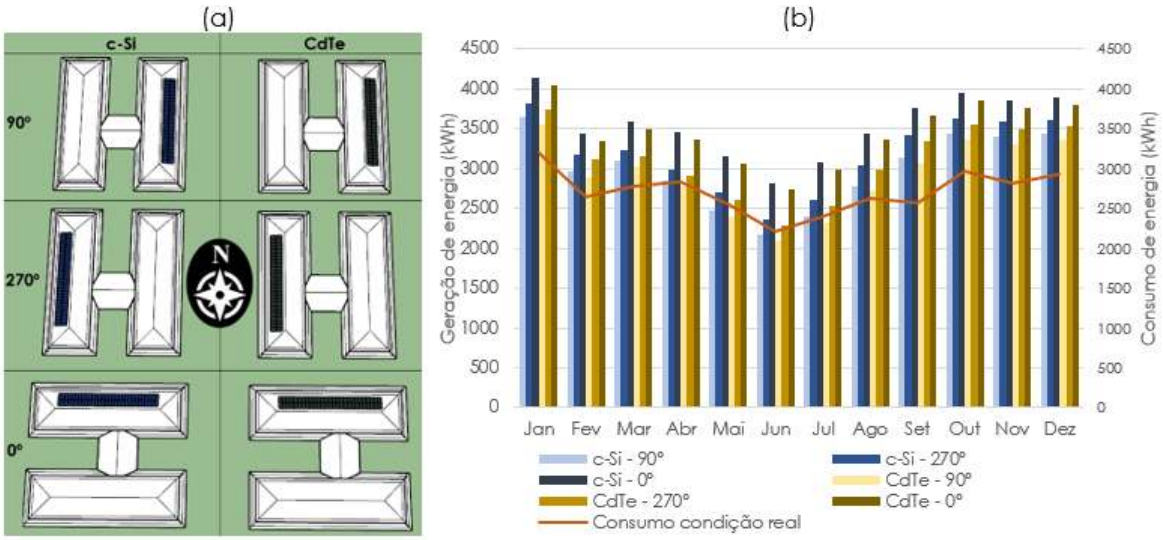
A análise paramétrica realizada rotacionando a edificação evidenciou que a orientação da edificação de 90° em relação ao Norte (ou seja, fachada principal a Oeste, conforme projetado) e a de 270° (fachada principal a Leste) representam os maiores consumos energéticos, e as de 0° e 180°, respectivamente com fachadas principais a Norte e Sul, os menores. A posição de 180° (fachada principal a Sul) apresentou menor consumo energético, que pode ser ainda mais otimizado quando são posicionados cobogós que diminuam a insolação nas fachadas voltadas para o Norte. A modelagem da edificação na condição de projeto (fachada principal a Oeste) é ilustrada na Figura 3 (a) e a análise paramétrica, com máximos e mínimos consumos energéticos, é apresentada na Figura 3 (b).

Figura 3 – (a) Modelagem da edificação na condição de projeto no programa *DesignBuilder* (b) Variação do consumo com a orientação da edificação.



A diferença entre os consumos energéticos na pior (270°) e na melhor posição (180°) foi de apenas 1,29%. Quando a edificação é rotacionada de 90° (fachada principal a Oeste) para 180° (fachada principal a Sul), o consumo reduziu em 1,25% e a área de telhado voltada para o Norte aumentou significativamente. Isso permite que o sistema fotovoltaico seja alocado nesse telhado, que possui ângulo azimutal nulo. As modelagens dos sistemas fotovoltaicos no SAM são apresentadas na Figura 4 (a). Na Figura 4 (b) estão a geração e o consumo mensais na condição de projeto.

Figura 4 – (a) Modelagem dos sistemas fotovoltaicos nas condições de projeto e otimizada (b) Geração de energia mensal para cada tecnologia de módulo e ângulo azimutal e consumo mensal de energia na condição de projeto



Foram utilizados 60 módulos de c-Si (4 *strings* de 15 módulos, resultando em área total de 128,4m² e 24,32 kWcc) e 54 módulos de CdTe (18 *strings* de 3 módulos, resultando

em área total de 133,9m² e 23,49 kWcc). Os resultados das simulações dos sistemas fotovoltaicos por tecnologia de módulo são apresentados na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**.

Tabela 2 - Resultados das simulações dos sistemas fotovoltaicos

	c-Si			CdTe		
	Projeto		Otimizada	Projeto		Otimizada
Ângulo azimutal	90º	270º	0º	90º	270º	0º
Geração anual (MWh)	35.812	38.202	42.534	34.905	37.263	41.496
Yield (kWh/kW)	1.473	1.571	1.749	1.486	1.586	1.766
Performance Ratio	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,80

Na condição de projeto, os sistemas simulados na cobertura oeste (ângulo azimutal 270º) foram os que apresentaram maior geração e maior *yield* (aproximadamente 6,7% superior aos sistemas com ângulo azimutal 90º). Além disso, conseguiram suprir o consumo da edificação mensal e anualmente. Isso explicitou que alocar módulos na cobertura oeste foi a melhor opção na edificação projetada. Comparando as tecnologias de módulos, os *yields* dos sistemas de CdTe ficaram superiores aos dos de c-Si (diferença inferior a 1%). O sistema de c-Si apresentou PR de 0,80 quando instalado com ângulo azimutal nulo e 0,79 na condição de projeto. O sistema de CdTe apresentou PR de 0,80 independentemente do ângulo azimutal.

