



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO

Renata Mansuelo Alves Domingos (1); Elaise Gabriel (2); Emeli Lalesca Aparecida da Guarda (3); Fernando Oscar Ruttkay Pereira (4)

(1) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, renata@labcon.ufsc.br

(2) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, elaisegabriel@gmail.com

(3) Msc Engenharia de Edificações e Ambiental, Doutoranda Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, emeliguarda@hotmail.com

(4) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, ruttkay.pereira@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-7080

RESUMO

Construções com uso educativo são grandes contribuintes para as emissões de gases do efeito estufa e com grande demanda energética. Esses edifícios tem o perfil de consumo ideal para a integração de sistemas fotovoltaicos. Existe, no entanto, uma preocupação com a estética dessas edificações, além da existência de árvores responsáveis por sombreamento, que podem diminuir a eficiência do sistema instalado. Essa pesquisa tem por objetivo dimensionar um sistema fotovoltaico para a Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) localizada na cidade de Sinop-MT com funcionamento nos três períodos e, verificar a viabilidade econômica do sistema. A metodologia consiste em três etapas, sendo: caracterização do objeto de estudo, simulação do sistema fotovoltaico e análise econômica. Utilizou-se o programa computacional PVSyst para o dimensionamento técnico e planilha eletrônica para os cálculos de viabilidade financeira. Os resultados demonstraram que, mesmo com o sombreamento parcial há viabilidade para implantação do sistema. Os indicadores econômicos (Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback*) mostraram que o retorno pode ser alcançado em menos de oito anos e que, a TIR está superior da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), sendo de 21% e a TMA usada de 6%. Conclui-se que, além de ser vantajoso financeiramente e ambientalmente, o sistema pode se adaptar a construção já edificada, o que mostra a possibilidade de estudos para implantação em outras universidades do país.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, Viabilidade Econômica, Simulação Computacional.

ABSTRACT

Buildings with educational uses are major contributors to greenhouse gas emissions and with great energy demand. These buildings have the ideal consumption profile for the integration of photovoltaic systems. There is, however, a concern if the aesthetics of these buildings, besides the existence of trees responsible for shading, which can decrease the efficiency of the installed system. The aim of this research is to design a photovoltaic system for the UNEMAT, located in the city of Sinop-MT, operating in the three periods of day and to verify the economic viability of the system. The methodology consists of three steps: characterization of the object of study, simulation of the photovoltaic system and economic analysis. PVSyst software was used for the technical sizing and Excel spreadsheet for calculations of financial viability. The results showed that, even with partial shading, it is feasible to implement the system. The economic indicators (Internal Rate of Return - IRR - and Payback) showed that the return is reached in less than eight years and that the IRR (of 21%) is higher than the Minimum Attractiveness Rate of Return (MARR) used, of 6%. It is concluded that, in addition to being financially and environmentally beneficial, the system can adapt to the construction already built, which shows the possibility of studies for implantation in other universities of the Brazil.

Keywords: Photovoltaic Systems, Economic Viability, Computational Simulation.

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia renovável está aumentando em todo o mundo, como parte de estratégias de longo prazo destinadas a reduzir as emissões de gases de efeito estufa e, também, obter um fornecimento sustentável de eletricidade. Sabe-se que a geração de energia elétrica, principalmente com base em combustíveis fósseis, pode causar danos ao meio ambiente por meio da emissão de gases e partículas tóxicas (BARROSO et al., 2010).

A crescente demanda por energia, resultante do aumento das atividades socioeconômicas em todo o mundo, deve ser considerada em termos de eficiência, confiabilidade e aspectos ambientais. Neste contexto, as alternativas de energia renovável tornaram-se o foco de muitos estudos sobre questões ambientais e econômicas. Alguns países estão na vanguarda dos investimentos tecnológicos e regulatórios em geração de energia mais limpa, permitindo que países que recentemente começaram a levar em consideração fontes alternativas de energia aprendam com suas experiências (RÜTHER ET AL., 2008). A energia renovável tem muitas vantagens ambientais e de segurança em comparação com fontes de energia convencionais, podendo enfrentar a mudança climática, diminuir a dependência da importação de combustível e diversificar as fontes de energia (CHOI et al., 2018).

A energia solar tem um grande potencial para contribuir para muitos dos aspectos sociais e ambientais das crescentes demandas de eletricidade. Além de baixas emissões de carbono, a energia solar não requer insumos fósseis e pode apresentar um tempo de retorno favorável se implantada sob condições adequadas de irradiação e considerando os parâmetros econômicos relevantes e aplicáveis. Ao analisar políticas e projetos internacionais de energia solar, várias oportunidades são notáveis para adaptação e implantação para estimular o uso dessa tecnologia no Brasil (RÜTHER ET AL., 2008).

