

BIANCA FIORI PRIMIERI

MONITORAMENTO DA GERAÇÃO ELÉTRICA E VIABILIDADE  
ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTÁICO INSTALADO EM  
DOIS AVIÁRIOS EM TUPÃSSI - PR

CASCVEL  
PARANÁ – BRASIL  
MARÇO - 2019

BIANCA FIORI PRIMIERI

**MONITORAMENTO DA GERAÇÃO ELÉTRICA E VIABILIDADE  
ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTÁICO INSTALADO EM  
DOIS AVIÁRIOS EM TUPÃSSI - PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Co-orientadores: Prof. Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira e Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
MARÇO- 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Primieri, Bianca Fiori

Monitoramento da geração elétrica e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico instalado em Tupãssi - PR / Bianca Fiori Primieri; orientador(a), Reginaldo Ferreira Santos; coorientador(a), Jair Antônio Cruz Siqueira, coorientador(a)II, Carlos Eduardo Camargo Nogueira, 2019.

74 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, 2019.

1. Sistema Fotovoltaico. 2. Aviários. 3. Viabilidade Econômica. 4. Geração Elétrica. I. Santos, Reginaldo Ferreira . II. Siqueira, Jair Antônio Cruz . III. Nogueira, Carlos Eduardo Camargo. IV. Título.

## BIANCA FIORI PRIMIERI

Monitoramento da geração elétrica e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico instalado em dois aviários em Tupãssi - PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



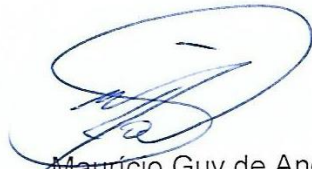
Orientador(a) - Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Maritane Prior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Maurício Guy de Andrade

Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina (UFPR)

Cascavel, 18 de março de 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao orientador dessa pesquisa, Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos e em especial aos coorientadores Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira e Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, pela paciência, determinação e por sempre acreditarem em mim e na minha capacidade independente dos desafios apresentados.

Ao proprietário Arlindo Paulus que, gentilmente, cedeu para estudo seus aviários e se manteve hospitaleiro durante as visitas realizadas, à sua filha Cristiane Paulus e ao seu neto Rafael Kayser, que intermediaram o contato necessário, responderam dúvidas e auxiliaram sempre que possível.

Aos amigos que conquistei durante essa caminhada, Lais, Nayara, Julio e Soni, que sempre se mostraram dispostos a me auxiliar com qualquer problema que fosse apresentado.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível chegar à conclusão desta caminhada.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Tipos de células fotovoltaicas de silício.....	9
<b>Figura 02:</b> Demonstrativo de um Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede.....	10
<b>Figura 03:</b> Configuração <i>Pad Cooling</i> .....	17
<b>Figura 04:</b> Bebedouro tipo <i>Nipple</i> .....	18
<b>Figura 05:</b> Efeito da ventilação negativa.....	19
<b>Figura 06:</b> Aviário do tipo <i>Dark House</i> .....	20
<b>Figura 07:</b> Aviários analisados em estudo (a) e painéis fotovoltaicos (b).....	24
<b>Figura 08:</b> Vista aérea da localização dos aviários analisados em estudo (em destaque).....	25
<b>Figura 09:</b> Irradiância média solar no plano horizontal de Tupãssi – PR nos meses do ano.....	25
<b>Figura 10:</b> Inversores modelo PHB35K-DT da marca PHB e suas nomenclaturas.....	26
<b>Figura 11:</b> Arranjo fotovoltaico do sistema fotovoltaico instalado nos dois aviários.....	27
<b>Figura 12:</b> Exaustores laterais (em destaque).....	28
<b>Figura 13:</b> Sistemas de iluminação, distribuição de água e de ração.....	29
<b>Figura 14:</b> <i>Padcooling</i> frontal (a) e lateral (b).....	29
<b>Figura 15:</b> Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - inverno (08/06/2018).....	34
<b>Figura 16:</b> Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - inverno (19/06/2018).....	34
<b>Figura 17:</b> Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - inverno (14/07/2018).....	35
<b>Figura 18:</b> Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - verão (03/02/2018).....	36
<b>Figura 19:</b> Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - verão (04/02/2018).....	36
<b>Figura 20:</b> Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os	36

aviários em um dia típico de céu aberto - verão (22/02/2018).....	
<b>Figura 21:</b> Média mensal da energia elétrica (kWh) produzida pelos três inversores (A, B e C) durante o ano de 2018.....	38
<b>Figura 22:</b> Geração de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos simulada a partir das médias de irradiância solar local.....	40
<b>Figura 23:</b> Custos mensais (R\$) com energia elétrica e seu consumo mensal (kWh) durante um ano antes da instalação dos painéis fotovoltaicos.....	41
<b>Figura 24:</b> Custos mensais (R\$) com energia elétrica e seu consumo mensal (kWh) durante um ano depois da instalação dos painéis fotovoltaicos.....	42
<b>Figura 25:</b> Custos mensais (R\$) com energia elétrica e seu consumo mensal (kWh) durante um ano típico.....	43
<b>Figura 26:</b> Fluxo de caixa.....	46
<b>Figura 27:</b> <i>PayBack</i> Descontado.....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01:</b> Especificações Técnicas dos Inversores.....	26
<b>Tabela 02:</b> Especificações Técnicas dos Módulos.....	27
<b>Tabela 03:</b> Médias históricas de dados meteorológicos do período de 1973 a 1998 do município de Tupãssi – PR.....	39
<b>Tabela 04:</b> Custos dos materiais, projetos e instalação do sistema fotovoltaico...	44



## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<b>A</b>	Corrente Elétrica
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>a-Si</b>	Silício Amorfo
<b>a-Si:H</b>	Silício Amorfo Hidrogenado
<b>CA</b>	Corrente Alternada
<b>CC</b>	Corrente Contínua
<b>CdTe</b>	Telureto de Cádmio
<b>CIGs</b>	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
<b>c-Si</b>	Silício Cristalino
<b>E</b>	Energia Produzida
<b>ESTC</b>	Energia Solar-Térmica Concentrada
<b>FC</b>	Fluxo de caixa por período
<b>FRE</b>	Fontes Renováveis de Energia
<b>FS</b>	Fator de Sombreamento
<b>G</b>	Irradiância padrão (1000 W/m <sup>2</sup> )
<b>G<sub>efetivo</sub></b>	Irradiação atuante
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas
<b>I<sub>0</sub></b>	Investimento inicial
<b>MF</b>	Módulos Fotovoltaicos
<b>m-Si</b>	Silício Monocristalino
<b>N</b>	Vida útil do projeto
<b>P</b>	Potência máxima concebida
<b>PBD</b>	<i>Payback</i> Descontado
<b>PF</b>	Painéis Fotovoltaicos
<b>PR</b>	<i>Performance Ratio</i>
<b>p-Si</b>	Silício Policristalino
<b>SAM</b>	<i>System AdvisorModel</i>
<b>SFCR</b>	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
<b>SHS</b>	<i>Solar Home System</i>
<b>Si</b>	Silício
<b>Si-Cz</b>	Silício Czochralski

<b>Si-fitas</b>	Silício Crescido em Fitas
<b>Si-FZ</b>	Silício Fusão Zonal Flutuante
<b>Si-gE</b>	Silício Grau Eletrônico
<b>Si-gS</b>	Silício Grau Solar
<b>tep</b>	Tonelada Equivalente de Petróleo
<b>TIR</b>	Taxa Interna de Retorno
<b>TMA</b>	Taxa Mínima de Atratividade
<b>U</b>	Retorno líquido anual do investimento
<b>V</b>	Tensão
<b>vp</b>	Valor Presente
<b>VPL</b>	Valor Presente Líquido
<b>μc-Si</b>	Silício Microcristalino

PRIMIERY, Bianca Fiori. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, março de 2019. **Monitoramento da geração elétrica e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico instalado em dois aviários em Tupãssi – PR.** Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co orientadores: Prof. Dr. Jair Antônio Cruz Siqueira e Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

## RESUMO

As maneiras sustentáveis de gerar energia elétrica, na circunstância que supre parcial ou totalmente uma demanda, estão em foco no mercado mundial devido às necessidades de se atender cada vez mais consumidores com menos recursos e de se diminuir o impacto ambiental causado. O ponto central deste estudo é o monitoramento da geração de energia elétrica a partir de geradores fotovoltaicos conectados à rede que abastecem, de maneira completa ou não, dois aviários *DarkHouse* localizados na região oeste do Paraná, em Tupãssi – PR, bem como a análise da viabilidade econômica. Para tanto, foi necessário coletar dados de geração efetiva dos dispositivos fotovoltaicos sob influência da irradiação solar local durante o primeiro ano da instalação. Na avaliação econômica, foram apanhados os dados de consumo de energia elétrica por meio dos registros de faturas da concessionária, para serem utilizadas nos cálculos de multi-índices (VPL, TIR e *Payback* Descontado). O ano monitorado, 2018, apresentou-se atípico por possuir quantidade significativa de dias com céu fechado e, consecutivamente, uma produção de energia elétrica pequena, portanto, foi necessário realizar uma simulação da produção de energia elétrica para um ano típico, a partir das médias históricas da irradiância solar local. A instalação supre a demanda energética dos aviários em 7 dos 12 meses para o ano de 2018, para um ano típico esse número sobe para 10 de 12 meses. O mês com maior geração de energia elétrica foi abril para 2018 e dezembro para um ano típico. Verificando os dias típicos de céu aberto de verão e inverno, confirma-se que os painéis não operam com sua máxima capacidade durante todos os meses do ano, já que entre o inverno e o verão há uma diferença de produção de 12,62 kW diários. A economia anual realizada com custos de faturas energéticas, entre 2017 e 2018 foi de R\$ 33.198,89. Entre 2017 e um ano típico, a economia subiu para R\$ 38.746,89. A ferramenta PBD indicou a inviabilidade econômica do projeto, sendo seu tempo de retorno aos 19 anos. Já os outros dois parâmetros avaliados (TIR e VPL) informam a viabilidade do sistema. Para cada ano atípico adicional que se apresente durante o projeto, seu PBD aumenta em um ano. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

**Palavras-chave:** painéis fotovoltaicos, *Dark House*, viabilidade.

PRIMIERY, Bianca Fiori, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, March 2019.  
**Monitoring of the electrical generation and economic feasibility of a photovoltaic system installed in two aviaries in Tupãssi – PR.** Advisor: Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-advisors: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira e Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

## ABSTRACT

The sustainable ways of generating electricity, in the circumstance that partially or totally satisfies a demand, are in focus in the world market due to the needs of attending more consumers with fewer resources and to reduce the environmental impact caused. The focus of this study is the monitoring of electric power generation from grid - connected photovoltaic generators that supply, in a complete or non - existent manner, two Dark House aviaries located in the western region of Paraná, in Tupãssi - PR, as well as the analysis of economic viability. In order to do so, it was necessary to collect data of effective generation of the photovoltaic devices under the influence of local solar irradiation. In the economic evaluation, the electric energy consumption data was collected through the utility's billing records, to be used in multi-index calculations (VPL, TIR and Discounted *Payback*). The monitored year, 2018, was atypical for having a significant amount of days with closed sky and consecutively a small electricity production, therefore, it was necessary to carry out a simulation of the production of electric energy for a typical year, based on the historical averages of the local solar irradiance. The facility supplies the energy demand of the aviaries in 7 of the 12 months for the year 2018, for a typical year, that number goes up to 10 of 12 months. The month with the highest generation of electricity was April to 2018 and December in the typical year. Checking the typical clear skies days of summer and winter, it is confirmed that the panels do not operate at their maximum capacity during all months of the year, since between winter and summer there is a production difference of 12.62 kW per day. The annual cost savings of energy bills between 2017 and 2018 was R\$ 33,198.89. Between 2017 and a typical year, the economy rose to R\$ 38,746.89. The PBD tool indicated the economic unfeasibility of the project, being its turnaround time at 19 years. The other two parameters evaluated (VPL and TIR) inform the feasibility of the system. For each additional atypical year presented during the project, your PBD increases by one year. This study was financed in part by he Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

**Keywords:** photovoltaic panels, *Dark House*, viability.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 ENERGIA SOLAR .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3.1 Células Fotovoltaicas .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4 SISTEMAS FOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE (SFCR).....</b>	<b>9</b>
<b>2.4.1 Desempenho e viabilidade de SFCRs .....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 RESOLUÇÃO DA ANEEL PARA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUIDA ..</b>	<b>13</b>
<b>2.6 USO DA ENERGIA ELÉTRICA EM AVIÁRIOS DE FRANGOS DE CORTE ..</b>	<b>15</b>
<b>2.6.1 Tipos de Aviários .....</b>	<b>19</b>
<b>2.7 AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.7.1 Payback Descontado (PBD).....</b>	<b>21</b>
<b>2.7.2 Valor Presente Líquido (VPL).....</b>	<b>21</b>
<b>2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR).....</b>	<b>22</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS. ....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 MATERIAL.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.1Localização do estudo .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1.2 Instalação Fotovoltaica .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.3 Aviários.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 METÓDOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.1 Descrição do experimento .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2 Monitoramento de geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico instalados nos aviários .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.3 Avaliação da variação de geração fotovoltaica em função dos meses do ano .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.4 Determinação dos custos iniciais de instalação do sistema fotovoltaico .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.5 Determinação dos custos da fatura de energia elétrica antes e após a instalação do sistema fotovoltaico .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.6 Avaliação da viabilidade econômica do sistema fotovoltaico instalado .....</b>	<b>31</b>

<b>4. RESULTADO E DISCUSSÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 GERAÇÃO ELÉTRICA .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.1 Monitoramento de geração de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.2 Geração fotovoltaica em função dos meses do ano .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.3 Simulação da geração de energia elétrica para um ano típico .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.1 Custos com as faturas de energia elétrica mensais .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.2 Custos com faturas de energia para um ano típico simulado.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.3 Custos com a instalação do sistema.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.4 Custos com a manutenção do sistema .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.5 Análise do Fluxo de Caixa .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.6 Análise do PBD, TIR e VPL.....</b>	<b>46</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Produzir alimentos no Brasil, especificamente carne de frango, representa grande importância econômica no país, gerando mais de dois milhões de empregos diretos e indiretos, bem como contribuindo com 9% das exportações brasileiras. Só no ano de 2016 a produção brasileira de carne de frango totalizou 12,9 milhões de toneladas, contando com mais de 50 milhões de unidades de alojamento de matrizes de corte. O estado do Paraná é líder no país contribuindo com 33,46% dos abates e 35,85% das exportações de carne de frango. Já o Brasil aparece em segundo lugar no ranking mundial de produção e em primeiro no ranking de exportação (ABPA, 2017).

No entanto, quando é considerada a sustentabilidade do sistema levando em consideração os princípios ambientais, tem-se que grandes quantidades de energia elétrica são necessárias para manter essa atividade e se ponderado que essas produções provêm de fontes não renováveis, a produção de carne de frango ainda demanda desenvolvimento (NASCIMENTO, 2011).

Aviários são conhecidamente módulos de confinamento que necessitam de grandes quantidades de energia elétrica, especialmente os modelos *Dark House*, que possuem modernidades de uso, proporcionando melhor automação e controle da produção, por meio de exaustores, painéis evaporativos, sistemas automatizados de distribuição de ração e água, controle do ar, da temperatura e da luminosidade. O desafio está em alimentar com energia elétrica suficiente esses modelos, fazendo uso de dispositivos que não agredam o meio ambiente e que também, apresentem resultados satisfatórios na quantidade de energia elétrica gerada (BEDIN, 2012).

Nesse cenário, entram os geradores fotovoltaicos, sistemas de geração de energia elétrica que utilizam da fonte renovável de energia mais abundante mundialmente: a solar, podendo ser uma alternativa atrativa, por conta das facilidades de instalações, não necessitando de grandes áreas e não gerando resíduos. Contudo, no sul do Brasil, mais especificamente no oeste do Paraná, a irradiância solar é afetada em razão da sazonalidade, se apresentando com maior intensidade nos meses de verão e baixa com incidência no inverno. Somado a esse fator negativo, tem-se os altos custos do investimento inicial na instalação de

módulos fotovoltaicos, que podem afastar produtores que temem não ter retornos condizentes em um tempo satisfatório (PINHO E GALDINO, 2014).

Para tanto, este estudo visou monitorar a geração de energia elétrica e avaliar a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico conectado à rede já instalados em dois aviários do modelo *Dark House* em Tupãssi – PR, a partir de cálculos do *Payback* Descontado, da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Valor Presente Líquido (VPL) e verificou-se se os módulos fotovoltaicos suprem as necessidades elétricas dos dois aviários ao longo de um ano, mesmo com as variações da irradiância solar em meses de verão e inverno.

Para isso, os objetivos específicos foram: monitorar a geração de energia elétrica fotovoltaica dos módulos instalados, avaliar a variação em função dos meses do ano da energia elétrica produzida, determinar os custos de instalação do sistema instalado, determinar os custos das faturas de energia elétrica antes e após a instalação do sistema fotovoltaico e avaliar a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

A produção de energia elétrica possui dois tipos de fontes: não-renovável (e.g. petróleo, gás natural, carvão, urânio); e renovável (e.g. energia hidráulica, eólica, solar). No mundo, a geração elétrica a partir de fontes renováveis conta com apenas 24%, sendo produzida primordialmente por energia hidráulica, contudo no Brasil a matriz elétrica é mais otimista, apresentando 80,4% da produção a partir de fontes renováveis. A emissão mundial de CO<sub>2</sub> em 2016 foi de 2,35 tCO<sub>2</sub>/tep e nacionalmente o indicador de emissões ficou em 1,47 tCO<sub>2</sub>/tep, valor abaixo do indicador mundial em função dessa maioria de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira (MME, 2017).

