



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2022) v. 9, n. 1, pp. 40–48
<https://doi.org/10.21712/lajer.2022.v9.n1.p40-48>

Avaliação técnica e econômica de sistema fotovoltaico conectado à rede, para aviário de frango de corte

Technical and economic evaluation of photovoltaic system connected to the network, for broiler poultry houses

Natã Della Justina¹, Jair Antonio Cruz Siqueira², Luciene Kazue Tokura^{3,*}, Bruna de Villa³, Vander Fabio Silveira³, Willian Isao Tokura⁴, Hamom Ventura Rodrigues³

¹ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, campus de Cascavel, PR, Brasil

² Professor do Programa de Graduação em Engenharia Civil e Agrícola e Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, campus Cascavel, PR, Brasil

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, campus Cascavel, PR, Brasil

⁴ Professor do Programa de Graduação em Matemática, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Acre – UFAC, Rio Branco, AC, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: lucienetokura@gmail.com

Received: 25 February 2022 | Accepted: 14 April 2022 | Published online: 31 August 2022

Resumo: Com o mercado de frango em expansão, as empresas passaram a se preocupar com o aumento da eficiência do processo produtivo, dando espaço para a automação de aviários, para atender a demanda de mercado. Por outro lado, os sistemas de conforto automatizados utilizados na avicultura possuem grande demanda de energia elétrica, gerando um dos maiores custos da produção avícola brasileira. Diante do exposto, a utilização de sistemas renováveis de energia pode ser de grande importância para o setor avícola. Desta forma, foi objetivo do trabalho dimensionar e avaliar economicamente um sistema fotovoltaico ligado à rede para atender a demanda exigida pelos aviários de frango de corte, da cidade de Santa Izabel do Oeste - PR. Posteriormente ao dimensionamento do sistema, foi realizado o estudo da viabilidade econômica do mesmo, por meio dos valores disponibilizados pelas empresas do ramo, utilizando a técnica de *payback* para o estudo e avaliação da viabilidade econômica do sistema. Pelo dimensionamento da metodologia empregada obteve-se um sistema composto com 342 módulos de 270 Wp, policristalinos, com 3 inversores de 30 kWp. A viabilidade econômica mostrou um tempo de retorno de 4 anos, com uma TIR de 30,02%. Os resultados permitiram concluir que há uma boa viabilidade técnica e econômica para instalação do sistema

Palavras chave: energização rural, energia fotovoltaica, sustentabilidade, aviário de frango de corte, *payback*.

Abstract: With the poultry market expanding, companies started to worry about increasing the efficiency of the production process, giving space to the automation of poultry houses, to meet the market demand. On the other hand, the automated comfort systems used in poultry houses have great demand for electricity, generating one of the highest costs of Brazilian poultry production. Given the above, the use of renewable energy systems can be of great importance for the poultry sector. Thus, the objective of the work was to dimension and economically evaluate a photovoltaic system connected to the network to meet the demand demanded by broiler poultry houses, in the city of Santa Izabel do Oeste, state of Paraná. Subsequent to the dimensioning of the system, the study of its economic viability was carried out, using the values made available by companies in the industry, using the Payback technique for the study and evaluation of the economic viability of the system. The dimensioning of the methodology employed resulted in a system composed of 342 modules of 270 Wp, polycrystalline, with 3 inverters of 30 kWp. Economic viability showed a Payback time of 4 years, with an IRR of 30.02%. The results allowed us to conclude that there is a good technical and economic feasibility for installing the system.

Keywords: rural energization, photovoltaics, sustainability, broiler poultry houses, payback.

1. Introdução

A cadeia produtiva de frango de corte brasileira é uma das mais importantes do mundo. A oferta de frango nacional tem acompanhado o crescimento da demanda interna e externa decorrente do aumento populacional mundial e suas alterações nos hábitos alimentares. Com tendência à expansão, o Brasil, segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2016), é o 2º maior produtor de frango do mundo, produzindo 13,146 milhões de toneladas em 2015, tendo o Estado do Paraná, como o maior produtor (Paraná, 2015).

