

DIMENSIONAMENTO E VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES

**KAROLINE YASMIM RAMOS RODRIGUES¹, RÍLARY OLIVEIRA DE ABREU²,
RAFAEL CRUZ BORGES³, NOELLEN CAROLINE CAVALCANTI DE ARAUJO⁴**

¹Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFMT/Rondonópolis – MT, karolineyasmim12@hotmail.com

²Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFMT/Rondonópolis – MT, rilary1@live.com

³Engenheiro Eletricista, Prof. Doutor, UFMT/Rondonópolis – MT, (66) 3410-4063, rcborges@ufmt.br

⁴Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFMT/Rondonópolis – MT, noellenaraujo@gmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: No cenário brasileiro, a principal fonte de energia são as hidrelétricas, embora a energia solar venha ganhando espaço devido às condições favoráveis de radiação solar durante o ano e a diminuição dos custos dos equipamentos. Deste modo, o objetivo desse trabalho é fazer o dimensionamento dos equipamentos e analisar a viabilidade econômica para implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, para suprir todo consumo de energia elétrica, comparando a viabilidade dos inversores com potências de 15, 20 e 27 kW. O estudo foi realizado na UFMT Câmpus Rondonópolis – MT. Na análise da viabilidade do projeto, foram utilizados os métodos Payback Descontado, Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno. Os resultados revelaram que o projeto é viável e, para o melhor caso (utilizando o inversor de 27 kW), a recuperação do investimento ocorre em 10 anos e 2 meses. Além de reduzir custos, a energia produzida gerará benefícios ao meio ambiente, pois é de uma fonte limpa e sustentável e ao mesmo tempo melhorando a eficiência do uso da energia na universidade.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência no uso da energia, energia solar, viabilidade econômica.

DIMENSIONING AND ECONOMIC VIABILITY OF SOLAR PANEL IMPLANTATION

ABSTRACT: In the Brazilians scenario, the major source of energy are the hydroelectric, even with the solar energy gaining room due to favorable conditions of solar radiation during the year and the equipment's costs. So, the objective of this paper is to make the dimensioning of the equipment and to analyze the economic viability for the implantation of a photovoltaic system connected to the grid, in order to supply all the electric energy consumption, comparing the viability of the inverter with 15, 20 and 27 kW powers. The study was made at UFMT campus in Rondonópolis – MT. In the analysis Discounted Payback, Net Present Value and Internal Rate of Return methods were used. The results revealed that the project is practicable and, for the best case (using the 27 kW inverter), the investment recovery happens in 10 years and 2 months. Besides to reduce costs, the energy produced will provide benefits to environment, because it is from a clean and sustainable source and, at the same time, will increase the efficiency of its use in the university.

KEYWORDS: Efficiency in energy use, solar energy, economic viability.

INTRODUÇÃO

A produção de energia elétrica é importante para o desenvolvimento mundial, fazendo necessária a produção em larga escala para atender toda a população. Para suprir esse crescimento na demanda de energia há diversas possibilidades para diversificar a matriz energética do país, entre elas, a utilização de energia renovável derivada de sistemas fotovoltaicos (RAMPINELLI et al., 2014). No Brasil, tais sistemas já são uma realidade e incentivados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL através das normativas nº 482 e nº 687 que permitem a compensação da energia produzida pelos painéis solares por créditos em kWh na fatura de energia (ANEEL 2012; ANEEL, 2015).

Além do incentivo dado pela agência, o sistema possui grande potencial e ainda pode ser muito explorado e aproveitado, uma vez que a localização geográfica do Brasil e a diversidade climática potencializam e tornam mais competitivas tais alternativas de geração para a matriz elétrica nacional (ALVES; LIRA, 2015).

Assim, o objetivo desse trabalho é fazer o dimensionamento dos equipamentos necessários para a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCCR), com aproximadamente 1,4 MW_p de potência instalada, a fim de suprir o consumo atual da universidade e, ainda analisar a viabilidade econômica do projeto, utilizando inversores com três potências diferentes.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Rondonópolis, a 16°27'54" S de latitude, 54°34'46" O de longitude. O Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL, 2014) foi utilizado como base para todos os cálculos de dimensionamento do sistema, constituindo nos seguintes passos:

Passo 1: Levantamento das faturas de energia elétrica – foi considerado o histórico de faturas da universidade, totalizando uma análise de 20 meses de consumo e, seus dados podem ser observados em (BORGES et al., 2018); **Passo 2:** Levantamento das informações geográficas e do potencial solar do local – utilizando os dados obtidos através do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), em que a média anual de incidência solar foi 5,37 kWh/m².dia e o ângulo de inclinação dos painéis de 17°, para a maior média diária anual de irradiação solar, proporcionando condições ótimas de desempenho para o projeto solar dos sistemas conectados à rede; **Passo 3:** Projeto do gerador fotovoltaico e inversores – para dimensionar a potência de pico do painel, foi utilizada a Equação (1) (CEPEL, 2014):

$$P_{FV} = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (1)$$

em que,

P_{FV} é a potência de pico do painel solar em [W_p];

E o consumo diário médio anual da universidade em [Wh/dia];

HSP_{MA} a média diária anual das horas de sol pleno no local em [h]; e

TD a taxa de desempenho do sistema.

A TD considerada no projeto foi de 75%, baseando no princípio de que este valor simboliza todas as perdas envolvidas sob condições de operação numa relação entre o desempenho real sobre o desempenho máximo teórico possível de um sistema fotovoltaico (ALVES; LIRA, 2015). Em seguida foram selecionados inversores e calculou-se a quantidade de módulos conforme a potência nominal e especificações técnicas dos inversores escolhidos

(15 kW, 20 kW e 27 kW). Por fim, foi calculada a tensão (Equação 2) e corrente (Equação 3) para condições extremas de temperatura, fornecidas pelo painel, e o arranjo fotovoltaico, com o número de módulos em série e paralelo, através das Equações 4 e 5.

$$V_{OC}(T) = V_{OC_{stc}} \cdot (1 + \beta \cdot (T - 25)) \quad (2)$$

em que,

V_{OC} é a tensão de circuito aberto em determinada temperatura em [V];

$V_{OC_{stc}}$ é a tensão de circuito aberto nas condições padrão de ensaio em [V];

β é o coeficiente de variação da tensão de circuito aberto com a temperatura; e

T é a máxima ou mínima temperatura do módulo em [°C].

$$I_{SC}(T) = I_{SC_{stc}} \cdot (1 + \alpha \cdot (T - 25)) \quad (3)$$

em que

I_{SC} é a corrente de curto circuito em determinada temperatura em [A];

$I_{SC_{stc}}$ é a corrente de curto circuito nas condições padrão de ensaio em [A];

α é o coeficiente de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura, e

T é a máxima ou mínima temperatura do módulo [°C].

$$\frac{V_{i_{MPPTmin}}}{V_{i_{mpTmax}}} < N^{\circ} \text{ módulos em série} < \frac{V_{i_{MPPTmax}}}{V_{i_{mpTmin}}} \quad (4)$$

em que,

$V_{i_{MPPTmin}}$ é a mínima tensão CC de operação do MPPT (Maximum Power Point Tracker) do inversor em [V];

$V_{i_{MPPTmax}}$ é a máxima tensão CC de operação do MPPT do inversor em [V];

$V_{i_{mpTmax}}$ é a tensão de potência máxima (V_{mp}) do módulo FV na maior temperatura de operação prevista em [V]; e

$V_{i_{mpTmin}}$ é a tensão de potência máxima (V_{mp}) do módulo FV na menor temperatura de operação prevista em [V].

$$N^{\circ} \text{ módulos em paralelo} = \frac{I_{i_{max}}}{I_{SC}} \quad (5)$$

em que,

$I_{i_{max}}$ é a corrente máxima CC admitida na entrada do inversor em [A]; e

I_{SC} é a corrente de curto circuito do módulo FV nas condições padrão de ensaio em [A].

Passo 4: Análise de resultados e conclusões – foi realizada uma análise de viabilidade econômica baseada nos passos anteriores através da previsão de geração de energia anual do gerador fotovoltaico projetado e do levantamento dos custos dos painéis solares e inversores em empresas revendedoras no Brasil e, estimando os demais custos baseados em referências bibliográficas. Para o cálculo do período de retorno do investimento foram utilizados os métodos de análise de investimento Payback Descontado (PD), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), por meio das Equações 6, 7 e 8 (SANTOS, 2016), respectivamente. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) não foi adotada para a determinação do VPL neste estudo, pois se trata de uma instituição pública sem fins lucrativos, embora, considerou-se uma taxa de 5% ao ano referente a inflação da energia elétrica e, foi considerada uma vida útil do sistema de 25 (vinte e cinco) anos.

$$PD = \text{mínimo } \{t\}, \text{ tal que } \sum_{t=1}^n \frac{I_0}{(1+i)^t} \geq -FC_0 \quad (6)$$

em que,

PD é o Payback Descontado em [anos];

FC_0 é o fluxo de caixa inicial em [R\$];

i é a taxa de juros ao ano;

I_0 é o Investimento inicial em [R\$]; e

t é o período de duração do projeto em [anos].