Parizotto (2014) define que as fontes de energia são divididas em três categorias: combustíveis fósseis, recursos nucleares e fontes renováveis de energia (FRE), também conhecidas como fontes alternativas de energia. Para ser considerada uma fonte renovável é necessária uma energia originada de procedências naturais ou que se regenerem, isto é, que se apresentem de maneira inesgotável.

As FRE são primárias, domésticas, limpas e inesgotáveis e abastecem 14% da demanda total de energia no mundo. As principais FRE e seus usos são: hidroelétrica (geração de energia), biomassas modernas (geração de calor e energia, pirólise, gaseificação), geotérmicas (aquecimento urbano, geração de energia, hidrotérmica, *hot dry rock*), ventos (geração de energia, geradores eólicos, moinhos de vento, bombas de água), oceanos (barragem e corrente das marés) e sol (sistemas domésticos, secadores solares, fogões solares, fotovoltaicas, geração de energia térmica, aquecedores de água) (PANWAR; KAUSHIK; KOTHARI, 2011).

Com a crescente preocupação envolvendo os impactos ambientais gerados principalmente pelo uso de combustíveis fósseis na geração de energia, cresce também o interesse em se investir em energias renováveis como, eólicas e solares. As fontes renováveis não produzem dióxido de carbono nem nenhum outro gás de efeito estufa que contribua para o aquecimento global, até mesmo o uso de combustíveis de biomassa é sustentável, uma vez que o dióxido de carbono liberado

quando a biomassa é queimada equivale à mesma quantidade absorvida da atmosfera pelas plantas enquanto elas crescem para se tornarem combustível de biomassa (BEAUDIN *et al.*, 2010).

Segundo Johansson *et al.* (2009) a demanda de produção de eletricidade em nível global mais do que duplicará no ano de 2025 e triplicará a partir do ano 2050, conseqüentemente, as FRE desempenharão papel principal na economia energética mundial. Levando em consideração que, no ano 1985, a geração de energias renováveis contabilizada em apenas 20%, principalmente proveniente de hidroelétricas, no ano 2025 essa parcela aumentará para aproximadamente 60%, divergindo em diferentes tipos de energias renováveis, tais como: energia eólica, biomassa e energia solar.

## 2.2 ENERGIA SOLAR

Entre as FRE, a energia solar é reconhecidamente a mais abundante e a que se apresenta em maior disponibilidade no mundo tanto indireta quanto diretamente, além de ser gratuita e de baixo impacto ambiental (NASCIMENTO E HAUSMANN, 2015). O sol emite  $3,8 \times 10^{23}$  kW, dos quais, aproximadamente  $1,8 \times 10^{14}$  kW são interceptados pela Terra, dessa maneira temos que, em menos de 40 minutos, por exemplo, os Estados Unidos recebem mais energia na forma solar do que recebe na queima de combustíveis fósseis em um ano (PANWAR, KAUSHIK, KOTHARI, 2011; JOHANSSON *et al.*, 2009).

O relevante neste caso é a eficácia da captação da radiação solar, sob forma de calor e como armazená-la. Para tanto, o mais disseminado são instalações entendidas como coletores solares. Tendo como função aquecer fluídos, tanto líquidos quanto gasosos, esses coletores solares podem ser catalogados em concentrados e planos, em razão da presença ou não de equipamentos de concentração da radiação solar (PINHO E GALDINO, 2014).

Tian e Zhao (2013) avaliam que os componentes de armazenamento de energia térmica são subsistemas dos coletores. Os coletores solares precisam ter um bom desempenho óptico, absorvendo o máximo de calor possível, enquanto os subsistemas exigem alta densidade de armazenamento térmico, com pequeno volume e baixo custo de construção, possuem excelente taxa de transferência de calor, a velocidade requerida e boa durabilidade em longo prazo.

Todavia, as tecnologias de eletricidade solar-térmica precisam de grandes quantidades concentradas de luz solar em uma pequena área para permitir o acúmulo de calor a altas temperaturas, só assim pode haver a conversão de eletricidade em um motor térmico convencional (JOHANSSON *et al.*, 2009).

De acordo com Sarver, Al-Qaraghuli e Kazmerski (2013), para geração de eletricidade, os sistemas de Painéis Fotovoltaicos (PF) e de Energia Solar-Térmica Concentrada (ESTC) são as principais tecnologias usadas para converter a radiação abundante do sol. Em ambas, é fundamental que a radiação eletromagnética do sol interaja, via transmissão ou reflexão, com uma superfície intermediária antes que a energia possa ser transformada em energia útil.

### **2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Atualmente, a possibilidade de redução das fontes de energia convencionais, a preocupação ambiental e alta demanda de energia, motivam os pesquisadores a investigar a tecnologia fotovoltaica para geração e aplicação de energia em larga escala (SINGH, 2013).

Para ser considerada energia solar fotovoltaica é necessário que haja conversão direta de luz em eletricidade. Essa conversão é chamada de Efeito Fotovoltaico, descoberta pelo físico francês Edmond Becquerel em 1839. Resumidamente, este efeito pode ser descrito como: quando um material semicondutor recebe luz, seu estado de equilíbrio é quebrado, ou seja, um elétron presente na camada de valência é atingido por um fóton, absorve sua energia e, dependentemente da quantidade de energia, é libertado de sua ligação química dentro do átomo e passa para a camada de condução, criando o que se chama de par “elétron-lacuna” (PINHO e GALDINO, 2014).

Zilles *et al.* (2012) citam que quanto maior a dose de fótons, conseqüentemente, mais pares elétron-lacunas serão formados, até haver o desequilíbrio das correntes de junção e uma diferença de potencial. Esses dois fatores, quando conectados com terminais metálicos e interligados por condutores, estabelecerão uma corrente elétrica conhecida como foto corrente, que permanecerá enquanto houver luz (radiação solar, no caso deste estudo) no material semicondutor.

Esse efeito foi visualizado em dispositivos que hoje são reconhecidos mundialmente como células fotovoltaicas. Para se obter níveis de correntes e tensões específicos, esses dispositivos são associados tanto em série quanto em paralelo, ou até mesmo, em ambos. Quando associados em série, o terminal negativo de uma célula é conectado ao terminal positivo outra e, conseqüentemente, somando-se as tensões (V), porém, não alterando a corrente elétrica (A). Já quando as células são associadas em paralelos permanece constante a tensão e somam-se as correntes elétricas (PINHO e GALDINO, 2014).

Singh (2013) disserta que, quando agrupadas em conjuntos as células fotovoltaicas, têm-se os chamados Módulos Fotovoltaicos(MF), que formam matrizes fotovoltaicas ou geradores fotovoltaicos.

A energia elétrica gerada por uma célula varia, assim como seu tamanho, dependendo das condições de operação e de fatores de campo tais como: a localização geométrica do sol, os níveis de irradiação, a velocidade local dos ventos e a temperatura do ambiente (SINGH, 2013; DUBEY; SARVAIYA; SESHADRI, 2012).

Segundo Panwar, Kaushik e Kothari (2011), os MF geram eletricidade diretamente da luz sem emissões, barulhos ou vibrações, embora a luz solar seja gratuita, gerar energia é excepcionalmente oneroso, uma vez que a energia solar é muito densa, os módulos fotovoltaicos precisam ter uma grande área de superfície para pequenas quantidades de energia geradas.

O sistema fotovoltaico pode ser categorizado em: stand-alone (autônomo), para aplicação em veículos (veículos solares), sistemas conectados à rede e sistemas de construção (SINGH, 2013).

A tecnologia fotovoltaica adentrou apenas uma parcela do mercado elétrico atual, devido principalmente, aos grandes gastos iniciais. Uma maneira de diminuir estes gastos é substituir células solares onerosas por concentradores óticos de baixo custo, que, embora mais complexos, resultam em uma economia de eletricidade por meio da combinação de área de células solares reduzidas e alta eficiência (JOHANSSON *et al*, 2009).

### **2.3.1 Células Fotovoltaicas**

Desde o início do desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica, em 1956, um dispositivo se mostrou ideal para fornecer energia, devido ao seu menor custo, seu peso e sua segurança, chamado de célula fotovoltaica (PINHO E GALDINO, 2014).

Células fotovoltaicas são fabricadas a partir de materiais semicondutores que possuem a função de aproveitar o efeito fotovoltaico na maior maneira possível gerando energia elétrica. O silício (Si) é o material mais utilizado no mercado para compor as células, isso se deve à uniformidade da estrutura das moléculas deste componente, ao fato da microeletrônica ter se aperfeiçoado progressivamente no século XX na tecnologia do silício e uma vez que este se apresenta de maneira abundante na natureza (CARLI, 2016; ZILLES *et al.*, 2012).

Para Zilles *et al.* (2012), a área desses dispositivos varia entre 50 cm<sup>2</sup> e 150 cm<sup>2</sup> e sua espessura entre 0,2 mm e 0,3 mm, sendo uma lâmina circular ou quadrada, divergindo entre o azul escuro e o preto. Objetiva-se obter lâminas com espessura menores, de 0,12 mm, até 2020, diminuindo os custos de fabricação, afinal, células que possuem uma espessura elevada exigem que a eficiência se dê por recombinação em função dos comprimentos de difusão no material dos elétrons fotogerados.

Os tipos de células de silício constituídas de cristais(c-Si) são subdivididos em: monocristalino (m-Si) e policristalinos (p-Si), sendo esses dois tipos os mais utilizados, e utilizados em minoria se tem as células constituídas de silício amorfo (a-Si). Até 2011, essa tecnologia de cristais continuou se demonstrando dominante, abrangendo 87,9% do mercado. Ademais, se encontram as outras tecnologias de células fotovoltaicas comercializadas baseadas em filmes finos, podendo ser de: telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre, índio e gálio(CIGs), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), silício microcristalino ( $\mu$ c-Si) e silício crescido em fitas (Si-fitas). Além dessas, as células podem ser de multijunção de alta eficiência, baseadas em corantes ou polímeros (PINHO E GALDINO, 2014).

Zilles *et al.* (2012) ainda citam outros materiais na fabricação das células, em fase de estudo, são eles: materiais orgânicos, translúcidos e plásticos. Almeida *et al.* (2015) classificam as tecnologias aplicadas na produção das células em três gerações. Essas gerações são condizentes com os materiais e as características de cada célula, na primeira geração estão abrangidas as células de silício cristalino, tanto mono quanto poli; na segunda geração, se encontram as células de filmes

finos: silício amorfo, disseleneto de cobre, índio e gálio e telureto de cádmio e, por fim, na terceira geração são apresentadas as células que fazem uso mais eficiente da luz solar, baseadas em um único band-gap eletrônico, sendo de forma geral, altamente eficiente, com baixo custo-watt e constituídas de materiais abundantes com baixa toxicidade.

Historicamente, o tipo de célula mais utilizado e comercializado é o monocristalino (m-Si) por ser o mais eficiente, alcançando eficiências entre 15 - 18% (DEBASTIANI, 2013); 15 - 24,7% (JANUZZI; VARELLA; GOMES, 2009), porém é o mais oneroso. O método de obtenção dessas células fotovoltaicas é o Czochralski (Si-Cz) ou a técnica de fusão zonal flutuante (Si-FZ, *Float Zone*), constituído da produção de barras cilíndricas em fornos especiais que posteriormente são cortadas em forma de pastilhas finas, com espessuras em torno de 200  $\mu\text{m}$ . É utilizado o silício ultrapuro em *chips* de grau eletrônico (Si-gE), matéria prima comum na indústria eletrônica que possui pureza de 99,9999999% (nove noves, 9N) ou o silício grau solar (Si-gS) com 99,9999% (seis noves, 6N), com valor comercial diminuto e inutilizado na indústria eletrônica (PINHO E GALDINO, 2014).

Já as células de silício policristalino, também conhecido como multicristalino, possuem um método de fabricação diferenciado. Primeiro, porções de silício puro são fundidas em moldes especiais, gerando blocos de silício. Nos moldes, ocorre de maneira vagarosa o resfriamento e a solidificação, fazendo com o que os átomos se organizem em uma estrutura policristalina que possui separação entre os cristais. É essa separação que faz com que essas células apresentem eficiência menor quando comparadas com as células monocristalinas, variando de 14 - 20,3% (JANNUZI; VARELLA; GOMES, 2009), já que a separação faz com que ocorra um maior número de defeitos (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Pinho e Galdino (2014) comentam que as células de silício amorfo (a-Si) possuem eficiência ligeiramente menor e, por conseguinte, apresentam modesta participação no mercado. Além disso, a disponibilidade desse material não é abundante, sua vida útil e rendimento são menores. Em compensação, sua fabricação é menos complexa que as outras células, tendo processos simplificados e automatizados que barateiam o custo, diminuem o consumo de matéria-prima e de energia.

Os três tipos de células citados acima podem ser visualizados na Figura 01:

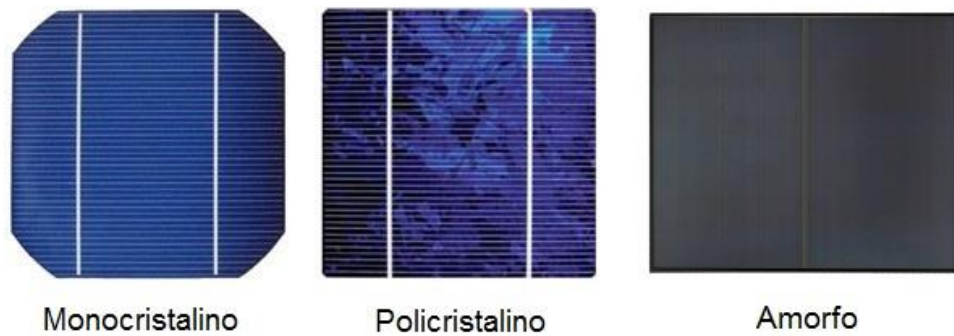


Figura 01 - Tipos de células fotovoltaicas de silício (Fonte: CRESESB, 2017).

## 2.4 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE (SFCR)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) possuem duas configurações diferentes: quando são distribuídos e quando são centralizados. Os distribuídos fornecem energia para o consumidor, utilizando-a como complementação à rede elétrica convencional, quando a energia produzida não é suficiente, ou vendendo-a para a concessionária, quando a energia produzida é mais que suficiente. São comumente instalados nos telhados das edificações devido ao aproveitamento máximo dos raios solares, porém, também podem ser instalados junto aos pontos de consumo nas fachadas ou no solo, dependendo das condições de incidência solar do local (JANNUZZI; VARELLA; GOMES, 2009).

Pinho e Galdino (2014) apresentam vantagens como: é dispensável de áreas extras para instalação e assim, podem ser instalados em meio urbano, e por serem próximos aos pontos de consumo, não há perdas de transmissão e distribuição de energia elétrica, além de não necessitarem de infraestrutura adicional.

Já os sistemas fotovoltaicos centralizados comportam-se como estações centralizadas de energia, não sendo associados a um consumidor particular, funcionando a certa distância do ponto de consumo. Por esse motivo, neste caso é necessário que sejam instalados também sistemas de distribuição e transmissão mais complexos (ZILLES *et al.*, 2012).

Na Figura 02 está representado o funcionamento de um SFCR. De forma sucinta, estes atuam da seguinte maneira: primeiro, os raios solares incidem sobre os painéis fotovoltaicos que, por meio do efeito fotovoltaico, convertem a energia recebida com corrente contínua (CC) que é coletada pelo inversor. O segundo passo

consiste na conversão da CC em corrente alternada (CA) pelo inversor, uma vez que essa é a maneira em que a energia é comumente consumida. Assim, quando os painéis solares produzem mais eletricidade que a demandada, o excesso produzido é enviado ao sistema elétrico (concessionária), evitando com que a energia produzida e não utilizada seja desperdiçada. De maneira contrária, quando a demanda de energia é superior a gerada pelos painéis, o sistema elétrico proporciona a energia suplente para cobrir as necessidades (PINHO E GALDINO, 2014).

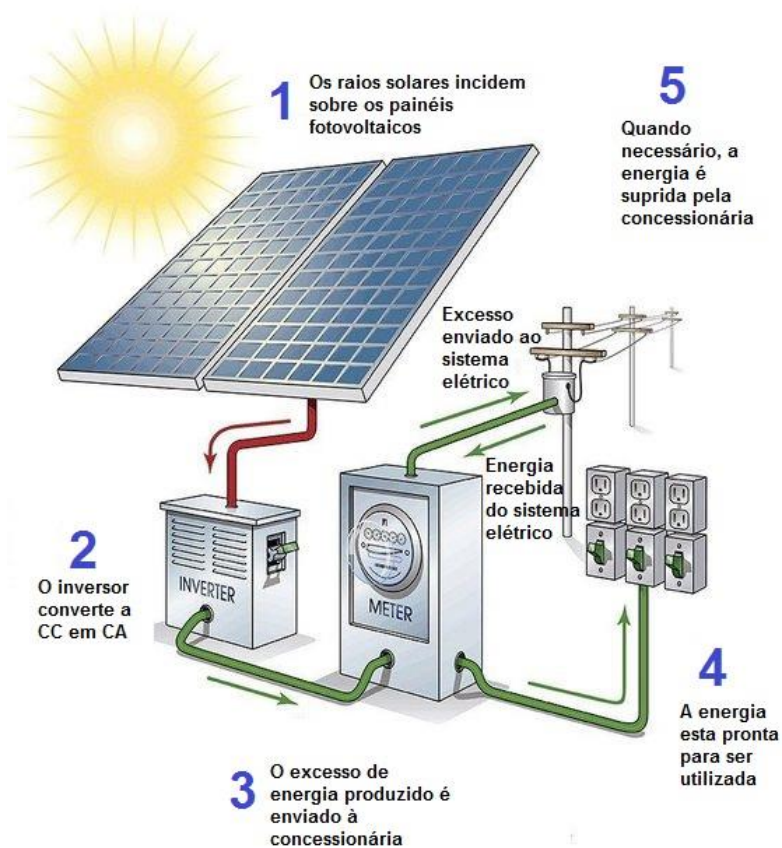


Figura 02 – Demonstrativo de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (Fonte: Adaptado de ExpertSure, 2018).