O Brasil enfrenta um aumento contínuo da demanda de energia e uma diminuição dos recursos disponíveis para expandir o sistema de geração. Os edifícios residenciais são responsáveis por 23% da demanda nacional de eletricidade. Assim, é necessário buscar novas fontes de energia para diversificar e complementar os vários tipos de fontes energéticas. A energia fotovoltaica integrada em edifícios (BIPV) está ganhando força em todo o mundo e pode ser uma alternativa interessante para o Brasil devido às suas características de radiação solar (ORDENES et al., 2007).

O país possui enormes reservas de silício e altos níveis de irradiação solar durante todo o ano, mas a participação da energia solar em seu complexo de eletricidade foi inexpressiva até recentemente. No entanto, as políticas atuais do governo brasileiro têm sido responsáveis por uma crescente implantação de sistemas fotovoltaicos e, portanto, forneceram condições mais favoráveis para o surgimento de uma indústria fotovoltaica nacional (PINTO et al., 2016). Sendo assim, a energia solar fotovoltaica (FV) conectada à rede elétrica distribuída desempenha um papel cada vez mais importante devido aos avanços dessa tecnologia, combinada com a redução dos custos de capital e subsídios. Os benefícios da geração distribuída incluem: reduzir perdas na distribuição, diminuir a carga da rede, diversificar a matriz energética do país e atrasar investimentos em aumento de capacidade de subestações e linhas de transmissão (DIAS et al., 2017; VILAÇA GOMES et al., 2018).

Os painéis interligados à rede podem ser instalados em qualquer edificação, porém é necessário antes alguns estudos para locação e dimensionamento do mesmo. Um projeto envolve para onde as superfícies dos módulos estão voltadas, a área disponível para instalação, radiação solar do local instalado, a quantidade de energia a ser consumida e diversos outros fatores. Sendo os primeiros passos a determinação da quantidade de energia a ser produzida, seja por meio das contas de luz anteriores ou por meio da carga estipulada em um projeto elétrico, e a determinação da área disponível para instalação dos módulos, podendo assim ser feito um estudo anterior para saber se a influência de sombreamento e outras questões (RÜTHER, 2000). Essas perdas tem efeito significativo a ponto de serem desenvolvidas ferramentas para estimativa do efeito na produção de energia elétrica do sistema (ZOMER; RÜTHER, 2017)

De forma resumida alguns fatores essenciais que devesse atentar para a locação dos módulos são a orientação geográfica, que é para onde as placas estão voltadas. No caso do Brasil que se encontra no hemisfério sul a melhor disposição é sempre voltada ao norte, para uma melhor captação da radiação e consequente geração de energia (RÜTHER, 2000).

Do ponto de vista estratégico, o Brasil possui uma série de características naturais favoráveis, como altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alta pureza, células solares e módulos, que são produtos com alto valor acrescentado. Esses fatores podem abrir caminho para um papel mais importante da tecnologia na diversificação da matriz de energia elétrica (RÜTHER ET AL., 2008).

O uso de energia limpa e da tecnologia fotovoltaica em instituições públicas, pode se tornar uma alternativa para amenizar os custos de energia elétrica no Brasil. O sistema de energia solar FV já é utilizado em algumas instituições de ensino, em diferentes estados do Brasil, com o predomínio do uso diurno, coincidindo com o pico de geração solar FV, além de auxiliar para o desenvolvimento sustentável, o sistema pode ser muito viável economicamente, como é caso de algumas instituições que já contam com micro usinas, por exemplo, UFSC, USP, UFPR, UFSM.

2. OBJETIVO

Diante deste cenário, esse trabalho tem por objetivo demonstrar a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico para suprir, parcialmente, a demanda energética de um dos *campi* da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), localizada na cidade Sinop no norte do estado. Para tal foi usado o programa PVsyst para o dimensionamento técnico e planilhas eletrônicas para os cálculos de viabilidade financeira.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os painéis fotovoltaicos podem ser integrados na envoltória das edificações para a geração de energia elétrica, eliminando assim o uso adicional da terra. Em geral, a combinação de tarifas residenciais elevadas com alta disponibilidade de radiação solar sugere que a eletricidade fotovoltaica pode alcançar a viabilidade econômica para instalações de telhado conectadas à rede (AKOREDE et al., 2010; DÁVI et al., 2016). Segundo Aquila et al. (2017) a principal barreira para penetração das fontes renováveis de energia em sistemas de energia elétrica são os altos custos tecnológicos, o que pode colocar esta alternativa em desvantagem em relação ao custo benefício se comparada com fontes convencionais.