Além disso, o impulsionamento do setor avícola brasileiro para atendimento do mercado importador (ABPA, 2016) fortalece a busca por métodos que auxiliem no aprimoramento da produtividade que cresce em paralelo com as demandas (Bona, 2010).

Com o mercado de frango em expansão, o produtor de frango acaba expandido sua produção para atender a demanda do mercado, e com tecnologias importadas de climas temperados, a avicultura nacional convive com adaptações, sem considerar a crescente preocupação com o uso racional de energia em relação ao meio ambiente Bona (2010). E como esta atividade é totalmente dependente de energia elétrica, uma vez que requer uma grande demanda para a produção das aves, a energia acaba sendo um fator limitante, fazendo com que o setor avícola busque alternativas para aumentar a eficiência energética.

Nos últimos anos, os recursos naturais e renováveis têm sido o foco de inúmeras pesquisas, impulsionadas pelo aumento das preocupações com o meio ambiente, muito por causa de problemas ecológicos e do aquecimento global, gerados pela utilização de combustíveis fósseis. O aproveitamento correto das fontes renováveis é uma excelente alternativa para substituir as energias provenientes de combustíveis fósseis e evitar os danos que as mesmas causam ao planeta (Abreu e Abreu, 2012). Possibilitando a abertura de espaço para novos segmentos em geração de energia elétrica limpa e autossustentável para o meio agrícola.

Segundo o site do Estudio Equinócio, a energia elétrica passou de terceiro para primeiro na escala de custos para a criação de frangos de cortes, abandonando até mesmo a mão de obra e aquecimento do galpão. Em termos energéticos, o maior desperdício de energia concentra-se nas atividades relacionadas a controle de temperatura, como aquecimento, umidificação e ventilação, ou mesmo nos sistemas de iluminação (Abreu e Abreu, 2012). Esses estudos mostram o quão importante é a procura por meios alternativos de fontes de energia, fazendo com que, reduza custos operacionais que acabe maximizando os lucros, dando a possibilidade ao produtor para fazer investimentos em outros setores, e assim impulsionar o mercado agrícola nacional.

A energia fornecida pelo sol, inesgotável fonte de luz e calor, é considerada uma das mais promissoras alternativas energéticas. A energia fotovoltaica, utilizada quando comparada com a produção total de energia ainda é pouco utilizada, embora tenha-se difundido e crescido nos últimos anos (Proença, 2007). Além disso, o Brasil possui condições climáticas favoráveis e elevados níveis de irradiação solar, praticamente o ano todo, sendo fatores fundamentais para geração de energia elétrica fotovoltaica (Niedzialkoski, 2013).

Dessa forma, foi objetivo do trabalho avaliar a viabilidade técnica econômica de um sistema fotovoltaico para suprir a demanda de energia elétrica, consumida pelos equipamentos e sistema de iluminação dos galpões de confinamento de frango, na cidade de Santa Izabel do Oeste.

2. Metodologia

2.1 Localização do experimento

O presente trabalho foi desenvolvido em uma propriedade conjunta (Figura 1), localizada na comunidade de Jacutinga, no município de Santa Izabel do Oeste – PR. Situada na latitude 25°44'7,50" S, longitude 53°28'10,70" O, e altitude de 402 m. Por meio do Programa Sundata, com dados de Pinho e Galdino (2014), a irradiação solar média anual em plano inclinado no valor da latitude local foi de 5,00 kWh/m²*dia.



Figura 1. Localização da propriedade. Fonte: Google Earth (2017).

A propriedade possuía 51 ha, com parte da sua área dedicadas a preservação e reflorestamento ambiental, e o restante para a produção de frango de corte. A produção da propriedade foi realizada em quatro conjuntos, denominados núcleos, com quatro galpões por núcleo (Figura 2), onde cada núcleo foi administrado por um produtor diferente.



Figura 2. Núcleo 4, composto por quatro aviários do tipo *dark house* com dimensões iguais de 16 x 150 m. Fonte: Google Earth (2017).