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (7)$$

em que,

VPL é o Valor Presente Líquido em [R\$]; e

FC é o fluxo de caixa ao ano em [R\$].

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - I_0 \quad (8)$$

em que,

TIR é a Taxa Interna de Retorno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média do consumo da universidade no período analisado foi de 5.609.800 Wh/dia e a potência de pico necessária do gerador fotovoltaico foi de 1.393.306 W_p . O painel solar de 365 W_p Monocristalino Canadian Solar – CS3U-365MS foi escolhido por possuir eficiência de 18,4%. Em seguida, determinou-se a quantidade necessária para suprir todo o consumo, conforme a potência de cada inversor Fronius Symo, de forma a satisfazer todas as características técnicas contidas no manual de cada equipamento, obtendo-se então, as informações contidas na Tabela 1.

TABELA 1. Arranjos fotovoltaicos

Inversor	Arranjos Fotovoltaicos			Potência Total (W_p)	
	Quant. Total	Série	Paralelo		Quant. Placas
15 kW	99	20	2	3960	1.412.123
20 kW	70	14	4	3920	1.397.859
27 kW	55	18	4	3960	1.412.123

É possível observar que não houve diferença entre a potência nominal de pico do arranjo proporcionado pelos inversores de 15 e 27 kW, devido ao fato de terem a mesma quantidade de painéis, de modo a satisfazer as limitações técnicas dos equipamentos. No entanto, todos os arranjos possuem potência nominal superior ao requisitado pelo sistema. Para calcular o custo de implantação de cada sistema, foi utilizado como base a referência (DASSI et al., 2015) e estimando a inflação de 25% do período para definir os seguintes custos: 7% de custo com o projeto, 15% da mão de obra, 13% da estrutura e 3% de materiais elétricos (como: cabos,

conectores e disjuntores). As receitas com a energia produzida no primeiro ano de implantação pelos painéis considerando a tarifa de energia elétrica praticada pela concessionária local de 0,424 R\$/kWh (tarifa com impostos) e o custo do projeto são mostrados na Tabela 2. Os resultados mostram que o maior e menor custo é para o arranjo determinado pelo inversor de 20 kW e 27 kW, respectivamente.

TABELA 2. Produção de energia do SFCR implantado

	Equipamentos (R\$) (Placas e Inversores)	Custo Projeto (R\$)	Produção Inicial (kWh)	Total Energia Produzida (R\$)
Inversor 15 kW	5.036.793,30	6.950.774,75	2.075.556,17	880.035,82
Inversor 20 kW	5.077.380,00	7.006.784,40	2.054.590,96	871.146,57
Inversor 27 kW	4.633.546,50	6.394.294,17	2.075.556,17	880.035,82

Na Tabela 3 é apresentada a análise de viabilidade dos três inversores analisados. É possível observar que o melhor retorno do investimento foi alcançado utilizando o inversor de 27 kW com a TIR de 11,76%. A Figura 1 mostra o Payback Descontado através do fluxo de caixa acumulado para os três inversores.

TABELA 3. Análise de Viabilidade

Inversor	15 kW	20 kW	27 kW
Payback Descontado	11 anos e 5 meses	11 anos e 9 meses	10 anos e 2 meses
VPL	R\$4.066.950,40	R\$3.890.755,95	R\$4.662.646,02
TIR	10,52%	10,25%	11,76%