Holdermann et al. (2014) usaram o método de fluxo de caixa descontado para calcular os custos de investimento específicos que é necessário para saber se os sistemas fotovoltaicos são economicamente viáveis para cada uma das 63 redes de distribuição no Brasil. No cálculo, foram utilizadas as tarifas de energia elétrica, incluindo taxas e impostos, obtidas por meio de entrevistas por telefone e informações disponíveis ao público. No cenário estudado em nenhuma das redes de distribuição a energia fotovoltaica era economicamente viável nos setores comercial ou residencial.

Trabalhos mais recentes já demonstram viabilidade econômica, no cenário residencial do país, Vale et al. (2017) fizeram uma análise econômica dos sistemas fotovoltaicos integrados a casas do programa Minha Casa Minha Vida no estado do Piauí e de São Paulo. A metodologia aplicada foi o fluxo de caixa para o cálculo do valor presente líquido e a taxa interna de retorno, comparando a influência da isenção do ICMS. Em todos os cenários dos casos estudados a taxa interna de retorno foi maior que a taxa mínima de atratividade, o que comprova a viabilidade econômica para implantação do sistema e uma oportunidade de combinar esse programa social com a possibilidade de diversificar a matriz energética utilizando o potencial solar do país.

No cenário comercial, Sorgato et al. (2018) analisaram no Brasil e sob os preços do módulo solar fotovoltaico, o potencial técnico e econômico de integrar o telhado de cádmio (CdTe) de película fina de vidro fino, sem moldura, de última geração. Dessa forma o objetivo é implantar os módulos fotovoltaicos em uma fachada e telhado comercial, e avaliar a viabilidade econômica de substituir materiais de fachada de vidro arquitetônico e material compósito de alumínio com elegantes módulos fotovoltaicos pretos em seis cidades brasileiras. A análise econômica mostrou que, com os custos decrescentes da energia fotovoltaica, a substituição de materiais convencionais de construção de fachadas por módulos fotovoltaicos não é apenas uma abordagem inovadora, mas também de benefício econômico.

Nesse contexto pouco se estuda os edifícios públicos e educacionais, que é o caso da proposta desse estudo, preencher parte dessa lacuna.

4. MÉTODO

O método está dividido em três etapas. A primeira consiste na caracterização do objeto de estudo, na qual foi estudado a implantação e estimado o consumo por meio das contas de energia elétrica existentes do ano de 2017. A segunda etapa é o dimensionamento do sistema FV considerando o edifício e o sombreamento existente. Por fim, a terceira etapa é análise dos resultados e da viabilidade econômica do sistema.

4.1. Caracterização do Objeto de Estudo

A UNEMAT está localizada na cidade de Sinop, na latitude 11°51'51" S e longitude 55°30'09" W, com altitude de 345m. O campus conta com vários blocos instalados, porém foi considerada apenas a parte onde há maior concentração de blocos como mostra a Figura 1.



Figura 1 - UNEMAT: (A) Traçado; (B) Vista aérea.

Algumas medidas de inclinações dos telhados não foram obtidas, por causa da falta de dados como cortes nos arquivos das plantas e pela presença expressiva de arborização no espaço (Figura 1). Assim, dos 5562,81m² disponíveis foram considerados 3295,39m². A inclinação de todos os sistemas foi de 19°, acompanhando o telhado, que por coincidência após as análises e realização do ábaco de irradiação (Figura 2), foi tida como a melhor inclinação para o local.

Inclinação	Ábaco de irradiação Solar - Sinop					
90	1003	1040	976	938	976	1040
75	1226	1283	1254	1217	1253	1282
60	1427	1499	1506	1498	1506	1499
45	1593	1672	1706	1715	1706	1671
30	1716	1788	1831	1846	1831	1788
15	1796	1839	1869	1880	1869	1839
0	1814	1814	1814	1814	1814	1814
	90	60	30	0	30	60
Desvio Azimutal						

Inclinação	Ábaco de irradiação Solar - Sinop (%)					
90	53%	55%	52%	50%	52%	55%
75	65%	68%	67%	65%	67%	68%
60	76%	80%	80%	80%	80%	80%
45	85%	89%	91%	91%	91%	89%
30	91%	95%	97%	98%	97%	95%
15	95%	98%	99%	100%	99%	98%
0	96%	96%	96%	96%	96%	96%
	90	60	30	0	30	60
Desvio Azimutal						

Máx	1882
------------	------

Figura 2 – Ábaco de Irradiação de Sinop-MT.