2.2 Características técnicas do núcleo do experimento

Para a realização do experimento, foi selecionado o núcleo 4 (Figura 2), onde o mesmo é administrado pelo produtor 1. O núcleo tem como características principais, a presença de quatro aviários do tipo *dark house* com dimensões iguais de 16 x 150 m totalizando 2.400 m² de área apropriadas para o confinamento de aves de corte. Ambos os aviários alojam 20 aves por m², totalizando 48.000 aves de sexo misto das raças COBB MX e EROS TRM 4.

O núcleo ainda conta com a residência do caseiro da propriedade, sala de desinfecção para funcionários e visitantes, vestiário e escritório.

2.3 Aspectos do consumo de energia elétrica na propriedade

Dentre os aspectos de consumo na propriedade, levou-se em consideração que a propriedade foi composta por 4 galpões, sendo, uma casa, um escritório, um vestiário, um sistema de desinfecção de veículos e pessoas que demandam da energia elétrica fornecida pela concessionária.

Nos aviários além do sistema de iluminação, composto por lâmpadas de led, existiam equipamentos que consumiam energia elétrica, como motores do sistema de ventilação, do sistema de bombeamento

d'água e do sistema de alimentação de ração. Bem como, o sistema de nebulização e o painel evaporativo, juntamente com os exaustores demandavam energia para seu funcionamento.

2.4 Materiais utilizados no experimento

2.4.1 Módulo fotovoltaico

O módulo fotovoltaico selecionado para o experimento foi um Canadian CSI CS6K-270P (Figura 3) (Tabela 1), em policristalino, com uma potência de 270 Wp, e tensão de potência máxima de 30,8 V, a corrente de potência máxima foi de 8,75 A, com uma eficiência energética de 16,40% e uma produção média anual diária de 33,69 kW/mês por módulo, também apresentou excelente desempenho mesmo com baixa irradiação solar.

Segundo avaliação de eficiência energética feita pelo Inmetro (2016), este módulo fotovoltaico tem uma ótima eficiência comparado com outros módulos. Além disso, o fabricante oferece garantia de 25 anos para perdas de eficiência acima de 20%, e 10 anos contra defeitos de fabricação.



Figura 3. Painel Fotovoltaico Canadian CSI CS6K-270P.

Tabela 1. Características técnicas do painel fotovoltaico.

Módulo fotovoltaico Trina solar TSM-305PD14		
Características físicas	Comprimento (mm)	1650
	Largura (mm)	992
	Área (m ²)	1,64
	Peso (kg)	23
Tensão em circuito aberto (V)		37,90
Corrente de curto-circuito (A)		9,32
Ponto máx. potência	Tensão (V)	30,80
	Corrente (A)	8.75
Potência (W)		270
Temperatura		45
Produção média de energia (kWh/mês)		33,69
Eficiência energética		16,7
Classificação energética		A
Material: Silício policristalino		
Vida útil de 25 anos		

Fonte: Inmetro (2016). Adaptado pelo autor. Fonte: Neosolar (2017).

2.4.2 Inversor *on-grid* utilizado no experimento

O inversor foi o PHB25k-DT da PHB Eletrônica, trifásico, com potência nominal de 30,78 kWp, homologado pela concessionária local de energia elétrica Copel (2016). A escolha do mesmo ocorreu pela avaliação e comparação com as características individuais de cada modelo disposto e liberado pela Copel (2016), considerando principalmente a capacidade de potência de carga instalada.

2.5 Métodos

2.5.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema ligado à rede (*on-grid*), é importante ter entendimento do sistema de compensação que está em regulamento na região do estudo. No Brasil, esse sistema de compensação normalmente funciona quando o sistema fotovoltaico gera mais energia do que a instalação consumidora está demandando, o que é produzido a mais é entregue a rede elétrica e o medidor registra essa energia, assim gerando créditos com a concessionária que distribui a energia elétrica. Caso contrário, quando a edificação consumidora, está consumido mais do que o sistema fotovoltaico está gerando, o medidor registrará o fluxo no seu sentido convencional (Pinho e Galdino, 2014).