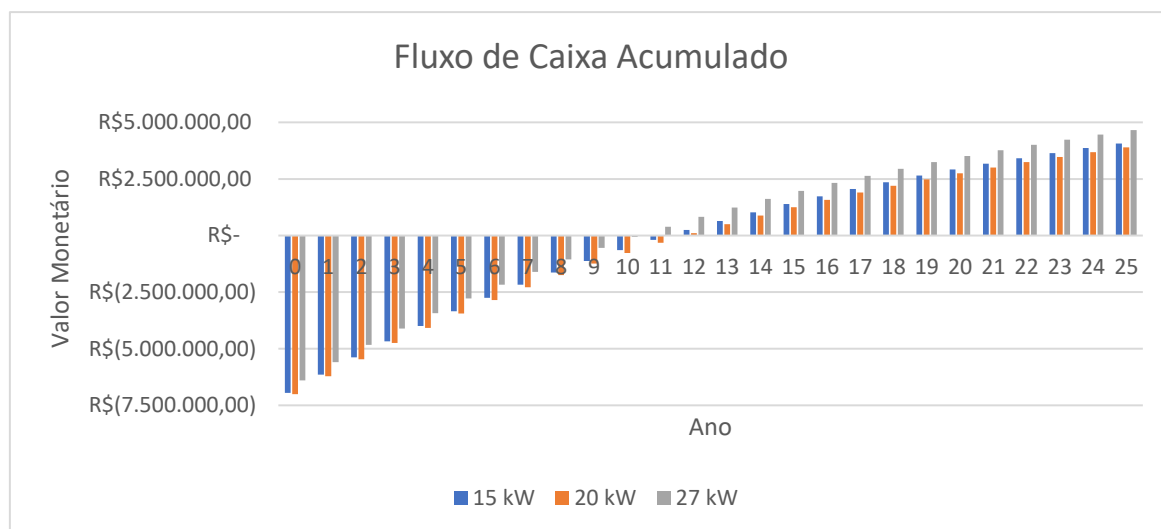


FIGURA 1. Fluxo de caixa acumulado

A recuperação do investimento proposto para o inversor de 27 kW de R\$ 6.394.294,17 (seis milhões, trezentos e noventa e quatro mil, duzentos e noventa e quatro reais e dezessete centavos) acontece no período de 10 anos e 2 meses. Verifica-se ainda que o VPL ao final do vigésimo quinto ano será de R\$4.662.646,02 (quatro milhões, seiscentos e sessenta e dois mil, seiscentos e quarenta e seis reais e dois centavos). Além disso, a economia acumulada durante os 10 anos e 2 meses (soma dos fluxos de caixas, quando a TIR se torna positiva) é de R\$

8.170.495,51 (oito milhões, cento e setenta mil, quatrocentos e noventa e cinco reais e cinquenta e um centavos), ou seja, saldo positivo de R\$ 1.776.197,34 (um milhão, setecentos e setenta e seis mil, cento e noventa e sete reais e trinta e quatro centavos).

Na Tabela 4, são apresentados os dados da análise realizada com a utilização do inversor de 27 kW, o melhor caso encontrado dentre os três analisados. A tabela contém informações da energia produzida em kWh; da receita de energia produzida anualmente, considerando a depreciação dos painéis igual a 0,8% ao ano; fluxo de caixa anual, que adota como variável o custo de manutenção de 0,5% (SILVA, 2017); e os valores presentes do fluxo de caixa anual, em que se considera a inflação de 5% ao ano.

TABELA 4. Dados anuais de receita, energia produzida e fluxo de caixa do SFCR com inversor de 27 kW