O dimensionamento do consumo foi baseado no ano de 2017 de acordo com as faturas elétricas. Os valores do consumo em KWh mensal estão na Figura 3.

Mês	Consumo (KWh)
Janeiro	37800
Fevereiro	52080
Março	40320
Abril	31080
Maio	62160
Junho	75180
Julho	60900
Agosto	59220
Setembro	46200
Outubro	70980
Novembro	70140
Dezembro	60480
Total	666540
Média mensal	55545

Figura 3 – Consumo da UNEMAT em 2017.

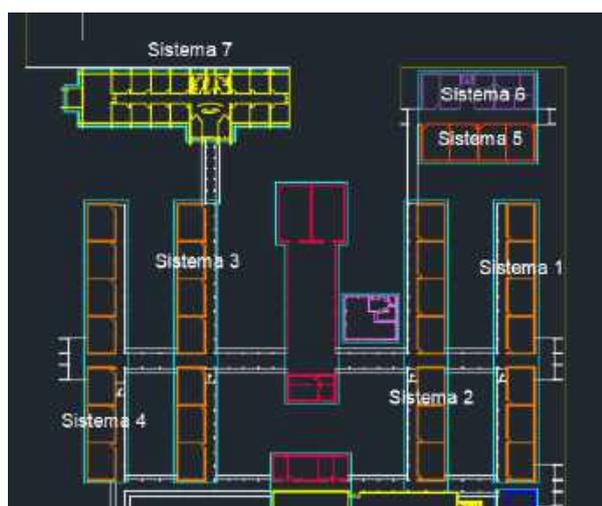
4.2. Dimensionamento

Para o dimensionamento utilizou-se o programa PVsyst na versão 6.6.8. Optou-se pela placa de mono silício (Si-mono) devido a sua maior eficiência, o que resulta em maior geração por área, mesmo tendo um preço um pouco mais elevado. As configurações dos painéis são: Canadian Solar Inc. com 375Wp de potência, 34V; em todos os sistemas foram instalados painéis de mesma configuração por razões comerciais, assim como os inversores. Os inversores são da ABB, 30kW, 200-950V. As demais configurações técnicas podem ser encontradas no relatório das simulações em anexo.

Como os blocos possuem áreas variadas e alguns sofrem influência de sombreamento, o sistema foi dividido em sete partes, com duas orientações cada, totalizando 14 simulações. Os sistemas foram nomeados e dispostos como na Figura 4.

Sistema	Nome no Relatório	Orientação	Perda por sair do sistema ideal
1	Padrão 1	Norte	0.30%
	Padrão 2	Sul	12%
2	Padrão 3	Sul	12%
	Padrão 4	Norte	0.30%
3	Padrão 5	Norte	0.30%
	Padrão 6	Sul	12%
4	Padrão 7	Sul	12%
	Padrão 8	Norte	0.30%
5	Coordenação 1	Leste	3.80%
	Coordenação 2	Oeste	7.20%
6	Coordenação 1	Leste	3.80%
	Coordenação 2	Oeste	7.20%
7	Cei 1	Leste	3.80%
	Cei 2	Oeste	7.20%

(A)



(B)

Figura 4 - Sistemas: (A) Perdas dos sistemas; (B) Posicionamento dos sistemas.

Sabe-se que o melhor rendimento de um painel FV é com orientação voltada ao norte e inclinação na latitude do local. Por Sinop-MT ser uma cidade com inverno caracterizado por céu limpo, essa inclinação é ligeiramente maior. Nos resultados será demonstrada a produção mensal de cada sistema da Figura 4 comparado ao de maior desempenho (na orientação adequada e sem sombreamento), um compilado da produção total gerada, a produção ideal de acordo com o KwP simulado e a demanda do edifício.

5. RESULTADOS

A análise preliminar foi feita a partir do consumo do ano de 2017, com radiação diária de 4,97kWh/m²dia e 75% de desempenho, com esses dados foi calculada a potência nominal pico dos painéis que é de 496,71kWp. Por questões de áreas viáveis, não foi possível atingir esse valor, então o valor simulado foi de 451kWp (resultado da soma dos 14 sistemas). Na Figura 5 encontra-se cada sistema com a sua respectiva potência, geração e performance. Os resultados desse sistema simulado foram apresentados em duas partes, na parte técnica que consta a geração de energia e na parte financeira consta o VPL, TIR, tempo de retorno e LCOE.