No Brasil a experiência com esse tipo de tecnologia não difere grandemente de outros países, tendo sido pioneiramente instalada em meios rurais devido às iniciativas governamentais que financiavam os projetos, como o *Solar Home System* (SHS) ou o sistema de bombeamento de água e atualmente, ganhando interesse por empresas privadas. Durante o período de 1995 a 2009, se deu registro 39 SFCRs instalados no país que, em maior quantidade foram implementados por universidades e centro de pesquisas, como a UFSC (Universidade Federal de Santa



Cataria) que contava com 3 sistemas operantes (Labsolar I, II e III) e a USP (Universidade de São Paulo) responsável por 2 sistemas operantes (LSF-IEE I e II) (ZILLES *et al.*, 2012).

#### **2.4.1 Desempenho e viabilidade de SFCRs**

A viabilidade econômica e financeira um SFCR envolve primordialmente a expectativa de produção anual de energia gerada, dependentemente da disponibilidade da irradiação solar local e do rendimento do sistema fotovoltaico como um todo: seus módulos e inversores. Portanto, cabe ao investidor reunir informações sobre diversas variáveis antes de iniciar o projeto (OLIVEIRA, 2017).

A análise e o desempenho real de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR) dependem de três fatores: o Potencial Físico, ou seja, a incidência solar e as temperaturas ambientes, envolvendo os parâmetros relacionados a informações climatológicas e meteorológicas; o Potencial Geográfico, referente à área geográfica que pode ser usufruída para as instalações necessárias; e o Potencial Técnico apossado de dados técnicos relativos aos equipamentos e ao sistema que desencadeia na capacidade global da instalação e da energia produzida (BARBOSA; LIMA; PEREIRA; 2010).

O posicionamento dos painéis fotovoltaicos é um dos fatores alvos em diversos estudos de avaliação dos SFCRs, sendo recomendado que a instalação esteja suficientemente longe de objetos que possam gerar sombras, principalmente durante às 9h e 15h e em dias mais curtos (21 de junho a 21 de dezembro no Brasil). Quando a instalação do gerador fotovoltaico é feita em áreas remotas, cabe se analisar outros fatores, como a perda de energia, o vandalismo, o crescimento de vegetações, a construção de edificações ou qualquer outro objeto que possa gerar sombras futuramente (PINHO E GALDINO, 2014).

Outros dois fatores principais de avaliação são: a inclinação e a orientação dos painéis. Villalva (2015) sugere que o mais eficiente é que os painéis estejam orientados em direção a linha do equador. No caso do Brasil, deve ser considerado que a face dos módulos fotovoltaicos seja virada para o Norte, salvo exceções onde outros fatores como neblinas durante a parte da manhã, influenciem na irradiação solar recebida. Já a inclinação deve seguir uma regra simples: o ângulo do gerador

deve ser igual à latitude local onde o sistema está instalado, sendo aceitáveis variações pequenas, de 10° para mais ou para menos.

Barbosa, Silva e Melo (2009) avaliaram um SFCR em telhados utilizando uma metodologia diferenciada, para tanto, consideraram que os potenciais acima citados fossem ambientes e adicionaram mais dois ambientes para uma avaliação mais completa, o Ambiente Econômico: onde foram analisados fatores econômico-financeiros e o Ambiente Analítico para estimar potenciais de SFCR em centros urbanos, especialmente sistemas que se encontram em coberturas de edifícios, ou seja, em Telhados Solares ou Telhados Fotovoltaicos.

Um estudo realizado em Porto Alegre – RS avaliou o desempenho de um SFCR por meio do software *System Advisor Model* (SAM), quando foram consideradas a irradiação e as temperaturas ambientes, além da potência e energia. Os autores realizaram duas leituras de 3 minutos cada, diariamente, durante 30 dias, gerando resultados suficientes para se analisar como a irradiação em dias com céu limpo e em dias com seu nublado influenciam na energia e potência do SFCR, além de poder identificar um “dia típico”, com valores médios e a possibilidade da inserção do sistema em uma residência, onde foi demonstrado que haveria uma significativa economia, de 55% (POSSEBON E RODRIGUES, 2016).

Uma metodologia de avaliação de SFCRs mais focada na viabilidade financeira, desenvolvida por Pozzobon *et al.*, (2018), onde três propostas de instalações foram apresentadas, cada uma com uma orientação cartográfica diferente que influenciaram diretamente em custos referente as estruturas metálicas necessárias, dependentemente da quantidade de material demandado, e influenciaram na quantidade de irradiação solar recebida durante o estudo. Assim, a proposta que recebeu a maior quantidade de irradiação solar, não foi a que apresentou o menor tempo de retorno financeiro, uma vez que os gastos iniciais com a estrutura metálica de fixação e sustentação necessária foram onerosos, concluindo que: o investimento inicial é o fator de maior impacto na viabilidade financeira de um SFCR.

Outro método de avaliação de SFCR possível é utilizando imagens de satélites, para identificar áreas livres de sombreamento e a área disponível em telhados nos quais é possível se instalar painéis fotovoltaicos. Neste caso, se faz necessário o uso de softwares como o *Sketchup*, necessário para estimar áreas de

edificações e o *Compass*, onde é possível calcular orientações cartográficas e azimutes com mais precisão (CASCAES E RODRIGUES, 2018).

Além disto, Thevenard e Pelland (2013) consideram a existência de fatores que afetam gradualmente a operação do sistema fotovoltaico. A degradação pode ser causada por temperatura, umidade, irradiação solar e choques mecânicos, gerando corrosão, descoloração da célula (*yellowing*) e do encapsulamento EVA, descolamento do encapsulamento e quebras. A produção de energia do módulo pode continuar mesmo com a degradação, porém, em níveis avançados, essa energia pode cair a níveis críticos de rendimento.

## **2.5 RESOLUÇÃO DA ANEEL PARA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Em 17 de abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) elaborou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, através da Resolução Normativa 482/2012, fazendo possível para o usuário brasileiro produzir energia elétrica para si mesmo, utilizando as FRE ou híbridos qualificados, além de poder oferecer o sobressalente para a sua rede de distribuição local (ANEEL, 2016).

Segundo Freitas e Hollanda (2015), a geração distribuída não possui definição condizente, sendo diversificada em cada país a abordagem e o incentivo da sua política energética. Todavia, os sistemas de potência com capacidade diminuta que se encontram próximos aos centros de consumo onde não há a exigência de extensão de redes para a sua transmissão, compreendem num entendimento da geração distribuída, vista como uma alternativa para o futuro da produção de energia elétrica.

Micro e minigeração distribuídas são, conseqüentemente, a elaboração de energia elétrica com base em centrais geradoras menores que empregam as FRE. Em termos mais exatos, a microgeração distribuída necessita abranger uma central geradora de energia elétrica com no máximo 75 kW e por sua vez, a minigeração distribuída corresponde às centrais geradoras com potência instalada maior que 75 kW, mas ainda menor que 3 (três) MW, considerando as fontes híbridas (eólica-solar, etc.), e menor que 5 (cinco) MW para as demais fontes (ANEEL,2016).

De acordo com Pinho e Galdino (2014), a eletrificação rural de comunidades isoladas, ou de apenas um consumidor, pode ser feita por mini redes de distribuição,

geralmente pelo grupo gerador a diesel. No entanto, este tipo de sistema é oneroso, devido a sua manutenção, consumo e transporte do óleo diesel, ainda mais quando as comunidades ou consumidores isolados atendidos vivem em áreas precárias e muito afastadas dos centros urbanos, com acesso dificultado, gerando assim, em sua maioria, sistemas ineficientes.

Quanto ao sistema de medição, a concessionária local é responsável pela instalação e deve fazê-lo de maneira igual ao de unidades consumidoras do mesmo nível de tensão, com o acréscimo do medidor bidirecional de energia elétrica, ou por dois medidores que medem a energia em cada sentido. Essa medição bidirecional deve analisar a energia elétrica que foi consumida ativamente e também a energia elétrica que foi gerada ativamente, para obter dados mais precisos sobre o consumo de energia, essa medição deve ser simultânea. Para os consumidores de microgeração distribuída, a instalação do sistema de medição deve ser sem custo, já os consumidores de minigeração distribuída devem ressarcir a concessionária (ANEEL, 2016).

Quando o sistema fotovoltaico gerar energia elétrica em maior quantidade que o demandado pela instalação consumidora, a energia excedente deve ser entregue a concessionária local por meio da rede elétrica e cabe ao medidor registrar a quantidade. De maneira contrária, quando o ponto consumidor demanda mais energia elétrica que a gerada pelo sistema fotovoltaico, o medidor registra o fluxo no seu sentido convencional, ou seja, compra-se a energia elétrica faltante da concessionária. No fim do mês considera-se o balanço energético, quando positivo o consumidor gerou mais energia do que demandou e assim, cabe a distribuidora providenciar um crédito energético relacionado com a parcela de energia elétrica que excedeu a demanda. Esse crédito deverá ser compensado nas faturas consecutivas, no prazo máximo de 60 meses (PINHO E GALDINO, 2014).

Segundo a RN 482/2012 da ANEEL, o crédito energético pode ser utilizado em mais de uma unidade consumidora, desde que previamente cadastradas e dentro da mesma área de concessão, nas seguintes opções:

- a) Por geração compartilhada: quando por meio de consórcio ou cooperativa há uma reunião de consumidores;
- b) Autoconsumo remoto: quando as unidades consumidoras pertencem a mesma pessoa jurídica, incluídas matriz e filial;

- c) Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): quando os pontos de consumo estão localizados na mesma propriedade ou em propriedades anexas, onde a energia elétrica é utilizada de forma independente.

Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (Grupo B), mesmo quando o sistema fotovoltaico produzir energia elétrica em maior quantidade que o demandado pela edificação, haverá a necessidade de se realizar pagamento referente ao custo de disponibilidade, que se divide em: sistema monofásico (30 kWh), sistema bifásico (50 kWh) e sistema trifásico (100 kWh). Para os consumidores do grupo A o pagamento será apenas a parcela referente a demanda (PINHO E GALDINO, 2014).

O Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) publicou o Convênio ICMS 16, de 22/4/2015, a partir da qual concede para os estados que aderirem o Convênio que o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) seja incidente apenas para a diferença entre a energia elétrica consumida e a energia elétrica injetada na rede no mês. Sendo assim, o ICMS não é cobrado referente a todo o consumo, pois se desconsidera a energia injetada na rede pela micro ou minigeração. Quanto ao Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), a Lei nº 13.169/2015 considera que seja acometido apenas sobre o saldo entre a energia consumida e a energia injetada pela unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída (ANEEL, 2016).

## **2.6 USO DA ENERGIA ELÉTRICA EM AVIÁRIOS DE FRANGOS DE CORTE**

Dentro de um aviário são vários os fatores que necessitam de energia elétrica, tanto para o conforto das aves quanto para melhorar seu desenvolvimento, uma vez que estes animais possuem reações consideravelmente importantes a produção quando submetidos a condições de temperatura, umidade relativa do ar, ventilação, radiação, entre outras (BALDIN, 2013).

Quando as aves são confinadas e privadas das condições naturais biológicas, é preciso que seja fornecido todo o necessário para que estas atinjam bons níveis de qualidade de vida, saúde e, consecutivamente, de desenvolvimento. Assim sendo, os sistemas de iluminação, climatização, ventilação e até mesmo, a alimentação e o fornecimento de água automático das aves precisam funcionar perfeitamente, sem pausas, requerendo o uso de energia elétrica imprescindivelmente (BEDIN, 2015).

Segundo EMBRAPA (2011), os equipamentos de um aviário climatizado são: bebedouro *Nipple*, comedouro automático, campânula, silo, sistema de climatização, cortina e sistema lógico e para uma competente conjuntura de desempenho, é necessária uma infraestrutura mínima de: rede elétrica padrão, caixa d'água e conjunto gerador.

A luminosidade é um parâmetro exigido nos envelopes avícolas com objetivo de proporcionar efeitos artificiais de dias e noites, gerando melhor desempenho zootécnico e bem-estar das aves. Portanto é necessária uma distribuição uniforme de luz ao longo do aviário, além de: lâmpadas dimerizáveis controladas por tempo, cortinas laterais na cor preta e utilização de entradas de ar em locais específicos. Assim sendo, a luminosidade, e especificamente o uso de lâmpadas nos sistemas de iluminação, é encarregada da maior parte dos custos energéticos requisitados pelos aviários (NASCIMENTO, 2011).

Os ângulos de incidência dos raios solares influenciam diretamente no conforto térmico das aves, portanto é comum que produtores construam seus aviários procurando promover a maior área possível de sombra. Este fator age de maneira contrária ao necessário para instalação de painéis fotovoltaicos, uma vez que, estes necessitam da maior quantidade de incidência solar, gerando, assim, um conflito muito comum (EMBRAPA, 2011).

É indispensável se considerar também, como as estações do ano influenciam nos sistemas de climatização ou ventilação dos aviários, atuando em quantidades máximas e mínimas, e nas prováveis diferenças entre consumos que estes sistemas geram. Além disso, quando as temperaturas são muito elevadas, frequentemente no verão, é necessário um sistema de climatização, chamado de sistema de resfriamento evaporativo (*padcooling*) (Figura 03), onde uma lâmina de água é estrategicamente posicionada sobre um painel nas entradas de ar do galpão,

realizando um resfriamento das aves satisfatório sem que seja preciso empregar o uso de aparelhos de ar condicionados (NASCIMENTO, 2011).

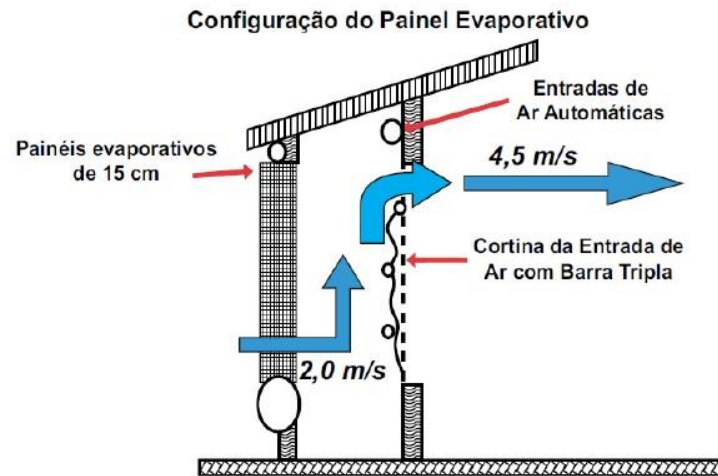


Figura 03 – Configuração *PadCooling*. (Fonte: NASCIMENTO, 2011).

Quanto ao abastecimento de água para as aves, bebedouros tipo *nipple* (Figura 04) são fortemente recomendados pela literatura, devido aos fatores: maior funcionalidade e higiene, além de evitar a competição das aves nas épocas de consumo elevados. Para o abastecimento de água das aves no galpão de confinamento, comumente são equipados uma bomba submersa e um reservatório de água que necessita energia elétrica com certa flexibilidade por conta do horário de funcionamento do equipamento (ABREU E ABREU, 2011).



Figura 04 – Bebedouro tipo *Nipple* (Fonte: NASCIMENTO, 2011)

Já o sistema de distribuição de ração contempla um sistema de linhas, acionado por sensores e dimensionados a partir da largura e comprimento do aviário. A configuração mais frequente consiste em transportadores helicoidais de alta resistência localizados dentro de tubulações de PVC que são alimentados por motores consumidores de energia elétrica (NASCIMENTO, 2011).

No início da vida das aves, especialmente nas três primeiras semanas, os pintainhos são grandemente sensíveis às variações de temperatura, sofrendo por stress quando há excesso de calor e perdendo peso quando há frio, esses danos se não evitados, são dificilmente corrigidos no futuro. Quando a temperatura se encontra adequada, é chamada de zona de termo neutralidade, se os animais são mantidos em suas zonas de termo neutralidade evitam-se gastos de energia elétrica, utilizadas nos sistemas de aquecimento. São sistemas de calefação destaques no mercado: sistema automático, a gás liquefeito de petróleo ou à lenha, fornalha de carvão vegetal, lâmpadas e pisos aquecidos, em sua maioria, dependentes de energia elétrica e fóssil (CAMPOS *et al.*, 2013).

No Paraná, assim como em outras regiões do sul do Brasil, os invernos podem ser rigorosos. Este fator somado a aviários com sistemas de isolamentos não satisfatórios gera onerosos gastos com energia elétrica necessários para o aquecimento das aves (NASCIMENTO, 2011).