O dimensionamento foi realizado, conforme a metodologia apresentada por Pinho e Galdino (2014).

Para o dimensionamento do mesmo, o valor da radiação solar global média anual diário incidente sobre o painel fotovoltaico para o local do estudo, foi obtido por meio do sistema Sundata (Pinho e Galdino, 2014). Com este dado foi determinado o número de Horas de Sol Pleno (HESP).

A potência do micro gerador que compõe o sistema foi calculada pela Eq. (1), onde se pode escolher uma fração da demanda que se pretende suprir.

$$\text{PSFV} = \left(\frac{D}{\frac{TD}{\text{HESP}}} \right) \quad (1)$$

Em que: PSFV: Potência total do painel fotovoltaico (kWp); D: Demanda energética requerida pelo sistema (Wh/dia); TD: Taxa de desempenho do sistema; HESP: Média de horas equivalentes de sol no plano do painel (h/dia);

O cálculo do número de módulos fotovoltaicos instalados no sistema foi obtido pela Eq. (2).

$$\text{NMF} = \frac{\text{PSFV} * 1000}{\text{PNMF}} \quad (2)$$

Em que: NMF: Número de módulos fotovoltaicos; PSFV: Potência total do painel fotovoltaico (kWp); PNMF = Potência nominal do módulo fotovoltaico (Wp).

O fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) representa a relação entre a potência nominal do inversor e a potência de pico do gerador, como mostra a Eq. (3).

$$\text{FDI} = \frac{\text{PINV}}{\text{PTFV}} \quad (3)$$

Em que: FDI = Fator de dimensionamento do inversor (um); PTFV = Potência total do painel fotovoltaico (Wp); PINV = Potência nominal do inversor (W).

O número máximo de módulos em série também deve respeitar a tensão máxima suportável pelo módulo, a qual normalmente é informada pelo fabricante. O número máximo de módulos em série é dado pela Eq. (4).

$$\text{NMFS} * \text{TOC} < \text{TEMINV} \quad (4)$$

Em que: NMFS = Número de Módulos Fotovoltaicos em Série; TOC = Tensão de Circuito Aberto do Módulo Fotovoltaico (V); TEMINV = Tensão de Entrada Máxima do Inversor (V).

O inversor, possui uma corrente máxima de entrada. Para garantir que este valor não seja ultrapassado, pode-se calcular o número máximo de fileiras das séries fotovoltaicas conectadas em paralelo, conforme Eq. (5).

$$NFSP = \frac{IMEINV}{ICCMF} \quad (5)$$

Em que: NFSP = Número de fileiras de módulos fotovoltaicos em série conectados em paralelo; IMEINV = Corrente máxima de entrada do inversor (A); ICCMF = Corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico (A).

2.5.1 Método de avaliação econômica dos sistemas fotovoltaicos

Para avaliar o sistema fotovoltaico economicamente foi escolhido o método do *payback* Descontado (PBD), segundo Magalhães (2005), é dada pela Eq. (6).

$$BD = \text{mín } t \left[I + \sum_{j=1}^t \left(\frac{Lp}{(1+i)^j} \right) \right] > 0 \quad (6)$$

Em que: PBD = é o *payback* descontado, anos; t e j = tempo; Lp = é o lucro do período; i = taxa de juros anual; I = Investimento inicial.

Usar-se a dados de entradas para viabilidade econômica, como taxa de inflação, taxa mínima de atratividade composta pela taxa básica Selic em vigência pelo Banco Central do Brasil, acrescendo 20% para uma maior segurança do investimento. E ainda considerando o reajuste anual da taxa de energia elétrica disponibilizada.

3. Resultados e discussões

3.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Os dados de consumo mensal de energia elétrica do aviário e dos custos com energia elétrica, utilizados no dimensionamento do sistema fotovoltaico são apresentados na Tabela 2. Considerando-se uma taxa de desempenho de 72%, obteve-se uma potência total do sistema fotovoltaico no valor de 92,46 kWp.