Sistema	Nome no Relatório	Sistema	Potencia (KWp)	Geração Anual (MWh)	PR (%)
1	Padrão 1	VC1	42	63.36	77.84
	Padrão 2	VC2	42	55.1	77.46
2	Padrão 3	VC3	42	54.8	77.12
	Padrão 4	VC4	42	63.3	77.03
3	Padrão 5	VC5	42	62.6	76.12
	Padrão 6	VC6	42	54.5	76.69
4	Padrão 7	VC7	42	55.5	78.04
	Padrão 8	VC8	42	62.1	75.52
5	Coordenação 1	VC9	12.8	18.45	77.85
	Coordenação 2	VC10	12.8	18.45	78.29
6	Coordenação 1	VC11	12.8	18.08	77.85
	Coordenação 2	VC12	12.8	18.08	78.29
7	Cei 1	VC13	31.9	46.08	77.77
	Cei 2	VC14	31.9	45.14	78.2
Total			451	635.54	77.24

Figura 5 – Dados técnicos dos sistemas.

5.1. Análise Técnica

Nas simulações foram considerados o sombreamento existente no local, as perdas de 3% de LID, 2% de *mismatch* e 3% de sujeira. O sistema ideal, com os módulos inclinados em um ângulo igual ao da latitude local, foi calculado considerando essas perdas (menos o sombreamento). Para análise comparativa foi dividido em três grupos, com a mesma potência nominal e área instalada, ou seja, o grupo dos blocos, coordenação e do CEI (Figura 6, 7 e 8).

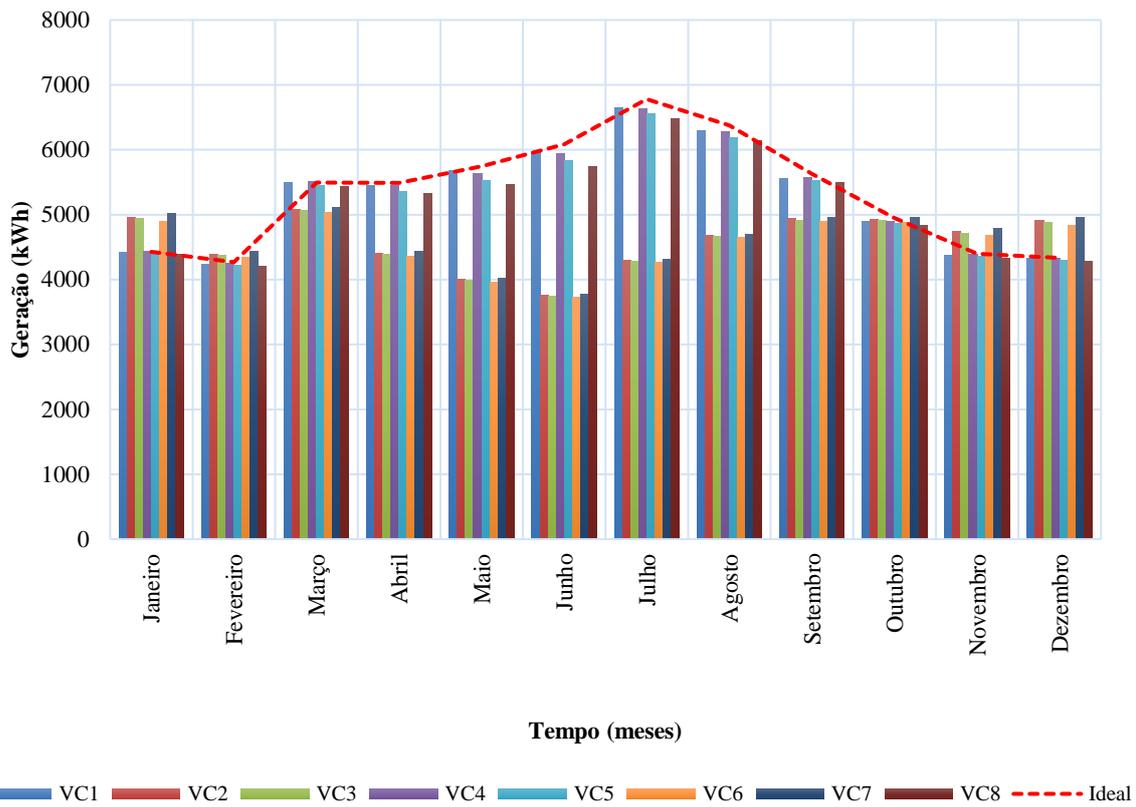


Figura 6 – Produção x Ideal dos blocos.