Por fim, galpões de confinamento necessitam ter a qualidade do ar controlada, assim como é necessário realizar trocas térmicas por meio de ventiladores e exaustores. Segundo Cobb-Ventress (2009), a ventilação mínima exigida para as aves deve realizar uma troca completa do volume interno do aviário entre 5 a 8 minutos, já a ventilação máxima não deve ultrapassar um tempo médio de 1 minuto. Para que isso ocorra, são necessários que os exaustores trabalhem simultaneamente, demandando grande potência e, conseqüentemente, energia elétrica ininterrupta. As instalações características de pressão negativa estão caracterizadas na Figura 05, quando os exaustores devem estar posicionados na face oposta à entrada de ar e as laterais devem estar vedadas com cortinas, evitando entradas de ar, gerando maior eficiência no sistema de exaustão.



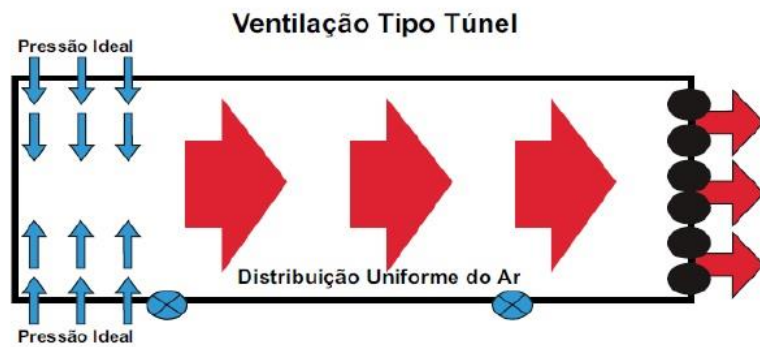


Figura 05 – Efeito da ventilação negativa (Fonte: COBB-VENTRESS, 2009)

São vários os fatores que necessitam de energia elétrica dentro um aviário. Sendo assim, para garantir que o suprimento seja contínuo é preciso que sistemas *stand-by* sejam ativados imediatamente quando ocorre a falta de energia não prevista. A Auburn University (2010) recomenda que, para dois ou três aviários, seja instalado um gerador de até 75kW.

### 2.6.1 Tipos de Aviários

Abreu e Abreu (2011) utilizam a padronização da Embrapa Suínos e Aves que uniformiza a denominação dos diversificados tipos de aviários existentes que são: Sistema Convencional; Sistema Semiclimatizado, Sistema Climatizado, Sistema *Dark House*, *Brown House*, *Blue House* e *Green House*; Aviários Gigantes. Troni (2015) apresenta outro tipo de classificação para os módulos de confinamento, divididos em: Pressão Positiva, conhecidos também como convencionais, e Pressão Negativa, ou Túnel de Pressão, *Penumbra* e *Dark House*. Os galpões convencionais são um sistema de produção de frango mais antigo, que utiliza ventiladores, maior mão de obra e apresenta resultados zootécnicos diminutos.

O Brasil é um país que possui grande área e, portanto, diferentes tipos de clima por região. Em razão disso, as instalações nos aviários precisam se adaptar às distintas condições atmosféricas. Uma maneira que facilita essas discrepâncias é a unificação dos aviários, introduzindo um nível de controle do ambiente totalmente climatizado, chamado de *Dark House* (BALDIN, 2013).

No sistema *Dark House*, controla-se a luminosidade e as temperaturas, estimulando a secreção de melatonina, reduzindo o gasto de energia e estimulando

o sistema imunológico. Ademais, a esses benefícios são somados a redução no consumo de ração, menor mortalidade, redução nos custos de produção, que gera, por fim, aumento nos ganhos dos produtores. Este sistema tem crescido consideravelmente desde 2004, sendo utilizado em sua maioria na região oeste do Paraná (VIEIRA *et al*, 2014).

Na Figura 06 é possível visualizar um aviário do tipo *Dark House*, totalmente vedado de luz externa, iluminado apenas pelas lâmpadas, com cortinas de vedação de ar nas laterais e forro de polietileno preto, que auxilia no impedimento da entrada de luz, dispendo os comedores e bebedores no chão.



Figura 06 - Aviário do tipo *Dark House* (Fonte: BEDIN, 2015)

Considerado como o estado da arte em sistemas de confinamento para aves, produzir animais neste modelo traz diversos benefícios, tais como: reduz a quantidade de ração necessária, capacita as aves para converter de maneira melhorada o alimento em peso, diminui a mortalidade, limita o tempo de criação em 3 a 5 dias reduzindo, assim, os custos necessários e maximizando os lucros finais dos produtores (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Bedin (2015) complementa que quanto maior o comprometimento com a implantação dessa tecnologia nos galpões, maiores e melhores serão os resultados, devendo os produtores focar em instalações completas, com programas de luz e ventilação precisos e não na adaptação do sistema.

## 2.7 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

### **2.7.1 Payback Descontado (PBD)**

Uma das maneiras de se realizar a análise econômica de um estudo, ou investimento, é por meio do cálculo do *Payback* Descontado (PBD). Esse termo consiste na determinação da quantidade de tempo (meses ou anos) necessária para que o investimento do projeto seja totalmente recuperado. Compõe-se de um método simples de verificação se o prazo de recuperação está dentro do período esperado pelo investidor (CARLI, 2016).

O PBD é também interpretado como um indicador de risco quando considerada a relação deste com a vida útil do projeto (N). Sendo assim, quanto menor for o valor obtido, melhor será o projeto a ser investido. Em contrapartida, se o *payback* resultar em um valor alto, tem-se que a execução do investimento apresentará também um risco elevado (LIMA *et al.*, 2013).

Dacroce (2017) analisou economicamente a viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico para atender a demanda de uma propriedade rural avícola, a partir do cálculo do PBD. Considerando o tempo máximo do projeto, o tempo de garantia do fabricante das placas fotovoltaicas (25 anos), o projeto se apresentou viável economicamente com o tempo de retorno por meio do *PayBack* Descontado de 19 anos, porém, mesmo assim não o considerou atraente devido a falta de sucessão familiar. Steffens (2017) também avaliou economicamente a implantação de um sistema de gerador fotovoltaico em uma propriedade rural a partir do cálculo do PBD, exibindo resultados atraentes, pois em apenas 6 anos obteve o investimento inicial resgatado.

### **2.7.2 Valor Presente Líquido (VPL)**

Outro cálculo necessário para se realizar uma viabilidade econômica é o Valor Presente Líquido (VPL), quando são convertidos todos os valores de despesas e receitas para o instante inicial, com o desconto do fluxo de caixa líquido para cada período futuro que será gerado em toda a vida útil do projeto. Pode ser definido também como a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos tendo definida uma taxa de desconto. Para o investimento ser

economicamente viável, o VPL precisa ser apresentado maior que zero (positivo), quanto maior o VPL, melhor o projeto (SILVA E FONTES, 2005).

Pozzobon *et al.*, (2018) realizaram um estudo para instalação de um sistema fotovoltaico conectado a rede quando a avaliação da viabilidade econômica contava com o somatório do VPL, considerando 3 propostas diferentes. Em seus resultados, a segunda proposta apresentou o maior valor de VPL (R\$ 70.212,00) e, portanto, foi a mais atrativa economicamente. Baldin (2013) adotou o cálculo de VPL para analisar economicamente o aproveitamento energético da cama de aviário, a partir de quatro configurações diferentes, visto que a primeira e a segunda configuração se apresentaram inviáveis economicamente por exibirem valores de VPL negativos (-R\$ 67.474,20 e -R\$ 173.762,25) e a terceira e a quarta configuração manifestaram viabilidade econômica, pois contaram com valores de VPL positivos (R\$ 8.360,25 e R\$ 692,56). Entre essas duas últimas, a opção mais viável para o investimento foi a terceira configuração, com o VPL maior.

### **2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)**

A Taxa Interna de Retorno (TIR), considerada como a taxa de juros que iguala o valor presente das entradas (recebimentos) com o das saídas (pagamentos) previstas de caixa, utilizada quando ocorre mais de um pagamento ou recebimento, ou quando não há uniformidade nas parcelas. O projeto é economicamente viável quando a TIR é maior que o custo de capital. Para calcular a TIR faz-se que o VPL seja igualado a zero, matematicamente (PEREIRA E ALMEIDA, 2008).

Lima *et al.*, (2013) utilizaram da TIR como indicador de risco em sua análise econômica da implantação da UBS/TSI em uma cooperativa agropecuária, onde consideraram sua Taxa Média de Atratividade (TMA) de 1,53% mensal (20% anual). Acatando que encontrou uma TIR de 3,93% ao mês, esse investimento apresentou um risco médio, medido pela distância entre a TMA e a TIR. Barros *et al.*, (2009) analisaram a viabilidade econômica de sistemas de produção de cordeiros, comparando quatro configurações, utilizando da TIR. Em seus resultados, constatou valores de 1,4%; 4,3%; 2,1% e -2,3% para cada uma das configurações respectivamente, que quando comparados com a TMA de 6%, não apresentaram viabilidade econômica em nenhum dos casos.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS.

#### 3.1 MATERIAL

##### 3.1.1 Localização do estudo

O experimento foi realizado em uma propriedade rural localizada no interior de Tupãssi – PR. A instalação fotovoltaica que foi analisada neste estudo se encontra já instalada, com data de instalação de dezembro de 2017, em um aviário de frangos de corte, sendo que esta gera energia suficiente para alimentar o aviário em questão e um segundo módulo de confinamento, idêntico ao primeiro (Figura 07).



Figura 07– Aviários analisados em estudo (a) e painéis fotovoltaicos (b) (Fonte: AUTOR, 2018).

Os aviários se encontram nas coordenadas geográficas latitude 24° 43' sul e longitude 53° 30' oeste (Figura 08), a uma distância aproximada de 15 km do centro de Tupãssi - PR. Pela classificação Köppen, a climatologia local é Cfa, caracterizada em subtropical e úmida, possuindo as estações bem demarcadas por conta da variação regular das temperaturas ao longo do ano. Sendo nos meses mais quentes as médias de temperatura acima de 20°C e nos meses mais frios entre -3°C e 18°C (IAPAR, 2018).



Figura 08 – Vista aérea da localização dos aviários analisados em estudo (em destaque) (Fonte: GOOGLEMAPS, 2018)

Os dados da Figura 09 são da irradiância solar no plano horizontal no município de Tupãssi – PR, 24° 35' 16" Sul (S) e 53° 30' 42" Oeste (W), calculado por meses no ano, considerando as médias mensais dos últimos 20 anos, com irradiância média anual de 4,82 kWh m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> (SUNDATA, 2018).

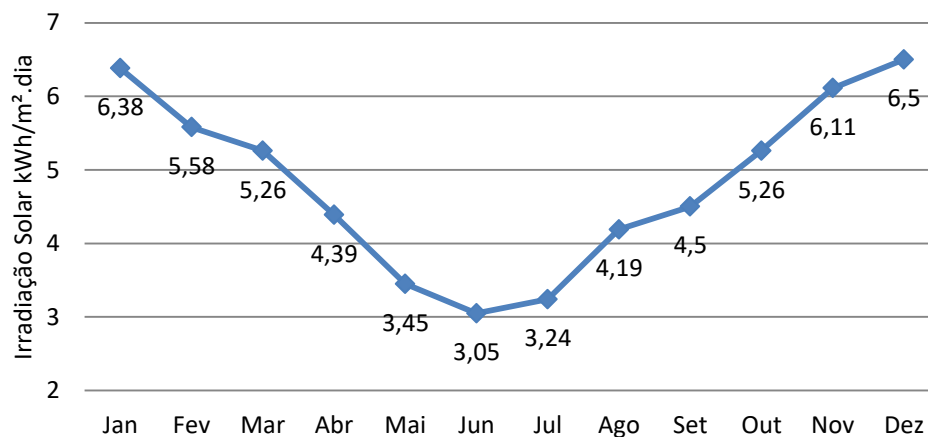


Figura 09 – Irradiância média solar no plano horizontal de Tupãssi – PR nos meses do ano (Fonte: Adaptado de SUNDATA, 2018)

### 3.1.2 Instalação Fotovoltaica

O acomodamento fotovoltaico tem capacidade de 75 kW, potência de 45,27 kW e conta com três inversores de modelo PHB25K-DT nomeados de: A, B e C, com vida útil de 10 anos (Figura 10).



Figura 10 – Inversores modelo PHB25K-DT da marca PHB e suas nomenclaturas (Fonte: AUTOR, 2018)

As especificações de cada inversor são apresentadas na tabela 01:

Tabela 01 – Especificações Técnicas dos Inversores

Modelo	PHB25K-DT
Tensão C. C. Máxima	1000V <sub>CC</sub>
Faixa de Operação SPMP	260 ~ 850 V <sub>CC</sub>
Corrente C. C. Máxima	Pv1 = 27A, Pv2 = 27A
Potência C. A. Nominal	25kW
Tensão C. A. Nominal	380/220V <sub>CA</sub>
Frequência Nominal	60Hz
Corrente C. A. Máxima	37A
Número de strings em paralelo/MPPT	6/2 (permite paralelar)
Grau de Proteção (IP)	IP65
Fator de Potência	~1 Potência Nominal 0.9CAP./0.9IND.
Temperatura de Operação	-25 ~ 60°C (Derate em 45°C)

Fonte: PHB (2018)



Os 230 módulos fotovoltaicos presentes na instalação são do modelo CS6U-325W da marca Canadian Solar, fabricados no Canadá com vida útil de 25 anos. As informações técnicas estão descritas na Tabela 02, de acordo com o fabricante:

Tabela 02 – Especificações Técnicas dos Módulos

Modelo	CS6U - 325M
Potência Nominal Máxima	325 W
Tensão Operacional Ótima (T <sub>mp</sub> )	37,4 V
Corrente Operacional Ótima (I <sub>mp</sub> )	8,69 A
Tensão de Circuito Aberto (T <sub>oc</sub> )	45,8 V
Corrente de Curto-Circuito (I <sub>sc</sub> )	9,21 A
Eficiência do Módulo	16,72%
Temperatura Operante	-40°C ~ + 85°C
Tensão Máxima do Sistema	1000 V
Tipo de Célula	Policristalina, 6 polegadas
Arranjo das Células	72 (6 x 12)
Dimensões	1960 x 992 x 40 mm
Peso	22,4Kg
Cobertura Frontal	3,2 mm de vidro temperado
Material da Moldura	Liga de alumínio anodizado

Fonte: CANADIAN SOLAR (2016)

O arranjo desse sistema fotovoltaico está representado na figura Figura 11:

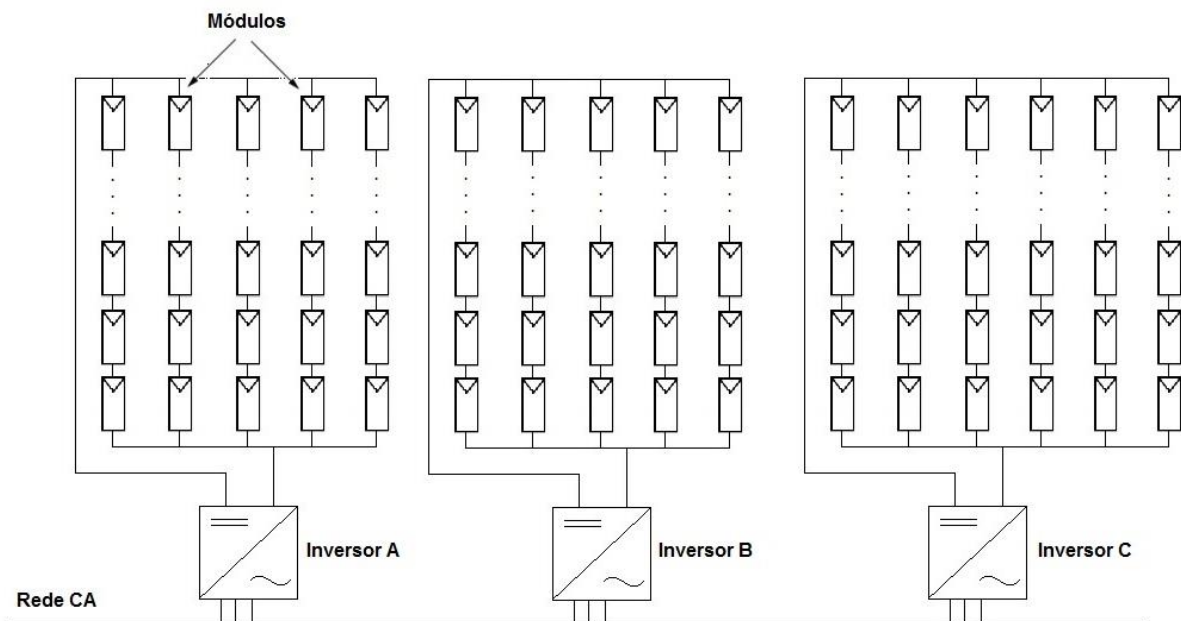


Figura 11 – Arranjo fotovoltaico do sistema fotovoltaico instalado nos dois aviários (Fonte: AUTOR, 2019)

Os dois primeiros inversores (A e B) convertem CC em CA de 70 módulos, arranjados em 5 strings de 14 placas cada, para ambos. E o último inversor (C) trabalha com 90 módulos, arranjados em 6 strings de 15 placas cada.

### 3.1.3 Aviários

Os dois módulos de confinamento são idênticos e do tipo *Dark House* com sistema de pressão negativa, com capacidade para 35 mil aves cada. Suas dimensões são de 16m de largura e 150m de comprimento, totalizando uma área de 2.400m<sup>2</sup> e possuem pé-direito de 2,20m, localizados na orientação cartográfica Leste-Oeste (Figura 09).