Tabela 2. Consumo mensal de energia no período de um ano da propriedade.

Mês/Ano	Histórico de consumo	
	Consumo kWh	Valor (R\$)
Jun/18	8839	3.088,79
Mai/18	19721	6.255,51
Abr/18	1271	291,95
Mar/18	1681	176,45
Fev/18	19154	5.318,56
Jan/18	14596	4.904,31
Dez/17	9963	3.817,02
Nov/17	10414	4.080,37
Out/17	7544	2.785,31
Set/17	9717	3.546,72
Ago/17	7215	2.619,56
Jul/17	15129	5.252,01
Jun/17	5863	1.945,94

Com o devido resultado obtido, determina-se que para atender o sistema serão necessários 342 módulos policristalinos de 270 Wp. Para a determinação da quantidade de inversores para o sistema,

considerou-se a potência total do sistema, dividida pela potência do inversor escolhido, de forma a obter a quantidade de 3 inversores.

3.2 Arranjo dos módulos fotovoltaicos em relação aos inversores

Para facilitar o arranjo dos módulos fotovoltaicos (MF), em cada inversor apresentou 6 *strings* de 19 MF em paralelo (Figura 4), que produziram uma corrente total de 166,25 A. E como a tensão por módulo foi de 30,80 V, houve uma tensão total de 585,2 V. Para cumprir com o tamanho do sistema, foram necessários três arranjos de inversores, ligados a um medidor bidirecional (MB), dispostos em três galpões.

Os arranjos ocuparam em cada galpão uma área de 236,16 m². Como eram três galpões ocupados por arranjos obteve-se uma área total de geração de 708,48 m².

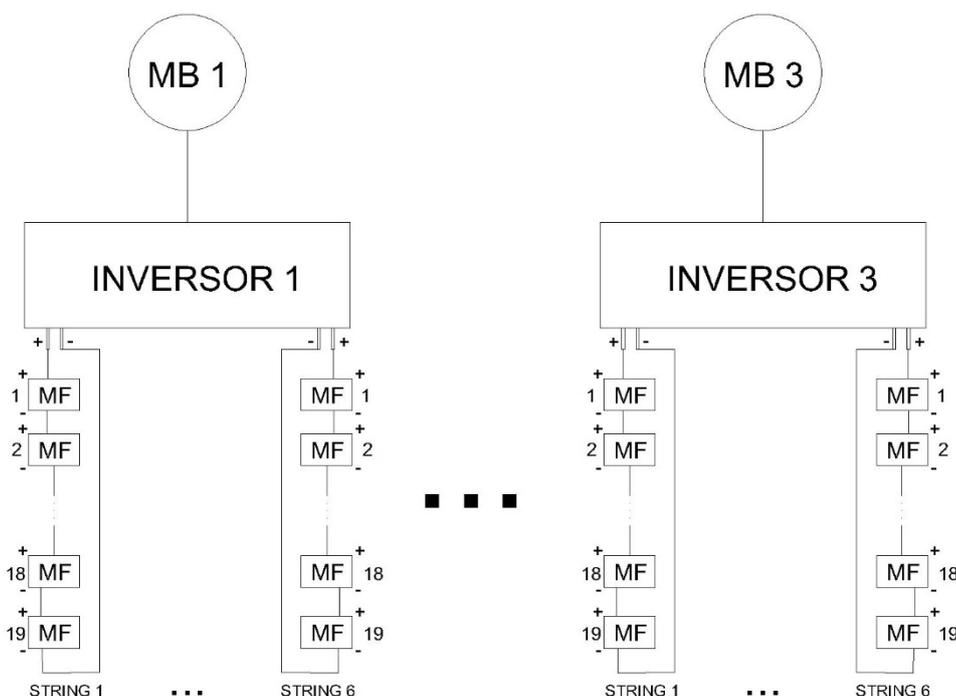


Figura 4. Arranjo do sistema fotovoltaico.