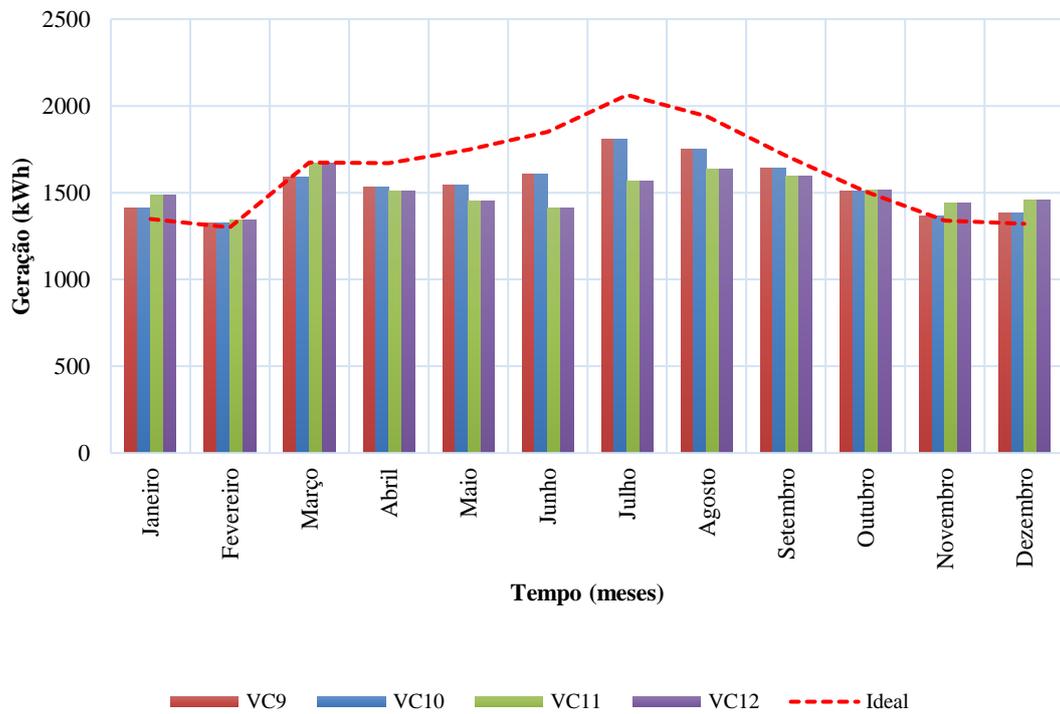


Figura 7 – Produção x Ideal da coordenação.