Ambos os galpões de confinamento contêm 5 sistemas operacionais alimentados por energia elétrica, são eles:

1. Sistema de luminosidade que abrange 230 lâmpadas de LED de 7 W, todas dimerizáveis, variando a sua intensidade de acordo com a necessidade das aves (Figura 13).
2. Sistema de bombeamento e distribuição de água constituído de reservatório elevado alimentado por um poço semiartesiano de 188m de profundidade e bomba submersa, sendo esta de 5 CV trabalhando de acordo com o nível de água presente no reservatório estipulado pela boia elétrica (Figura 13).
3. Sistema de ventilação determinador da qualidade do ar interior, composto por 13 exaustores laterais, 7 em cada lado, de 2 CV cada, localizados na extremidade final dos aviários (Figura 12).



Figura 12 – Exaustores laterais (em destaque) (Fonte: AUTOR, 2018)

4. Sistema de fornecimento de ração que integra 5 transportadores helicoidais de 1 CV, ponderado pela quantidade de ração já presente nos pratos (Figura 13).



Figura13 – Sistemas de iluminação, distribuição de água e de ração. (Fonte: AUTOR, 2018)

5. Sistema de resfriamento com 2 *padcoolings*, sendo um lateral e um frontal, em cada aviário. A pressurização do sistema é proporcionada por uma bomba centrífuga tipo booster de 5 CV (Figura 14).



Figura 14: *Padcooling* frontal (a) e lateral (b). (Fonte: AUTOR, 2018)

## **3.2 METÓDOS**

### **3.2.1 Descrição do experimento**

Nesta dissertação foi aplicada a metodologia de comparação de dados avaliados com resultados existentes, complementando-se por uma análise econômica dos sistemas propostos, somado as visitas realizadas para identificação de fatos e fenômenos, registro fotográfico, inventário da totalidade de tipos de cargas elétricas utilizadas nos galpões agrícolas e seu programa de operação, além de entrevistas com os operadores e gestores.

O estudo foi realizado em um sistema fotovoltaico já instalado que alimenta dois módulos de confinamento e, sendo assim, foi possível ter acesso aos dados de produção e consumo presente nas faturas de energia elétrica e dispostos no site virtual do fabricante, além da verificação das características de construção, tanto dos aviários quanto dos painéis fotovoltaicos, que influenciaram nas avaliações. Ambos os galpões estão na configuração *Dark House*, sendo esta a mais favorável a este estudo, uma vez que possui utilização intensiva de energia elétrica em razão da grande quantidade de elementos que a necessitam e possui também a melhor rentabilidade dentre os outros os tipos de aviários adotados na região.

Após as avaliações *in loco*, foram recolhidos os dados das faturas mensais de energia elétrica, o consumo de energia, os picos de demanda e o balanço energético total, classificados conforme com a data da instalação dos painéis.

### **3.2.2 Monitoramento de geração de energia elétrica do sistema fotovoltaico instalados nos aviários**

O site virtual do fabricante dos inversores (PHB) disponibiliza aos seus clientes um sistema de monitoramento em tempo real, que apresenta a geração de energia elétrica em kWh realizada pelos módulos fotovoltaicos de maneira diária, mensal e anual. Para a avaliação da capacidade de geração dos módulos foram recolhidos estes dados e dispostos em forma de gráfico, separados por dia típico de céu aberto durante o verão e dia típico de céu aberto durante o inverno, com o objetivo de fazer uma comparação entre ambos e verificar se há perda de produção nos meses com menor irradiância solar (inverno) e de quanto seria essa perda.

### **3.2.3 Avaliação da variação de geração fotovoltaica em função dos meses do ano**

A partir do site de monitoramento também foram reunidos os dados da média mensal da geração de energia elétrica durante um ano, visando comparar essas médias com os valores da irradiância solar local para verificar se há correlação entre os dados.

### **3.2.4 Determinação dos custos iniciais de instalação do sistema fotovoltaico**

Para quantificar os custos necessários para instalar o sistema fotovoltaico foram considerados todos os custos iniciais do produtor, que incluíram: 230 módulos fotovoltaicos, 3 inversores, 16 *String Box*, junção para perfil de alumínio, estrutura de alumínio adequada ao telhado, material elétrico, serviços de instalação do sistema, projeto solar fotovoltaico, acompanhamento junto a distribuidora, monitoramento do sistema via web. Além disso, determinou-se qual o método de pagamento e financiamento realizado.

### **3.2.5 Determinação dos custos da fatura de energia elétrica antes e após a instalação do sistema fotovoltaico**

Foram recolhidos os dados de consumo com as faturas de energia elétrica mensais, disponibilizadas pela concessionária local, de um ano antes da data da instalação dos painéis e um ano após, ou seja, o intervalo de janeiro de 2017 até dezembro de 2018. Este período foi escolhido visando comparar os gastos antes e depois de instalados os módulos fotovoltaicos, verificando se houve economia e se os painéis fotovoltaicos instalados suprem a demanda energética dos aviários DarkHouse em todos os meses do ano.

### **3.2.6 Avaliação da viabilidade econômica do sistema fotovoltaico instalado**

Nem sempre as alternativas tecnológicas estão aliadas com a melhor economia financeira, uma vez que estas dependem de altos valores de investimentos que podem, em alguns casos, não retornarem ao investidor durante um período de tempo favorável (BALDIN, 2013). Para realizar a avaliação da viabilidade econômica desse sistema fotovoltaico, foi utilizada a Matemática Financeira, com ferramentas de Engenharia Econômica, optando-se por empregar uma análise econômica simplificada, amplamente utilizada dentre os pesquisadores, composta de três indicadores: VPL, TIR e PBD.

Para cálculo do Valor Presente Líquido, foi utilizada equação a seguir dada por Baldin (2013):

$$VPL = \sum_0^x Fx (1 + TMA)^{-x}$$

Onde:

*VPL*: Valor Presente Líquido;

*x*: número de períodos em cada elemento de receitas e despesas do fluxo de caixa;

*F<sub>x</sub>*: valores envolvidos no fluxo de caixa líquido;

*TMA*: taxa mínima de atratividade.

Já para ser encontrado o *Pay Back* Descontado (PBD) a equação utilizada foi a mesma apresentada por LIMA *et al.* (2013) expressa da seguinte maneira:

$$PBD = \frac{\ln\left(\frac{U}{U - vp.TMA}\right)}{\ln(1+TMA)}$$

Onde:

*U*: retorno líquido anual do investimento (R\$);

*vp*: valor presente (R\$);

*TMA*: Taxa Mínima de Atratividade (decimal).

Por fim, a Taxa Interna de Retorno (TIR) foi calculada a partir da equação que segue, empregada por Pereira e Almeida (2008):

$$I_0 - \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1+TIR)^i} = 0$$

Onde:

*TIR*: Taxa Interna de Retorno (decimal);

*I*<sub>0</sub>: investimento inicial (R\$);

*n*: vida útil do projeto (anos);

*FC*: fluxo de caixa por período.

## 4. RESULTADO E DISCUSSÕES

### 4.1 GERAÇÃO ELÉTRICA

#### 4.1.1 Monitoramento de geração de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos

Nas Figuras 15, 16 e 17 está representado o potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários de um dia de céu aberto (dia típico). Os gráficos apresentam separadamente os valores dos três inversores (A, B e C) classificados por cores diferentes. Os valores são coletados pelo site de monitoramento a cada 10 minutos durante o dia todo. Foram escolhidos três dias que apresentaram curvas mais características de potência a título de exemplo dos meses com menor produção (inverno), sendo os dias: 08/06/2018, 19/06/2018 e 14/07/2018.

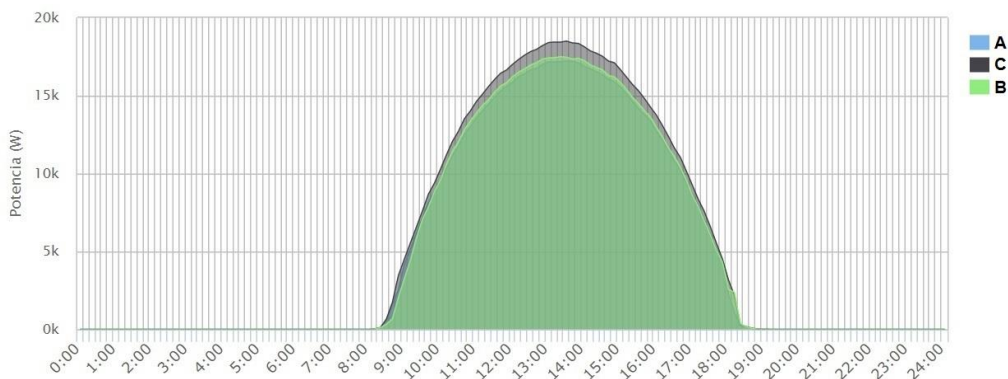


Figura 15 – Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - inverno (08/06/2018) (Fonte: PHB, 2019)

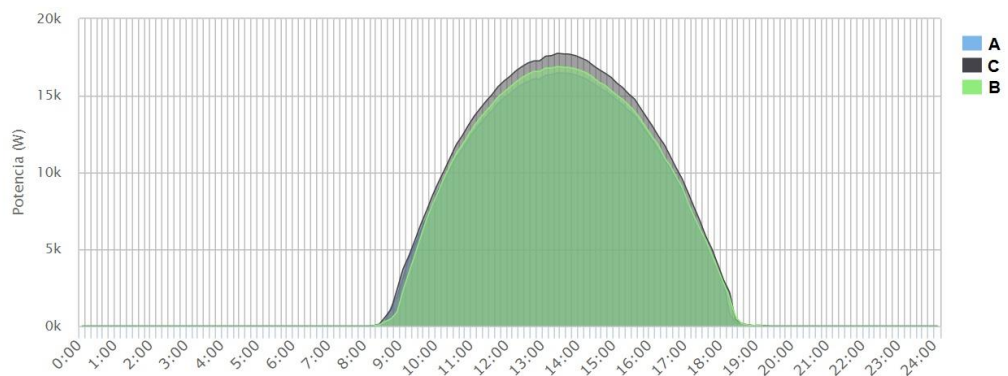


Figura 16 – Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - inverno (19/06/2018) (Fonte: PHB, 2019)



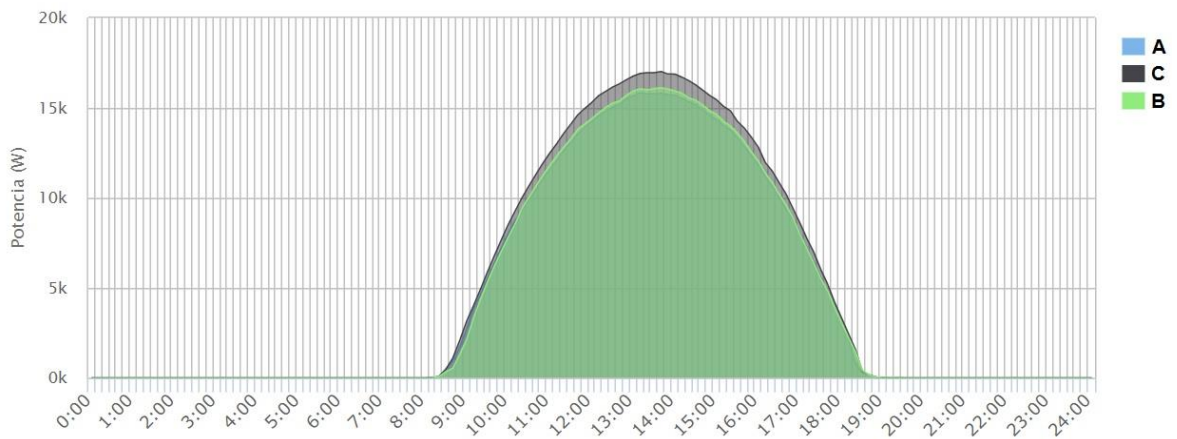


Figura 17 – Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - inverno (14/07/2018) (Fonte: PHB, 2019)

No dia 08/06/2018, o pico da geração de potência para os três inversores é encontrado às 13h30 sendo: 17,19 kW para o inversor A; 18,46 kW para o inversor C e 17,54 kW para o inversor B, somando um total de 53,19 kW. O inversor C sempre apresenta produção maior, pois conta com 20 painéis fotovoltaicos a mais que os outros dois inversores. Para os três, o horário que começa a produção de energia é às 8h20, terminando às 18h20, contando com 10 horas de irradiação solar. Nos dias 19/06/2018 e 14/07/2018, os picos das gerações também se dão às 13h30 e o nascer e o pôr-do-sol são no mesmo horário, contando assim, com a mesma quantidade de horas de irradiação para os três dias.

Variam somente os valores da quantidade de energia elétrica produzida. A soma da produção dos três inversores do primeiro dia foi de 51,04 kW e do segundo dia foi de 48,83 kW. Considerando a média entre esses dias, um dia típico de céu aberto de inverno tem sua produção do horário de pico em 51,02 kW.

Já nas Figuras 18, 19 e 20 apresenta-se o potencial de geração do sistema fotovoltaico em um dia típico de céu aberto para os meses de maior produção (verão). Da mesma maneira que no inverno, foram escolhidos três dias que apresentaram suas curvas de potência de maneira mais característica, sendo: 03/02/2018, 04/02/2018 e 22/02/2018.

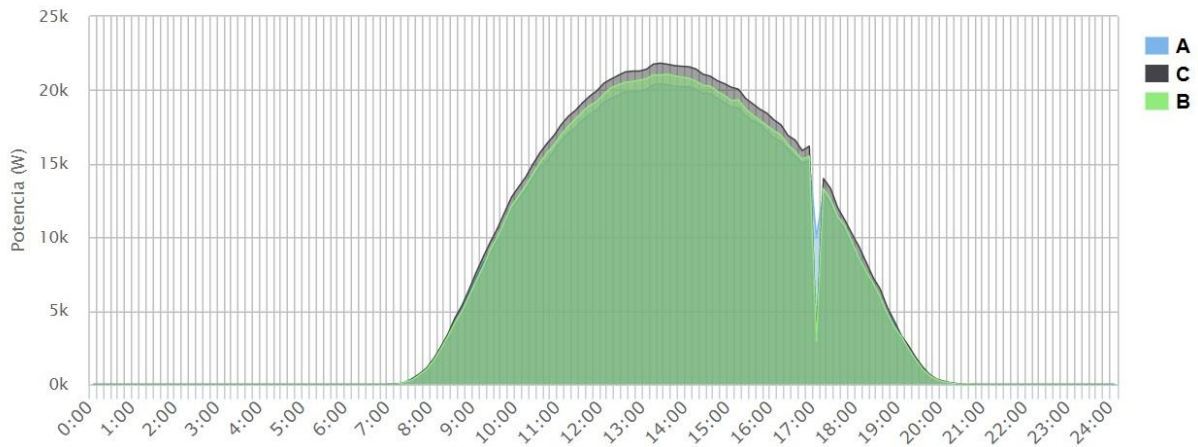


Figura 18 - Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - verão (03/02/2018) (Fonte: PHB, 2019)

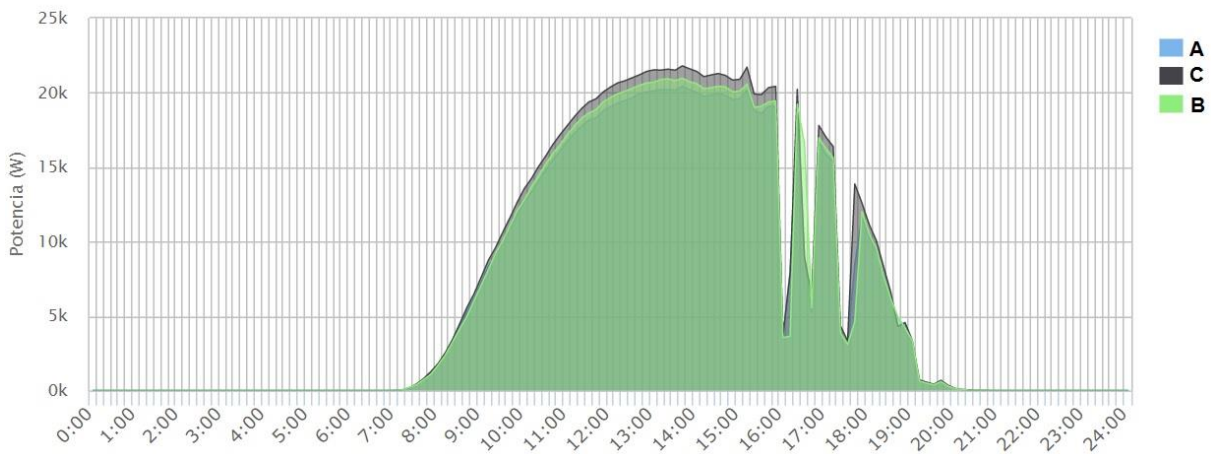


Figura 19 - Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - verão (04/02/2018) (Fonte: PHB, 2019)

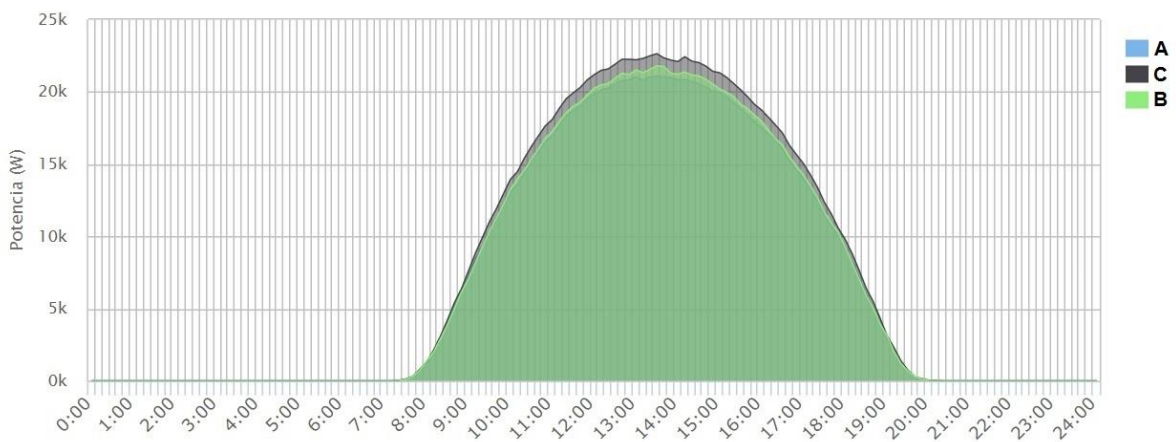


Figura 20 - Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia típico de céu aberto - verão (22/02/2018) (Fonte: PHB, 2019)

Observa-se que no verão pode se comprovar que a irradiância solar tem início, término e consecutivamente quantidade de horas diferentes que no inverno, tendo início às 7h30 e término às 19h40 para os três dias escolhidos, totalizando 12 horas e 10 minutos de produção de energia elétrica por dia. Os picos de geração elétrica para os dias 03/02/2018 e 22/02/2018 é o mesmo dos dias de inverno às 13h30, apenas para o dia 04/02/2018 o pico da geração variou, se dando às 13h50, isso se deve ao fato que às 13h30 desse dia, embora o sol estivesse a pino, o céu não estava totalmente aberto, alterando o horário de maior produção.