Ano	Energia Produzida (kWh)	Receita de Energia Produzida	Fluxo de Caixa	Valor Presente do Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado
0		0	-R\$6.394.294,17	-R\$6.394.294,17	-R\$6.394.294,17
1	2.075.556,17	R\$880.035,82	R\$848.064,34	R\$807.680,33	-R\$5.586.613,84
2	2.058.951,72	R\$872.995,53	R\$841.024,06	R\$762.833,61	-R\$4.823.780,23
3	2.042.480,11	R\$866.011,57	R\$834.040,09	R\$720.475,19	-R\$4.103.305,04
4	2.026.140,27	R\$859.083,47	R\$827.112,00	R\$680.467,09	-R\$3.422.837,95
5	2.009.931,14	R\$852.210,80	R\$820.239,33	R\$642.678,98	-R\$2.780.158,96
6	1.993.851,69	R\$845.393,12	R\$813.421,65	R\$606.987,76	-R\$2.173.171,21
7	1.977.900,88	R\$838.629,97	R\$806.658,50	R\$573.277,14	-R\$1.599.894,07
8	1.962.077,67	R\$831.920,93	R\$799.949,46	R\$541.437,28	-R\$1.058.456,79
9	1.946.381,05	R\$825.265,57	R\$793.294,10	R\$511.364,45	-R\$547.092,34
10	1.930.810,00	R\$818.663,44	R\$786.691,97	R\$482.960,63	-R\$64.131,71
11	1.915.363,52	R\$812.114,13	R\$780.142,66	R\$456.133,26	R\$392.001,55
12	1.900.040,62	R\$805.617,22	R\$773.645,75	R\$430.794,90	R\$822.796,45
13	1.884.840,29	R\$799.172,28	R\$767.200,81	R\$406.862,97	R\$1.229.659,42
14	1.869.761,57	R\$792.778,90	R\$760.807,43	R\$384.259,45	R\$1.613.918,87
15	1.854.803,48	R\$786.436,67	R\$754.465,20	R\$362.910,66	R\$1.976.829,54
16	1.839.965,05	R\$780.145,18	R\$748.173,71	R\$342.747,00	R\$2.319.576,53
17	1.825.245,33	R\$773.904,02	R\$741.932,55	R\$323.702,71	R\$2.643.279,24
18	1.810.643,36	R\$767.712,79	R\$735.741,32	R\$305.715,71	R\$2.948.994,96
19	1.796.158,22	R\$761.571,08	R\$729.599,61	R\$288.727,34	R\$3.237.722,30
20	1.781.788,95	R\$755.478,52	R\$723.507,04	R\$272.682,20	R\$3.510.404,50
21	1.767.534,64	R\$749.434,69	R\$717.463,22	R\$257.527,94	R\$3.767.932,44
22	1.753.394,36	R\$743.439,21	R\$711.467,74	R\$243.215,15	R\$4.011.147,60
23	1.739.367,21	R\$737.491,70	R\$705.520,23	R\$229.697,14	R\$4.240.844,74
24	1.725.452,27	R\$731.591,76	R\$699.620,29	R\$216.929,80	R\$4.457.774,54
25	1.711.648,65	R\$725.739,03	R\$693.767,56	R\$204.871,48	R\$4.662.646,02

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que o projeto é viável para o período analisado, proporcionando para o melhor caso (inversor de 27 kW), a recuperação do investimento no período de 10 anos e 2 meses, permitindo uma geração de riqueza de R\$ R\$4.662.646,02 (quatro milhões, seiscentos e sessenta e dois mil, seiscentos e quarenta e seis reais e dois centavos), remunerando o investimento na ordem de 11,76%. Já para os inversores de 15 e 20 kW o retorno do investimento ocorre em 11 anos e 5 meses e 11 anos e 9 meses, obtendo a TIR de 10,52% e 10,25%, respectivamente.

O projeto de energia fotovoltaica é uma fonte limpa, sustentável e sem emissão de resíduos, sendo uma alternativa para redução de custos e diversificação da matriz energética. Esta análise pode ser aplicada em propriedades rurais, unidades armazenadoras de grãos e unidades de beneficiamento de sementes, para torná-las mais eficientes do ponto de vista energético e sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. R. S; LIRA, M. A. T. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de energia solar fotovoltaica em unidade consumidora no aeroporto de Teresina no Estado do Piauí.** VII Congresso Brasileiro de Energia solar, 2018.
- ANEEL. **Resolução Normativa N° 482**, de 17 de abril de 2012.
- ANEEL. **Resolução Normativa N° 687**, de 24 de novembro de 2015.
- BORGES, R. C.; SILVA, L. T.; SOHN, A, P. **Análise da estrutura tarifária de energia elétrica da UFMT Câmpus Rondonópolis.** XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2018.
- CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** 2014. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. Edição Revisada e Atualizada. Rio de Janeiro, Mar. de 2014.
- DASSI et al. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil.** XXII Congresso Brasileiro de Custos, 2015.
- RAMPINELLI, G. A et al. **Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos: 20 telhados Solares em Porto Alegre.** Revista Brasileira de Energia Solar, v.5, n.2, 2014.
- SANTOS, M. A. **Dimensionamento e retorno de investimento de geração de energia solar residencial: um estudo de caso no município de Lagoa Santa – MG.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.
- SILVA, J.; FERREIRA, A. H. R; JÚNIOR, J. C. Z. **Estudo de viabilidade econômica de microgeração de energia solar integrada à rede na UFT campus Gurupi-TO.** Revista Cereus, v. 9, n. 1, p. 88-105, 2017.