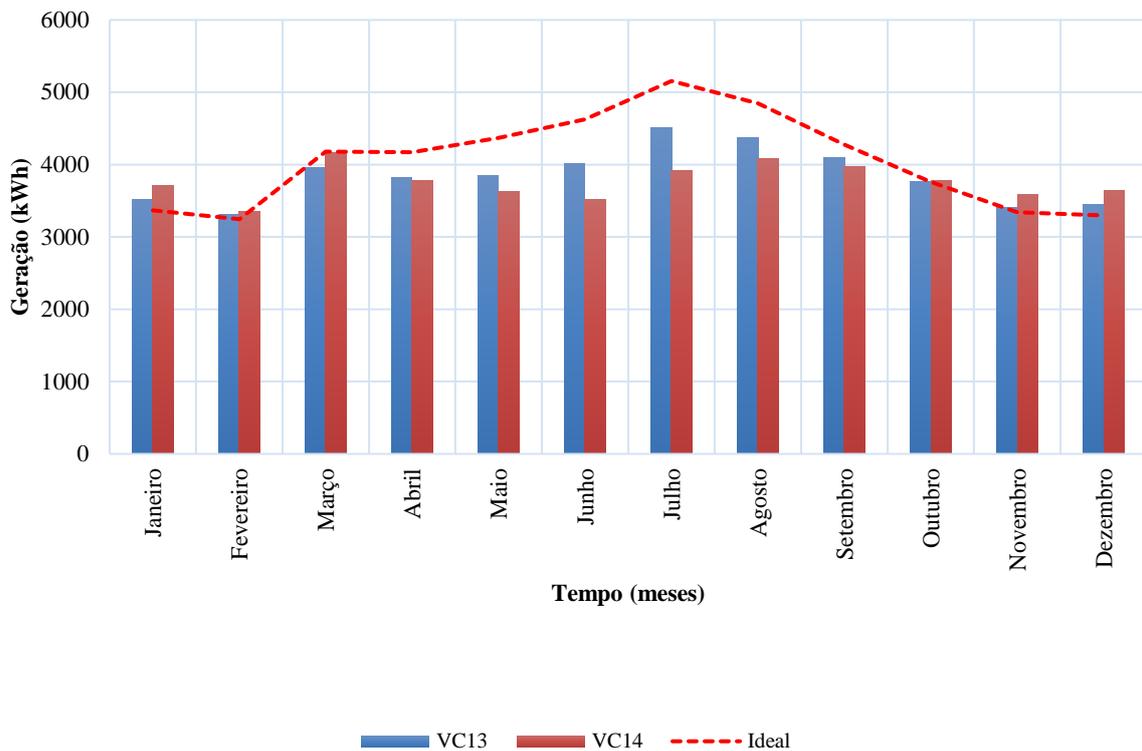


Figura 8 – Produção x Ideal do cei.

Quando considerada a soma de todos os sistemas e comparado a produção ideal tem-se uma perda de 7,48% de geração de energia. Na Figura 9 pode-se perceber a diferença do sistema ideal, o sistema simulado e o consumo ao longo do ano.

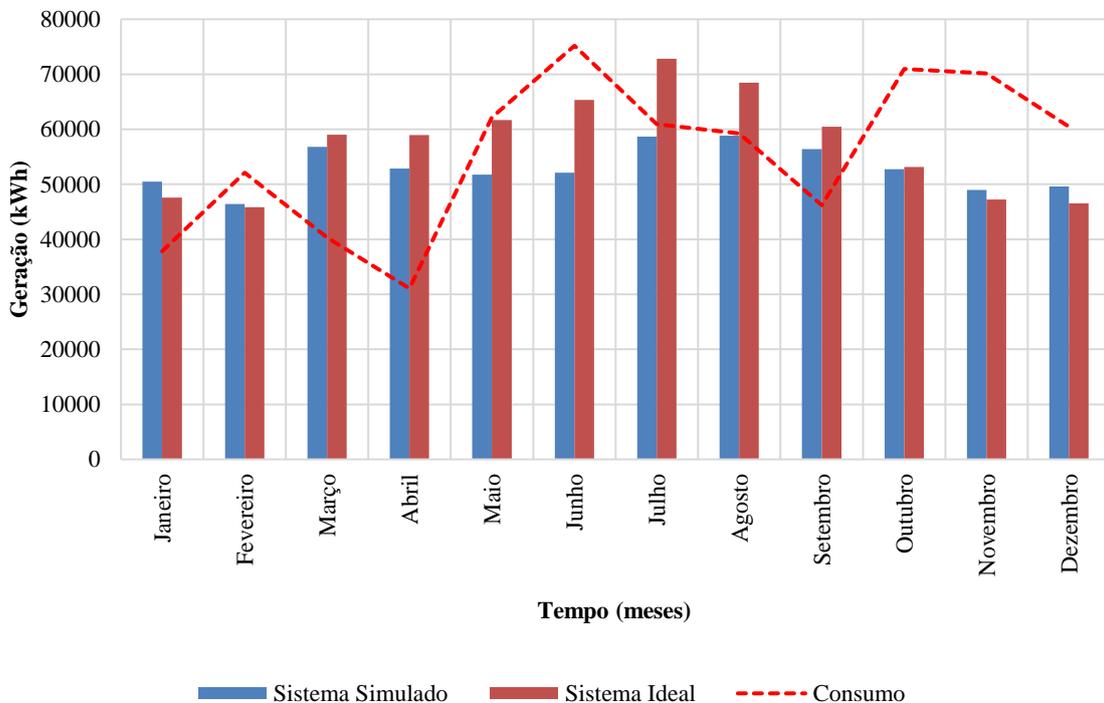


Figura 9 – Sistema simulado e ideal x Consumo

5.2. Análise Financeira

Os dados de geração e de consumo foram considerados de acordo com a seção anterior, a demanda não foi alterada com a contratação do sistema e o valor dos impostos não foram considerados. Os dados considerados para análise foram: 25 anos de vida útil, 10,4% de aumento do valor da tarifa (de acordo com a

ANEEL na categoria de serviço público), perda de 1% da geração FV ao ano, 1% do valor do sistema acrescentando como despesas para manutenção e 30% do valor do sistema a cada 10 anos para troca dos inversores. Por ser uma universidade que funciona em tempo integral, o consumo acontece nos três períodos, mas a produção somente no diurno, por isso foi calculado o crédito do sistema de forma que fosse levado em conta o preço do horário de pico.