Quanto à quantidade de energia produzida no horário de pico: no dia 03/02/2018 a soma dos três inversores apresentou 63,21 kW, no dia 04/03/2018 foi de 62,54 kW e no dia 22/02/2018 foi de 65,18 kW. Considerando a média dos três dias, a quantidade de energia elétrica gerada no horário de pico para um dia típico de céu aberto durante o verão é de 63,64 kW.

Se comparados os dias típicos de inverno e verão tem-se que a irradiância solar é mais longa no verão em 2 horas e 10 minutos, sendo que o sol nasce 50 minutos antes e se põe 1 hora e 20 minutos depois. Em relação à produção de energia elétrica, no verão são gerados 12,62 kW a mais que no inverno durante o horário de pico. No anexo 01 e anexo 02 se encontram gráficos representando um dia de céu fechado para o mês de inverno e para o mês de verão.

#### **4.1.2 Geração fotovoltaica em função dos meses do ano**

Os dados das médias mensais da geração de energia elétrica a partir dos módulos fotovoltaicos estão representados na Figura 21. Observa-se que o mês com a maior produção de energia elétrica foi abril com 10789 kWh, sendo este valor a soma da produção dos três inversores (A, B e C), já o mês com o menor rendimento foi junho, contando com a soma dos inversores em apenas 5.162 kWh.

Levando-se em consideração os dados da Figura 09, o mês com maior irradiância média solar no plano horizontal no município de Tupãssi – PR é dezembro e o mês com a menor irradiância junho. Considerando que a irradiância solar é fator determinante para a produção de energia solar a partir de painéis fotovoltaicos, é verificado que apenas para o mês de junho ocorreu a menor geração.

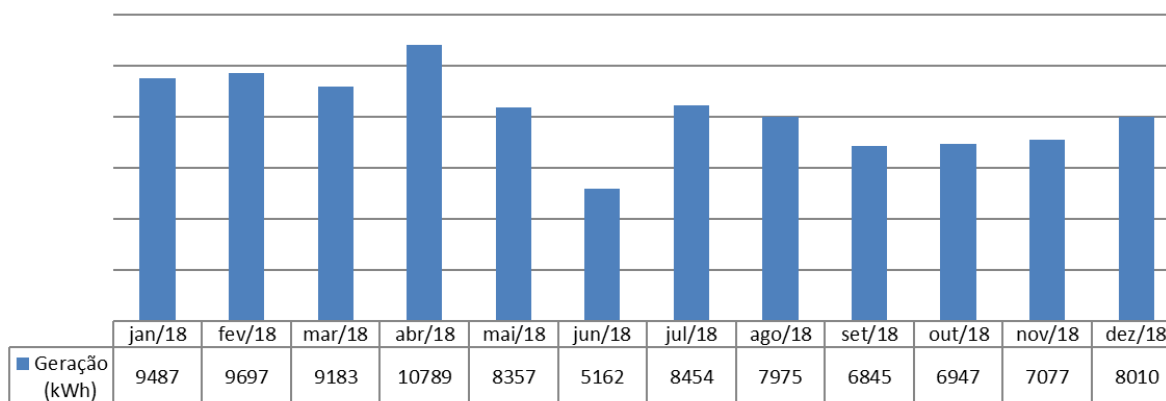


Figura 21 – Média mensal da energia elétrica (kWh) produzida pelos três inversores (A, B e C) durante o ano de 2018 (Fonte:PHB, 2019)

Quando se verifica a produção de energia elétrica no mês de dezembro de maneira diária é possível visualizar que em alguns dias não houve produção alguma (dia 1, 6, 15 e 16) e em alguns dias a produção foi quase inexistente (dia 5 e 30), uma vez que nesses dias o céu se apresentou fechado. Nos demais dias a geração de energia elétrica pelos painéis foi apenas de maneira parcial, terminando antes do horário esperado ou começando depois, devido novamente as chuvas e céu fechado.

Além disso, até o dia 10 o inversor C não teve produção alguma devido a uma falha no aparelho. Isso afetou consideravelmente a produção mensal uma vez que o inversor C é o que sempre apresenta a maior produção, pois consta com mais módulos solares que os outros. Os gráficos que apresentam essas informações referentes ao mês de dezembro se encontram nos anexos 03 e 04.

De acordo com os dados fornecidos pelo IAPAR (2019), a média histórica de dias que apresentam céu fechado, tanto parcial como totalmente, presentes durante os meses do ano, em Tupãssi – PR, bem como a quantidade de horas de sol, no período de 1973 a 1997, representado na Tabela 03:

Tabela 03 – Médias históricas de dados meteorológicos do período de 1973 a 1998 do município de Tupãssi – PR

<b>Mês</b>	<b>Dias fechados</b>	<b>Horas de Insolação</b>	<b>Porcentagem de Insolação</b>
Jan	14	224,3	30,15
Fev	13	193,7	28,82
Mar	12	216	29,03
Abr	10	202,3	28,10
Mai	10	196,5	26,41
Jun	10	183,9	25,54
Jul	8	209,7	28,19
Ago	8	202,8	28,17
Set	10	179	24,06
Out	12	203,7	28,29
Nov	11	223,9	31,10
Dez	12	226,4	30,43

(Fonte: Adaptado de IAPAR, 2019).

Verifica-se que no mês de dezembro, mês esse com a maior irradiância solar, tem-se que a média de dias de céu fechado é de 12 dias, diferentemente do encontrado em dezembro de 2018, onde todos os 31 dias apresentaram dias apresentaram céu fechado, sendo durante o dia todo ou em apenas uma parcela do dia, uma vez que os dados recolhidos pelos inversores durante esse mês não apresentam em nenhum dia uma curva característica. Os gráficos que apresentam essas informações referentes ao mês de dezembro de 2018 estão nos anexos 03 e 04.

Sendo assim, é verificado que o ano de 2018 foi um ano atípico, pois apresentou em seu mês de maior irradiância solar quantidades significativamente menores de dias com céu aberto, além do erro de um erro no inversor C, e consecutivamente, uma produção de energia elétrica menor.

#### **4.1.3 Simulação da geração de energia elétrica para um ano típico**

Para realização dos cálculos de viabilidade econômica, não foi possível utilizar como base os dados encontrados de geração de energia elétrica pelos módulos fotovoltaicos instalados nos aviários no ano de 2018, pois este se apresentou como um ano divergente. Portanto, para os anos seguintes ao longo da vida útil do projeto, simulou-se a quantidade de energia elétrica produzida a partir das médias de irradiância solar mensais de Tupãssi – PR disponibilizadas pelo SUNDATA (2018) da Figura 10.

Para este cálculo foi considerado a potência dos painéis solares (325 W), a quantidade de módulos fotovoltaicos instalados (230), a quantidade de dias de cada mês do ano, as médias de irradiância solar do SUNDATA e uma taxa de desempenho de 80% dos painéis, valor este disposto por Pinho e Galdino (2014).

Desta maneira, os valores mensais de produção de energia elétrica a partir dos módulos fotovoltaicos simulados pelas médias de irradiância estão dispostos na Figura 22:

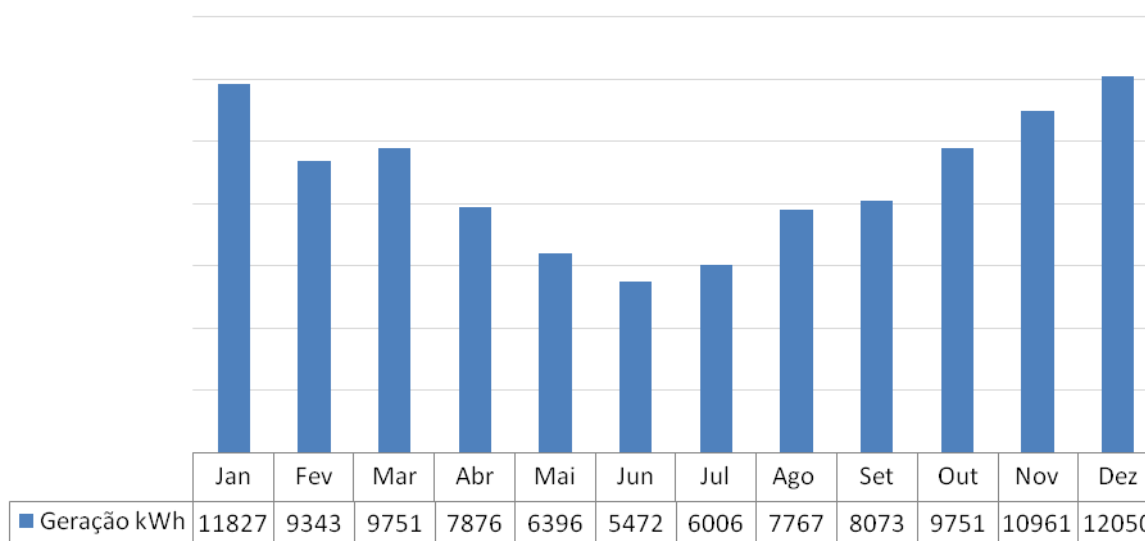


Figura 22 – Geração de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos simulada a partir das médias de irradiância solar local (Fonte: AUTOR, 2019)

Quando comparadas as figuras 21 e 22 verifica-se que a produção do ano de 2018 foi menor, sendo a sua média de produção de 8.165 kWh e a produção média anual de um ano típico seria de 8.772 kWh, apresentando uma diferença de produção de 607 kWh a mais mensalmente. A maior discrepância está no mês de dezembro, com uma diferença de geração de energia de 4.040 kWh entre o ano de 2018 e um ano típico.

## 4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA

### 4.2.1 Custos com as faturas de energia elétrica mensais

Na Figura 23 estão apresentados os valores dos custos mensais com as faturas de energia elétrica e o consumo em kWh mensal durante o ano de 2017.

Observa-se que os gastos com eletricidade para os aviários referentes a este estudo antes da instalação dos painéis fotovoltaicos variava entre R\$ 1.679,91 (mês de agosto) a R\$ 5.513,07 (mês de dezembro), tendo como média um valor de R\$ 3.063,59. Já o consumo variou entre 5.125 kWh e 15.129 kWh, com média de 8.559,54 kWh.

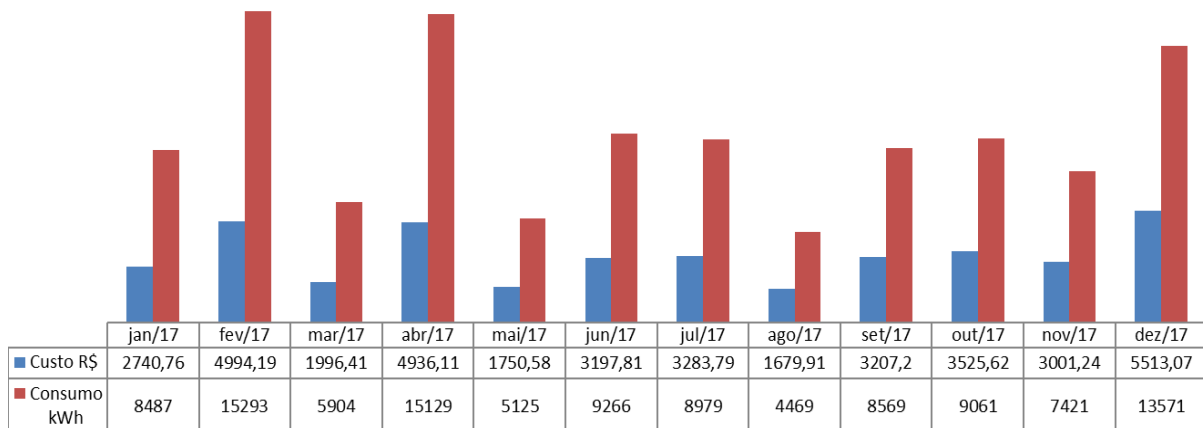


Figura 23 – Custos mensais (R\$) com energia elétrica e seu consumo mensal (kWh) durante um ano antes da instalação dos painéis fotovoltaicos (Fonte: AUTOR, 2019)

Em sequência, a Figura 24 dispõe dos dados obtidos através das faturas elétricas em reais e o consumo em kWh, ambos mensalmente durante o ano seguinte, já com os painéis fotovoltaicos instalados. É possível notar uma diferença significativa entre os valores de 2017 e 2018, sendo que em 2018 os custos variaram de R\$ 31,60 (mês de maio) a R\$ 2.689,57 (mês de novembro), resultando em uma média de R\$ 588,27.

Embora os valores do consumo de energia elétrica dos dois anos avaliados não sejam tão distintos, os valores cobrados por estes são, isso se deve ao fato de que a concessionária local desconta nas faturas a quantidade de kWh que foi produzida pelos painéis fotovoltaicos, chamada de “compensação”, cobrando apenas pela parcela de energia elétrica em kWh consumida pelos aviários que não foi possível gerar pelos módulos solares. Por exemplo, em março de 2017 o consumo de eletricidade dos aviários foi de 5.904 kWh, valor parecido com o consumo de outubro de 5.835 kWh, embora em março de 2017 tenha sido cobrado um valor de R\$ 1.996,47, em outubro de 2018 cobrou-se apenas R\$ 197,04. O valor

cobrado em outubro de 2018 pela concessionária foi apenas de uma parcela desse consumo total.

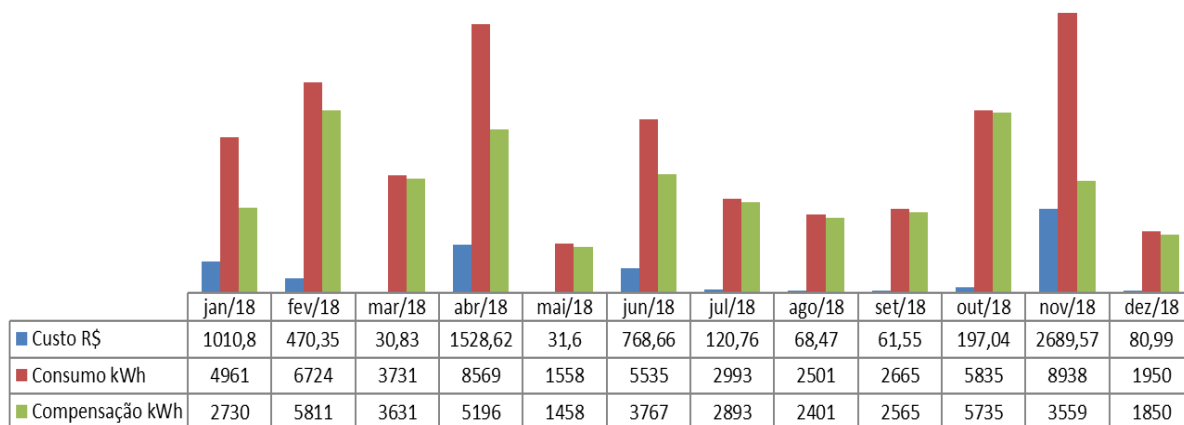


Figura 24 – Custos mensais (R\$) com energia elétrica e seu consumo mensal (kWh) durante um ano depois da instalação dos painéis fotovoltaicos (Fonte: AUTOR, 2019)

Com isso, os meses de março, maio, julho, agosto, setembro, outubro e dezembro são referentes apenas uma taxa mínima cobrada pela concessionária no valor referente à 100 kWh, isto é, nestes meses a produção de energia elétrica pelos painéis foi 100% satisfatória, ou até mesmo excedente ao requisitado pelos aviários e não houve a necessidade de comprar nenhum kWh a mais da concessionária. Sendo assim, 7 dos 12 meses do ano apresentaram auto-suficiência em relação a produção de energia elétrica pelos módulos solares.