Apesar da influência de redução da demanda de energia com a mudança da orientação solar da edificação ser pequena (1,25%), o aumento da geração fotovoltaica foi expressivo (11,30%) quando a edificação foi rotacionada de modo a ter maior área de cobertura para alocação de módulos com ângulo azimutal nulo, que coincide com a orientação de menor consumo de energia (melhor posição da Figura 3 (b)). Os *Yields* dos sistemas seguiram a mesma tendência, explicitando grande aumento da produtividade e melhor desempenho quando os sistemas são projetados com ângulo azimutal nulo. Deve-se, portanto, na fase de projeto da edificação, fazer considerações a respeito da orientação da edificação no terreno para redução do consumo e, especialmente, aumento da geração fotovoltaica.

5 CONCLUSÕES

Uma Edificação Militar de Energia Zero pode ser obtida por meio da análise do desempenho energético e pela geração renovável local em quantidade suficiente para suprir a reduzida demanda de energia em um período anual. Nesse estudo avaliou-se o projeto de uma edificação militar do Exército Brasileiro localizada em Campo Grande, MS, aplicando o método de simulação da INI-C com o DesignBuilder e simulando sistemas fotovoltaicos no SAM. A edificação foi classificada com ENCE nível A e os sistemas fotovoltaicos resultaram em produtividades de 1.571 kWh/kW e 1.586 kWh/kW e Performance Ratio de 0,79 e 0,80 (respectivamente, para módulos de c-Si e de CdTe). Foi realizada uma análise paramétrica para definir qual orientação da edificação resulta em menor consumo de energia e maior potencial fotovoltaico. A melhor orientação foi girando a fachada principal em 90º. Nela, o consumo anual diminuiu 1,25% e a geração fotovoltaica dos sistemas aumentou 11,30%. Percebe-se a importância da utilização de ferramentas de simulação termoenergética e de geração fotovoltaica para elaboração de projetos baseados em desempenho pelo Exército Brasileiro. A orientação da edificação deve levar em consideração a instalação de sistemas fotovoltaicos, preferindo orientações que

resultem em grandes áreas disponíveis para módulos com ângulo azimutal nulo (0º N). A geração fotovoltaica maior sinaliza que um sistema menor poderia suprir a demanda anual da edificação, facilitando o alcance do objetivo de energia zero com custos menores, a serem ratificados em estudos posteriores.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Geração Distribuída.** Microsoft Power BI. Disponível em: https://app.powerbi.com/ Acesso em: 2 jul. 2020.

_____. **Resolução Normativa Nº 482**, de 17 de abril de 2012. 2012.

BAVARESCO, M., MAZZAFERRO, L., MELO, A. P., LAMBERTS, R. "Análise da precisão de um metamodelo para a avaliação da envoltória de acordo com o regulamento brasileiro de eficiência energética em edificações". 2017. **Anais** [...] Balneário Camboriú, [s.n.], 2017.

BRAGA, M., CAMPOS, R. A., DO NASCIMENTO, L. R., RUTHER, R., SANTOS, E. M. "Avaliação de desempenho de diferentes tecnologias fotovoltaicas em Irecê, BA". 2018. **Anais** [...] Gramado, [s.n.], 2018.

BRASIL. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG)**. Instrução Normativa Nº 2, de 4 de junho de 2014. 2014

CO/ 3º GPT E. **Planta de Lay-Out (Planta Humanizada), Estudo de Insolação e Perspectivas - Construção da Companhia de Comando e Apoio (CCAp)**. Campo Grande, MS: Exército Brasileiro. Diretoria de Obras Militares, 2017

CRAWLEY, Drury; TORCELLINI, Paul; PLESS, Shanti. Getting to Net Zero Energy Buildings. **ASHRAE Journal**, n. September, 2009. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy09osti/46382.pdf>.

FOSSATI, M., SCALCO, V. A., LINCZUK, V. C. C., LAMBERTS, R. "Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, p. 1216–1231, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2016.06.048.

FRAUNHOFER. Photovoltaics Report©Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report. **©Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report**, v. 2013, n. March, p. 1–18, 2019.

IEA. **Global Status Report for Buildings and Construction 2019**. Paris, França: International Energy Agency. 2019

INMETRO. **Manual para Aplicação do RTQ-C.** Rio de Janeiro, RJ, 2016

_____. **Portaria n° 17, de 16 de janeiro de 2012.** 2012

_____. **Portaria nº 248, de 10 de julho de 2018.** 2018

MELO, A. P., CÓSTOLA, D., LAMBERTS, R., HENSEN, J. L. M. "Assessing the accuracy of a simplified building energy simulation model using BESTEST: The case study of Brazilian regulation", **Energy and Buildings**, 2012. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.007.

MELO, A.P., CÓSTOLA, D., LAMBERTS, R.,HENSEN, J.L.M. "Desenvolvimento de um método para aprimorar a precisão do método prescritivo da etiquetagem PROCEL/INMETRO para edifícios comerciais", **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 12.**, n. 2013, 2013.

RORIZ, M. Classificação de Climas do Brasil – Versão 3.0. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC)**, p. 1–5, 2014.

SORGATO, M. J.; SCHNEIDER, K.; RÜTHER, R. Technical and economic evaluation of thin-film CdTe building-integrated photovoltaics (BIPV) replacing façade and rooftop materials in office buildings in a warm and sunny climate. **Renewable Energy**, v. 118, p. 84–98, 2018.

VERSAGE, R. S. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). UFSC, Florianópolis.

YAMAKAWA, M. A., WESTPHAL, F. S. "Influência do percentual de abertura nas fachadas e do fator solar dos vidros na etiquetagem do PROCEL/INMETRO: método prescritivo x simulação". 2011. **Anais** [...] Búzios, [s.n.], 2011.