O preço adotado para o sistema foi de R\$4,19/Wp, resultando em um investimento inicial de R\$1.515.104,00; a taxa mínima de atratividade (TMA) estimada de acordo com a SELIC é de 6% e o Valor Presente Líquido (VPL), que tem como finalidade determinar o valor com todos os descontos no momento inicial do investimento, foi de R\$4.789.384,11 Outro indicador de viabilidade econômica é a Taxa Interna de Retorno (TIR), uma medida que demonstra o quanto rende um investimento em um determinado período de tempo, para um empreendimento ser rentável o TIR deve ser igual ou maior que a TMA e, neste caso, o TIR foi de 21%. O período de retorno do investimento com todos os valores descontados foi de 7,75 anos. E o custo nivelado de energia (LCOE) foi de R\$0,39.

6. CONCLUSÕES

A pesquisa demonstra a viabilidade financeira da implantação de um sistema fotovoltaico em instituições de ensino. Dessa forma, o objetivo de dimensionar e fazer a integração de um sistema FV viável em um edifício foi alcançado, mesmo o sistema não estando posicionado na orientação ideal as perdas foram relativamente baixas. Com essas análises, foi possível avaliar quais são as características ao incorporar geradores fotovoltaicos para construir e quantificar quanta energia seria desperdiçada ao selecionar uma orientação específica e inclinação diferente da ideal, e avaliar se essas perdas são significativas. Percebe-se também que além dos pontos positivos das questões ambientais de se usar uma energia renovável, o sistema é viável financeiramente e funciona como investimento, com taxas muito maiores que as vigentes no mercado.

A concessionária de energia e o mercado já está adequado as demandas para as instalações nos casos privados como casas e empresas. Sabe-se por exemplo do apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), oferecendo empréstimos a juros baixos para projetos de energia solar fotovoltaica (LACCHINI; RÜTHER, 2015). No entanto o artigo levanta a questão do uso da energia solar na rede pública de ensino superior, tal tipo de investimento não só colabora com pesquisas como gera uma economia ativa para as instituições. Nesse contexto o trabalho demonstra que existe a viabilidade, deveria ser explorada e seria interessante uma política pública voltada aos edifícios públicos no Brasil para instalação de energia renovável distribuída.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKOREDE, M. F.; HIZAM, H.; POURSMAIL, E. Distributed energy resources and benefits to the environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 2, p. 724–734, 2010.
- AQUILA, G. et al. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, n. October 2015, p. 1090–1098, 2017.
- BARROSO, L. RUDNICK, H. SENSFUSS, F. LINARES, P. The green effect **IEEE Power Energy Mag**, (5) 22-35. 2010.
- CHOI, G. et al. Prices versus quantities: Comparing economic efficiency of feed-in tariff and renewable portfolio standard in promoting renewable electricity generation. **Energy Policy**, v. 113, n. November 2017, p. 239–248, 2018.
- DÁVI, G. A. et al. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 120, p. 19–29, 2016.
- DIAS, C. L. DE A. et al. Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil. **Renewable Energy**, v. 114, n. PB, p. 367–375, 2017.
- HOLDERMANN, C.; KISSEL, J.; BEIGEL, J. Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. **Energy Policy**, v. 67, p. 612–617, 2014.
- LACCHINI, C.; RÜTHER, R. The influence of government strategies on the financial return of capital invested in PV systems located in different climatic zones in Brazil. **Renewable Energy**, v. 83, p. 786–798, 2015.
- ORDENES, M. et al. The impact of building-integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 6, p. 629–642, 2007.
- PINTO, J.T.M. AMARAL, K. J. JANISSEK, P. R. Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing **Solar Energy** (133), 73-84, 2016.
- RÜTHER, R. Instalações solares fotovoltaicas integradas a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública. Florianópolis, 2000.
- RÜTHER, R. KNOB, P.J. JARDIM, C.S. REBECHI S.H. Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting daytime peaking feeders in urban areas in Brazil. **Energy Convers. Manage.** (49) 1074-1079. 2008.
- 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.

- VILAÇA GOMES, P. et al. Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. **Energy Policy**, v. 115, n. January, p. 199–206, 2018.
- VALE, A. M. et al. Analysis of the economic viability of a photovoltaic generation project applied to the Brazilian housing program “Minha Casa Minha Vida”. *Energy Policy*, v. 108, n. September 2016, p. 292–298, 2017.
- ZOMER, C.; RÜTHER, R. Simplified method for shading-loss analysis in BIPV systems – part 1: Theoretical study. **Energy and Buildings**, v. 141, p. 69–82, 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de mestrado e doutorado. À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Universidade Federal de Santa Maria (UFMS) e a Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).