Quando comparados os custos de 2017, um ano antes da instalação, e 2018, um ano depois da instalação, verifica-se uma divergência entre os valores significativa. Enquanto em 2017 o produtor teve um custo total anual de R\$ 39.826,69, em 2018 esse custo reduziu para R\$ 6.636,71, gerando uma economia de R\$ 33.189,98 anuais. Se levado em consideração os gastos com faturas de energia elétrica, o produtor está economizando uma média mensal de R\$ 2.765,83.

Se a produção tivesse suprido a demanda em todos os meses do ano, teria sido pago apenas as taxas de 100 kWh cobradas pela concessionária e a economia ao longo do ano disporia de um valor de R\$ 38.999,83. Nos anexos 05 e 06 se apresentam as tabelas com todos os dados de custos mensais com as faturas elétricas utilizados para realização dos gráficos de 2017 e 2018.



#### 4.2.2 Custos com faturas de energia para um ano típico simulado

Considerando a produção de energia simulada para um ano típico na Figura 25, a demanda elétrica dos aviários mensal e o valor cobrado pela concessionária local por 1 kWh de cada mês do ano, foi possível calcular quais seriam os custos de faturas de energia para um ano típico. Na figura 25 estão apresentados os valores encontrados:



Figura 25 - Custos mensais (R\$) com energia elétrica e seu consumo mensal (kWh) durante um ano típico (Fonte: AUTOR, 2019)

Da mesma maneira que na Figura 24, a Figura 25 apresenta os custos de fatura de energia mês a mês para o ano típico, o consumo em kWh, ou seja, a demanda energética dos aviários e por fim a compensação em kWh, que seria a produção de energia elétrica feita a partir dos módulos fotovoltaicos instalados e dessa maneira, seria a parcela em que não foi necessário se pagar a concessionária local.

Durante o ano típico simulado, os meses nos quais a produção de energia elétrica supriria toda a demanda dos aviários e consecutivamente seria necessário pagar apenas a taxa mínima exigida pela ANEEL em sistemas trifásicos de 100 kWh são: janeiro, fevereiro, março, maio, julho, agosto, setembro, outubro e novembro. Ou seja, apenas nos meses de abril e junho, a produção não atingiria a demanda dos aviários, sendo uma geração de energia elétrica suficiente para 10 dos 12 meses. Somando os custos mensais, o produtor teria em um ano típico de produção um custo anual com faturas de energia elétrica de R\$ 1.079,80. Quando comparado esse custo com o custo anual com as faturas de 2017 temos uma economia de R\$ 38.746,89 anual.

### 4.2.3 Custos com a instalação do sistema

O custo inicial da instalação é o montante investido relacionado aos custos dos equipamentos, materiais utilizados e mão-de-obra. O orçamento gerado pela empresa responsável pela instalação dispõe de uma lista com os aparatos utilizados, bem como sua instalação, apresentados na Tabela 04, já considerando os impostos e o lucro da empresa.

Tabela 04 – Custos dos materiais, projetos e instalação do sistema fotovoltaico

<b>Qtde</b>	<b>Item</b>	
230	Painel Solar Fotovoltaico Canadian Solar CS6U - 325M	
3	Inversor PHB Grid-Tie PHB25K-DT	
2	String Box 5 entradas/1 saída	
1	String Box 6 entradas/1 saída	
1	Material Elétrico Geral	
		<b>Subtotal Materiais R\$ 375.000,00</b>
	Projetos e Documentação	
	Monitoramento Via Web	
	Instalação	
		<b>Subtotal Execução R\$ 25.000,00</b>
		<b>Total R\$ 390.000,00</b>

Fonte: EMPRESA RESPONSÁVEL (2019)

### 4.2.4 Custos com a manutenção do sistema

A geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos apresenta, entre outros benefícios, a vantagem de não necessitar de manutenção relacionada a aparatos mecânicos, pois não possui partes moveis ou girantes. A degradação nos módulos fotovoltaicos é proveniente do acúmulo de sujeira sobre estes fazendo com que a irradiância coletada diminua conforme a densidade da poeira aumenta, a manutenção se limita em apenas a limpeza dos painéis, não gerando valores com custos consideráveis aos cálculos de viabilidade financeira.

Desta maneira, considerou-se apenas o tempo de vida útil de cada peça da instalação, sendo 25 anos para os painéis solares e 10 anos para os inversores. Os cálculos econômicos foram desenvolvidos para o período de 25 anos, sendo necessário então, fazer duas trocas dos três inversores, no ano 10 e no ano 20. Nesta dissertação desconsiderou-se a inflação sobre o preço dos inversores tanto

quanto sobre os custos com os kWh nas faturas, ou seja, tanto nas despesas quanto nas receitas, não foi considerado nenhum índice de inflação, uma vez que este de anularia.

Assumindo que serão comprados inversores iguais ou semelhantes aos utilizados e sabendo que um inversor do modelo PHB25K-DT custa aproximadamente R\$ 20.250,00, segundo fabricante, os custos com os três inversores em 10 e 20 anos será de R\$ 60.750,00.

#### **4.2.5 Análise do Fluxo de Caixa**

Considerando-se que 2018 foi um ano atípico quando comparado com a média histórica local de Tupãssi – PR referente a dias de céu aberto e de céu fechado, para análise do fluxo de caixa foi considerado os anos seguintes como anos típicos, utilizando os valores de irradiância solar das médias históricas mês a mês dispostas pela SUNDATA (2018) para cálculo da produção de energia elétrica. Ademais, ocorreu um erro no inversor C durante os 10 primeiros dias de dezembro de 2018 alterando o valor da produção de energia para este mês, no cálculo dos anos seguintes desconsiderou-se que esse erro ocorreria novamente, determinando um valor de produção de energia elétrica que engloba todos os dias do mês.

Para traçar o fluxo de caixa foram considerados dos valores da instalação e da manutenção do sistema como despesas de duas maneiras distintas: primeiramente para 2018, utilizou-se como valor de receita o valor encontrado na economia de faturas de energia em relação ao ano de 2017 (R\$ 33.189,98); já para os anos seguintes considerou-se como receitas o valor encontrado com economia de faturas a partir da produção de energia elétrica simulada a partir das médias de irradiância local, dado em R\$ 38.746,89, quando comparados com o ano de 2017.

Como despesas foram consideradas: o custo inicial do investimento, parcelado ao longo dos 10 primeiros anos, com os juros do banco de 6%, e as duas trocas dos inversores, nos anos 10 e 20. Na Figura 26 está disposto o fluxo de caixa do projeto com vida útil dado em 25 anos. A tabela completa com todas as informações utilizadas para fazer esse fluxo de caixa esta apresentada no anexo 07.

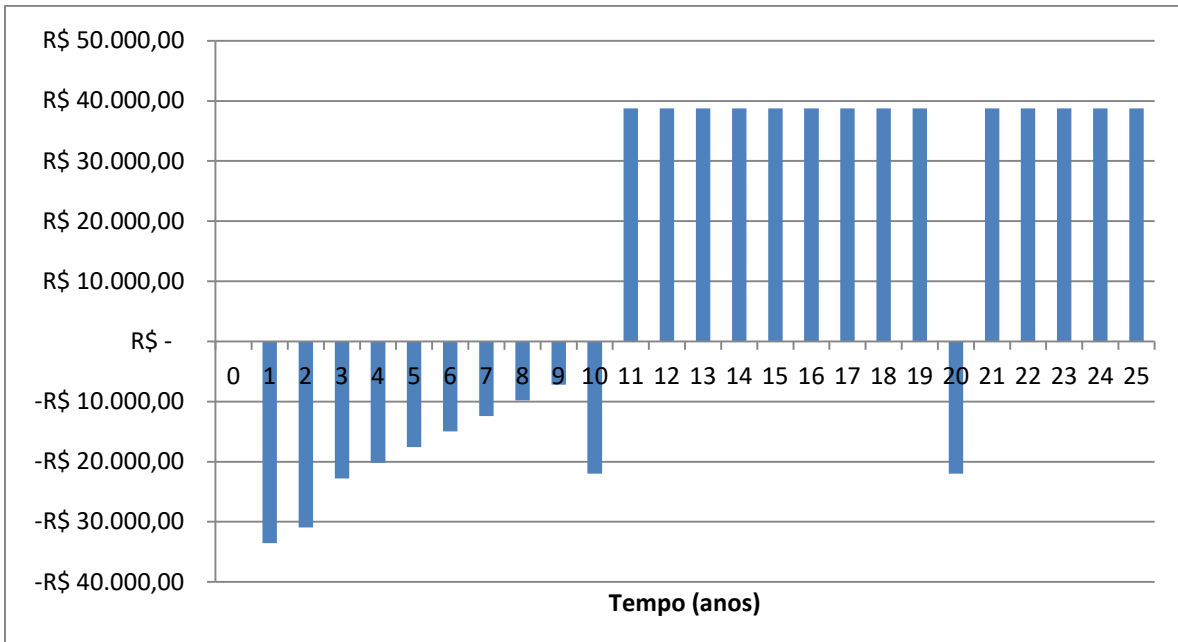


Figura 26 – Fluxo de caixa (Fonte: AUTOR, 2019)

#### 4.2.6 Análise do PBD, TIR e VPL

A partir do fluxo de caixa (Figura 26) foi possível realizar o fluxo de caixa descontado acumulado, ou o *Pay Back* Descontado, como mostra a Figura 27, considerando a TMA 6%. Para fazer este gráfico também foi utilizado os dados da tabela apresentada no Anexo 07.

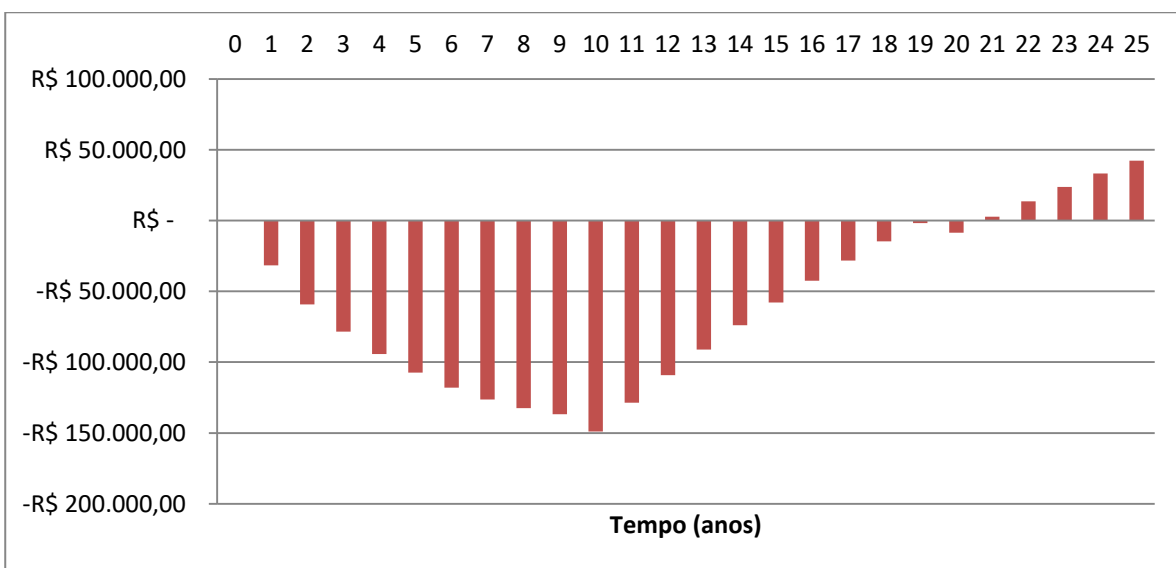


Figura 27– *PayBack* Descontado (Fonte: AUTOR, 2019).

Analisando a Figura 27 as barras cruzam o eixo temporal no ano 18. Desta maneira, evidencia-se que o investimento inicial possui seu *Pay Back* ou resgate ao décimo nono ano, contudo, a instalação do sistema fotovoltaica nos dois aviários *Dark House* não é economicamente viável, uma vez que, para ser viável é necessário que seu tempo de resgate se apresente antes da metade da vida útil do projeto.

Os outros dois índices usados para avaliar a viabilidade econômica apresentaram os resultados divergentes, para a TIR foi encontrado um valor de 8,46%, sendo maior que a TMA do projeto de 6%, justificando assim, a viabilidade econômica do projeto. Para VPL constatou-se um valor de R\$ 47.208,31, valor maior que zero, demonstrando a viabilidade econômica do investimento. Sendo assim, apenas para o índice PBD o investimento não é viável economicamente, por possuir tempo de retorno muito tardio, mas para as outras duas ferramentas de engenharia econômica utilizadas, esse projeto é viável.

Para atingir a viabilidade financeira, foi necessário simular um ano típico de produção a partir das médias de irradiância solar local. O ano monitorado durante a realização deste estudo, 2018, se apresentou como atípico, possuindo produção consideravelmente menor devido à grande quantidade de dias fechados, tanto parcial quanto completamente, principalmente durante os meses de maior produção. Se for considerado que todos os anos de vida útil do projeto se apresentem atípicos como 2018, nenhum índice de viabilidade econômica se apresentaria satisfatório, gerando um projeto totalmente inviável com PBD de 26 anos, TIR de 5,05% e VPL de R\$ 18.585,28 negativos.

Desta maneira, comprova-se a importância de se considerar a possibilidade de anos atípicos, com produção diminuta durante a vida útil do projeto e como estes podem afetar na viabilidade econômica. Neste caso, para cada ano atípico a mais que possa acontecer, ocorre um aumento no tempo de retorno de 1 ano e uma diminuição da TIR de 0,31% e do VPL de R\$ 4.945,63.

Steffens (2017) em seu experimento avaliou a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico também instalado em aviários e também considerou os gastos com os inversores pressupondo o investimento descontado. Neste estudo o autor não considerou a variabilidade do preço do kWh fazendo apenas uma estimativa, considerando o preço médio do kWh influenciado pela taxa IPCA ao longo dos anos

e considerou que os painéis fotovoltaicos irão sempre operar em sua totalidade, não sendo possível fazer uma estimativa exata da economia gerada pelos módulos solares, o que diferenciou no resultado apresentado por este estudo.

Pozzobon *et al.* (2018) também avaliaram o desempenho elétrico e financeiro de uma instalação fotovoltaica conectada à rede, porém, de maneira simulada, em Gramado – RS. Para avaliação da viabilidade econômica os autores utilizaram do software SAM, que simulou o desempenho do sistema fotovoltaico, encontrando um *Pay Back* de 9 anos e um VPL de R\$ 70.212,00, valores mais atrativos que o encontrado neste estudo. Isso se valeu ao fato que os autores não consideraram a recompra dos inversores, necessária após o término da vida útil destes.

Já Possebon e Rodrigues (2016) em sua pesquisa visando avaliar o desempenho de um SFCR em Porto Alegre – RS encontraram resultados satisfatórios parecidos com o deste estudo. Onde comprovaram que o SFCR instalado consegue suprir além da demanda mesmo em período de baixa irradiação e possui viabilidade econômica, até no cenário pessimista houve um retorno do investimento, entre 7,4 e 15,7 anos.

De maneira geral, a instalação de um sistema fotovoltaico ligado a rede para alimentar energeticamente aviários do tipo *Dark House* em Tupãssi – PR, apresentou resultados satisfatórios mesmo que o ano monitorado tenha se demonstrado atípico com irradiância solar menor que o esperado para a região, não haverá influencia negativa grande o suficiente para a viabilidade econômica do projeto. Após este estudo, comprova-se que é recomendado instalar painéis fotovoltaicos com o intuito de economizar com os custos de energia elétrica em aviários, devendo-se atentar ao fato que poderão ocorrer anos atípicos com produção de energia menor, que afetarão o desempenho do sistema e quanto cada ano atípico deste pode influenciar na viabilidade econômica do projeto.

## 5. CONCLUSÕES

A partir deste estudo, efetuaram-se as seguintes conclusões:

A instalação do sistema fotovoltaico supre as demandas energéticas dos aviários *Dark House* na maioria dos meses (7 de 12) para o ano de 2018. Para o ano típico simulado, a produção supre a demanda em 10 dos 12 meses. Para 2018, o mês com maior produção de energia elétrica foi abril, resultado diferente do encontrado no ano típico, que apresentou sua maior produção em dezembro.

Considerando os dias típicos de céu aberto de verão e inverno, há uma perda de desempenho de 12,62 kW no horário de pico por dia no inverno. A instalação fotovoltaica nos aviários *Dark House* apresenta uma economia nas faturas de energia elétrica entre 2017 e 2018 de R\$ 33.189,89, já entre 2017 e um ano típico simulado esse valor sobe para R\$ 38,746,89.

Para os três parâmetros de engenharia econômica utilizados, apenas dois apresentaram a viabilidade econômica do projeto, sendo a TIR em 8,46% e o VPL em R\$ 47.208,31. Quando calculado o PDB, este apontou o projeto como inviável por possui tempo de retorno tardio, após a metade da vida útil do projeto, em 19 anos.

Com este estudo, salienta-se a importância de se considerar anos atípicos que possuíram produção de energia menor que o esperado e como estes podem afetar a viabilidade econômica do investimento. Neste caso, para cada ano atípico adicional que se apresente durante a vida útil do projeto, seu PDB é aumentado em 1 ano. Mesmo que o ano monitorado em questão tenha se apresentado atípico, é recomendado que se instalasse painéis fotovoltaicos para produção de energia elétrica que alimente aviários em Tupãssi – PR, pois quando consideradas as médias históricas de irradiância solar local, temos uma produção de energia satisfatória para a maioria dos meses do ano e um projeto viável economicamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual da ABPA 2017**. 1ª ed., São Paulo, 2017. 68p.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1-14, 2011.