3.3 Avaliação de viabilidade econômica do sistema fotovoltaico

A análise do sistema foi realizada para um período de 25 anos, que é o tempo de vida útil dos módulos fotovoltaicos e o tempo máximo de garantia dos inversores.

A viabilidade econômica foi avaliada considerando uma taxa de inflação de 5% ao ano. A taxa de mínima de atratividade utilizada foi composta pela taxa básica Selic em vigência de 6,40%, conforme dados do Banco Central do Brasil em 2017, com um acréscimo de 20% para uma maior segurança do investimento. O reajuste da tarifa de energia elétrica foi considerado em 6% ao ano.

O sistema fotovoltaico dimensionado, deve suprir uma demanda de 9985,15 kWh/mês, sendo assim a propriedade demanda por ano 166419 kWh, considerando a tarifa de 0,53872 R\$/kWh o custo anual evitado foi de R\$ 89653,33, tendo aumento nos anos subsequentes.

Com o valor do sistema fotovoltaico escolhido, orçado em 3 arranjos de R\$ 118750,00 totalizando R\$ 356250,00 de investimento inicial (Figura 5). O custo evitado por meio da avaliação de viabilidade econômica, constatou-se que o Valor Presente Líquido foi positivo, mostrando que o tempo de retorno do investimento, seria de 4 anos, pelo método do *payback* descontado, ilustrado pelo gráfico (Figura 6). A Taxa Interna de Retorno, nas condições encontradas, foi de 31,0193% a.a.

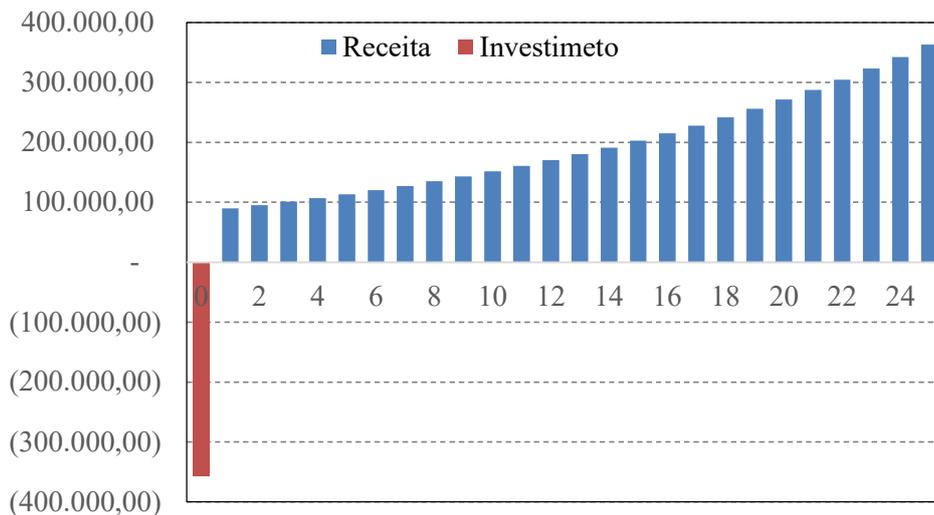


Figura 5. Fluxo de caixa baseado ao longo da vida útil.

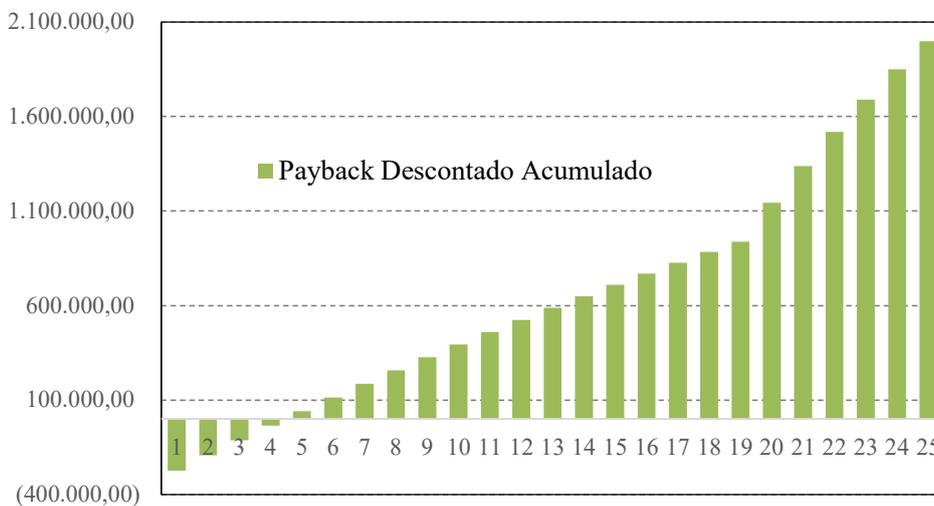


Figura 6. Payback descontado acumulado.

4. Conclusões

As análises realizadas permitiram destacar as conclusões:

- Para suprir a demanda energética da propriedade, por meio de um sistema de geração de energia solar, se fará necessário um sistema fotovoltaico composto por 342 módulos fotovoltaicos de 270 Wp, do tipo policristalino, com 3 inversores de 30,78 kWp, divididos em 3 arranjos, dispostos nós galpões;
- O sistema fotovoltaico dimensionado para o consumo de energia elétrica da propriedade, apresentou um tempo de retorno relativamente baixo, se comparado a outros investimentos, dando lucro a partir do quinto ano, com uma Taxa Interna de Retorno de 30,02% ao ano;
- O sistema apresenta uma ótima viabilidade técnica e econômica para implantação;
- Por fim, visando o cenário econômico e de sustentabilidade desta forma de produção de energia, mostra que políticas de incentivos deste tipo de energia devem ser fortemente estudadas. Também, o uso destes sistemas em meios agrícolas, mostrando bons resultados, incentivará novos produtores a buscar novas alternativas para minimizar suas despesas e maximizar seus lucros, fazendo assim, que busquem novas possibilidades de investimentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Referências bibliográficas

- ABPA (2016) Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório anual 2016. ABPA, Brasil. <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatoriosanuais/2016>> (accessed 19 July 2018).
- Abreu, PG and Abreu, VMN. (2012) ‘Fontes alternativas de energia na avicultura’, paper presented at the Congresso Brasileiro de Produção Animal Sustentável, February 2012, Chapecó. <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/937594/1/0000002116PAbreu.pdf>>
- Bona, J (2010) *Estudo de diferentes tecnologias, métodos e processos para efetivação energética de sistemas de iluminação de aviários*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba - PR.
- COPEL (2016) Companhia Paranaense de Energia. Micro e Minigeração – Sistema de Compensação de Energia Elétrica. <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FB57635122BA32D4B03257B630044F656#>> (accessed 23 November 2016).
- GOOGLE EARTH (2017) Google Earth 7.1.5.1557. < http://google_earth.pt.downloadastro.com> (accessed 05 May 2017).
- INMETRO (2016) Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Programa Brasileiro de Etiquetagem. Tabela de eficiência energética – Sistema de energia fotovoltaica – Módulos. <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaiico_modulo.pdf> (accessed 23 November 2018).
- NEOSOLAR (2017) Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes. <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-deenergia-solar-fotovoltaiica-e-seus-componentes>> (accessed 22 July 2018).
- Niedzialkoski, RK (2013) *Desempenho de Painéis Solares Mono e Policristalinos em m Sistema de Bombeamento de Água*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Oeste do Paraná, Cascavel - PR.
- PARANÁ (2015) Casa Civil-Governo do Estado do Paraná. Paraná já é o Estado que mais produz carnes do País, Paraná. <<http://www.casacivil.pr.gov.br/2015/09/86009,10/Parana-ja-e-o-Estado-quemais-produz-carnes-do-Pais.html>>. (accessed 21 July 2017).
- Pinho, JT and Galdino, MA (2014) *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CRESESB/CEPEL.
- Proença, EDRB (2007) *A energia solar fotovoltaica em Portugal – Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa – Portugal.