ALMEIDA, E.; ROSA, A. C.; DIAS, F. C. L. S.; BRAZ, K. T. M.; LANA, L. T. C.; SANTO, O. C. E.; SACRAMENTO, T. C. B. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias Online**, v. 1, n. 2, p. 1-13, 2015.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e Minigeração Distribuída: sistema de Comparação de Energia Elétrica**. 2ª ed., Brasília, 2016. 31 p.

BALDIN, V. **Geração de energia na avicultura de corte a partir da cama de aviário**. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica do Paraná, Pato Branco, 2013.

BARBOSA, E. M. S.; LIMA, F.R. A.; PEREIRA, O. S. Potencial Técnico de SFCE – Determinação da densidade de potência específica para a região urbana de Recife. **Avances em Energias Renovables y Medio Ambiente**, v. 14, p. 85 – 92, 2010.

BARBOSA, E. M. S.; SILVA, D. O.; MELO, R. O. Sistema fotovoltaico conectado à rede com baterias – Sistema UFPE-BRASIL. **Avances em Energias Renovables y Medio Ambiente**, XXX Reunião da Asociación Argentina de Energias Renovables y Medio Ambiente, São Luiz, 2009.

BARROS, C. S. de; MONTEIRO, A. L. G.; POLI, C. H. E. C.; DITTRICH, J. R.; CANZIANI, J. R. F.; FERNANDES, M. A. M. Rentabilidade da produção de ovinos de corte em pastagem e em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 11, p. 2270-2279, 2009.

BEDIN, J. **Avaliação do consumo energético em aviários *Dark House*, com e sem isolamento térmico: Um estudo de caso na região de Palotina, Paraná**. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.

BEUADIN, M.; ZAREIPOUR, H.; SCHELLENBERGLABE, A.; ROSEHART, W. Energy storage for mitigation the variability of renewable electricity sources: An updated review. **Energy for Sustainable Development**, v. 14, p. 302-314, 2010.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; SOUSA, F. A.; PONCIANO, P. F.; NAVARINI, F. C.; JUNIOR, T. Y. Eficiência de sistema de aquecimento auxiliar para aviários, com base nos índices de conforto térmico. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 703-711, 2013.



CARLI, R. L. **Análise de viabilidade econômica para a implantação de um sistema fotovoltaico em uma célula urbana rural**. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016.

CASCAES, B. P.; RODRIGUES, L.J. Avaliação do potencial de geração de um SFCR em uma universidade no sul do Brasil. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2018.

COBB-VANTRESS. **Manual de Manejo de Frangos de Corte COBB**, 1ª edi., Guapiaçu, 2008. 70p.

DEBASTIANI, G. **Avaliação da eficiência energética de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico para Cascavel – Paraná**. 78 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

DUBEY, S.; SARVAIYA, J. N.; SESHADRI, B. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review. **SciVerse Science Direct**, v. 33, p. 311-321, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Suínos e Aves. **Manejo Ambiental na Avicultura**. Versão eletrônica, Documentos 149, 2011.

FREITAS, B. M. R. de; HOLLANDA, L. **Micro e Minigeração no Brasil: viabilidade econômica e entraves do setor**. White Paper nº 01. FGV Energia, 2015.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÓMICO DO PARANÁ. **Médias históricas em estações do IAPAR**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1070>> Acesso em: 23 de abril de 2019.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 1ª ed., IGES: Hayama, 2006.

JANNUZZI, G. M.; VARELLA, F. K. O. M.; GOMES, R. D. M. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica do Brasil: Panorama da atual legislação**. Relatório final, COBRE: Campinas, 2009. 53 p.

JOHANSSON, T.B.; KELLY, H.; REDDY, A.K.N.; WILLIAMS, R. H. **Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity**. 1ª ed., Island Press: Washington, 2009.

LIMA, J. D.; SCHEITT, L. C.; BOSCHI, T. F.; SILVA, N. J.; MEIRA, A. A.; DIAS, G. H. Propostas de ajuste no cálculo do *pay back* de projetos de investimentos financiados. **Custos e Agronegócios**, v. 9, n. 4, p. 162-180, 2013.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia no Mundo – Matrizes Energéticas, Matrizes Elétricas, Indicadores**. 1ª edi., Brasília, 2017. 42p.

NASCIMENTO, L. A. B. do. **Análise energética na avicultura de corte: Estudo da viabilidade econômica para um sistema de geração de energia elétrica eólico-fotovoltaico conectado à rede**. 147 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

NASCIMENTO, R. L.; HAUSMANN, R. Sistema de bombeamento de água pluvial com estudo da viabilidade da utilização de energia solar fotovoltaica. **Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, v. 8, n. 2, p. 85-110, 2015.

OLIVEIRA, L. G. M. **Geração e Operação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 242f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

PANWAR, N. L.; KAUSHIK, S. C.; KOTHARI, S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 1513-1524, 2011.

PARIZOTTO, R.R. **Instalação e avaliação de um sistema de bombeamento d'água com aerogerador de pequeno porte para propriedades rurais em Cascavel – PR**.105 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

PEREIRA, W. A.; ALMEIDA, L. S. Método manual para cálculo da taxa interna de retorno. **Revista Objetiva**, v.1, n.4, p.1-13, 2008.

PINHO, J.T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, edição revisada e atualizada, 530 p., Rio de Janeiro, 2014.

POSSEBON, R.; RODRIGUES, L. J. Avaliação financeira e de desempenho de um SFCR numa residência típica do sul do Brasil. **Acta de La XXXIX Reunión de Trabajo de La Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 44, p. 1349 – 1359, 2016.

POZZOBON, V. S.; GASPARIN, F. P.; RODRIGUES, L. J.; KRENZINGER, A. Avaliação dos desempenhos elétricos e financeiro de três proposta de instalação de um SFCR. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**, 2018.

SAHOO, S. K. Renewable and sustainable energy reviews solar photovoltaic energy progress in India: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v 59, p. 927-939, 2016.

SARVER, T.; AL-QARAGHULI, A.; KAZMERSKI, L.L. A comprehensive review of the impacto of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 698-733, 2013.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valo esperado da terra (VET). **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 931-936, 2005.

SINGH, G,K. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. **Energy**, v.53, p. 1-13, 2013.

STEFFENS, E. **Microgeração Solar Distribuída: Estudo de Caso Técnico e Econômico para Aviários em Águas Mornas – SC.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

THEVENARD, D.; PELLAND, S. Estimating the Uncertainty in Long-Term Photovoltaic Yield Predictions. **Solar Energy**, v. 91, p.432-445, 2013.

TIAN, Y.; ZHAO, C.Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications, **Applied Energy**, v. 104, p. 538-553, 2013.

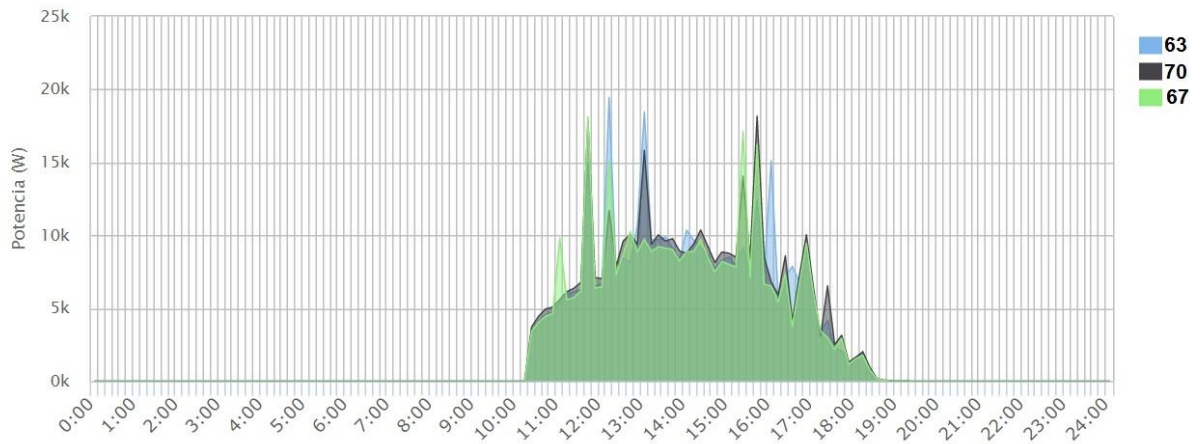
TRONI, A. R. **Instalações e equipamentos para frangos de corte.** 93 f. Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias. São Paulo, 2015.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2ª ed. Érica: São Paulo, 2015. 224p.

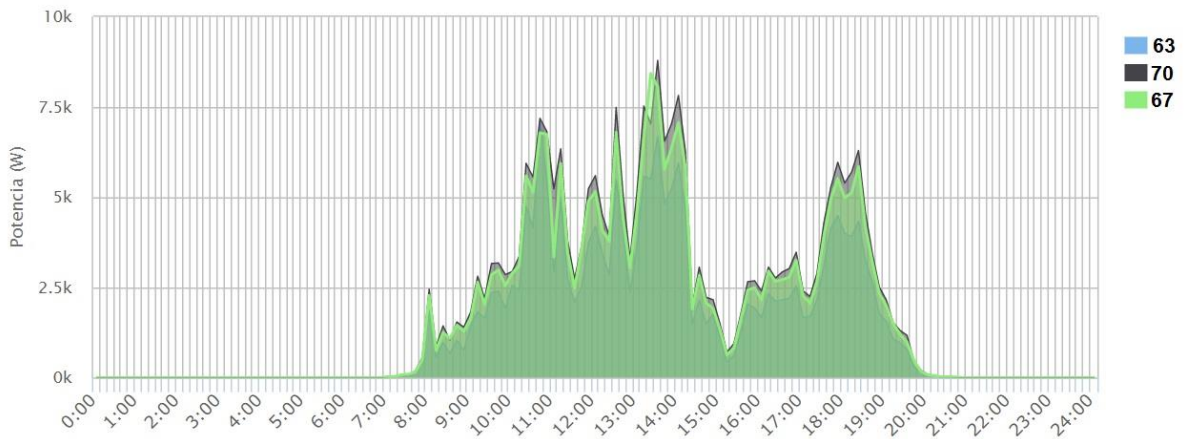
ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** 1ª ed. Oficina de Textos: São Paulo, 2012. 58p.

**ANEXOS**

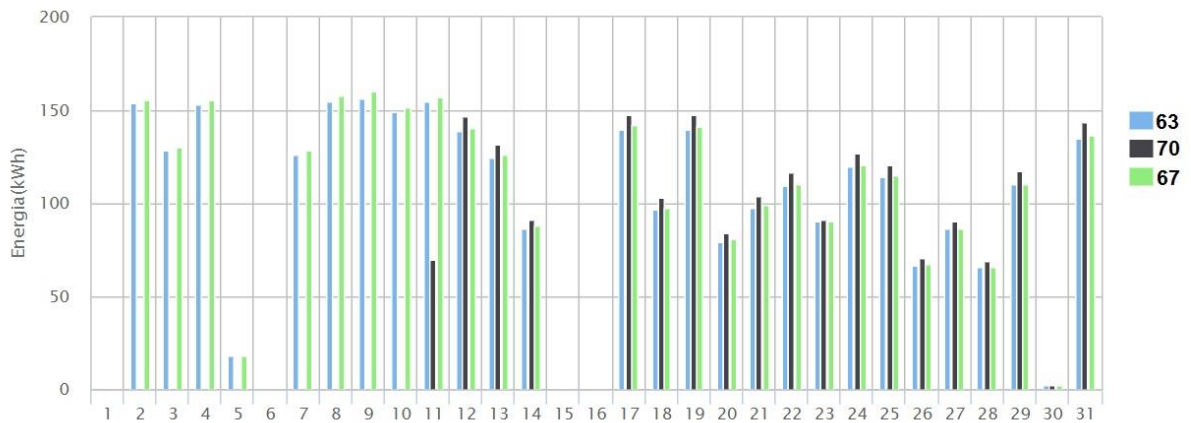
**ANEXO 01 – Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia de céu fechado–inverno (06/07/2018)**



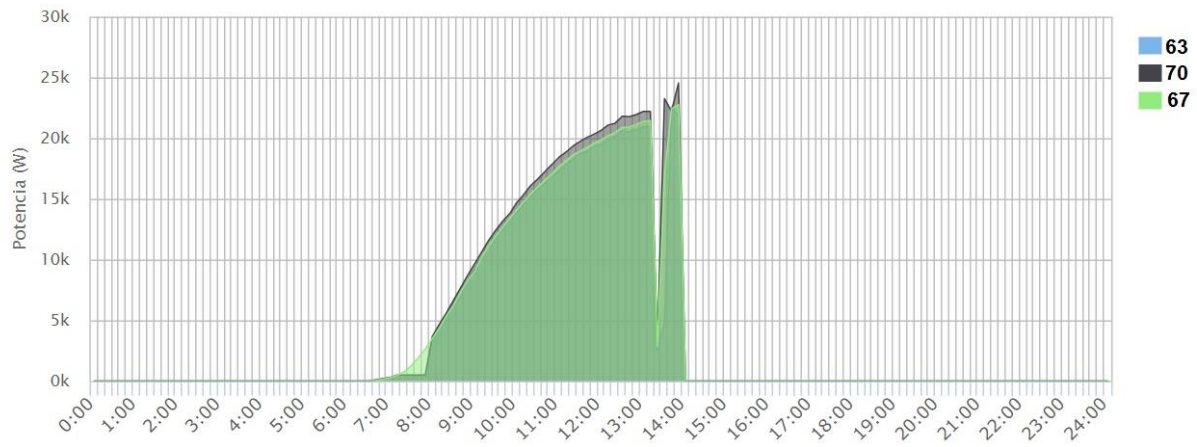
**ANEXO 02 - Potencial de geração do sistema fotovoltaico instalado para os aviários em um dia de céu fechado – verão (10/01/2018)**



**ANEXO 03 – Produção de energia elétrica diária do mês de dezembro/2018**



#### ANEXO 04 – Produção parcial de energia elétrica pelos módulos solares instalados nos aviários (14/12/2018)



#### ANEXO 05 – Custos com as faturas elétricas mensais de 2017

DATA	CUSTO R\$	KWH
jan/17	2740,76	8487
fev/17	4994,19	15293
mar/17	1996,41	5904
abr/17	4936,11	15129
mai/17	1750,58	5125
jun/17	3197,81	9266
jul/17	3283,79	8979
ago/17	1679,91	4469
set/17	3207,2	8569
out/17	3525,62	9061
nov/17	3001,24	7421
dez/17	5513,07	13571
<b>média</b>	<b>R\$ 3.318,89</b>	<b>9272,83</b>
<b>soma</b>	<b>R\$ 39.826,69</b>	

ANEXO 06 - Custos com as faturas elétricas mensais de 2018 e suas compensações.

DATA	CUSTO R\$	kWh	COMPENSAÇÃO	COMPENSAÇÃO kWh	KWH COBRADO
jan/18	1010,8	4961	R\$ 864,92	2730	2231
fev/18	470,35	6724	R\$ 1.792,04	5811	913
mar/18	30,83	3731	R\$ 1.119,76	3631	100
abr/18	1528,62	8569	R\$ 1.602,38	5196	3373
mai/18	31,6	1558	R\$ 460,80	1458	100
jun/18	768,66	5535	R\$ 1.039,85	3767	1768
jul/18	120,76	2993	R\$ 1.165,95	2893	100
ago/18	68,47	2501	R\$ 937,02	2401	100
set/18	61,55	2665	R\$ 1.039,48	2565	100
out/18	197,04	5835	R\$ 2.335,50	5735	100
nov/18	2689,57	8938	R\$ 1.378,46	3559	5379
dez/18	80,99	1950	R\$ 703,80	1850	100
<b>média</b>	<b>R\$ 588,27</b>	<b>4663,33</b>	<b>R\$ 1.203,33</b>	<b>3466,33</b>	<b>1138,67</b>
<b>soma</b>	<b>R\$ 6.636,71</b>		<b>R\$ 33.189,98</b>		

## ANEXO 07 – Tabela com os dados do fluxo de caixa e do PayBack descontado

ANO	CAPITAL	PARCELAS CAPITAL	INVERSORES	JUROS	PARCELA + JUROS	ECONOMIA	FLUXO DE CAIXA	FC DESCONTADO	FC DESC. ACUMULADO
0	R\$ 390.000,00	R\$ -	R\$ -		R\$ -		R\$ -	R\$ -	
1	R\$ 390.000,00	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 23.400,00	R\$ 66.733,33	R\$ 33.189,98	-33543,35	-31644,67	R\$ 31.644,67
2	R\$ 346.666,67	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 20.800,00	R\$ 64.133,33	R\$ 38.746,89	-25386,44	-22593,84	R\$ 54.238,52
3	R\$ 303.333,33	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 18.200,00	R\$ 61.533,33	R\$ 38.746,89	-22786,44	-19131,94	R\$ 73.370,45
4	R\$ 260.000,00	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 15.600,00	R\$ 58.933,33	R\$ 38.746,89	-20186,44	-15989,55	R\$ 89.360,01
5	R\$ 216.666,67	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 13.000,00	R\$ 56.333,33	R\$ 38.746,89	-17586,44	-13141,61	R\$ 102.501,62
6	R\$ 173.333,33	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 10.400,00	R\$ 53.733,33	R\$ 38.746,89	-14986,44	-10564,85	R\$ 113.066,47
7	R\$ 130.000,00	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 7.800,00	R\$ 51.133,33	R\$ 38.746,89	-12386,44	-8237,69	R\$ 121.304,17
8	R\$ 86.666,67	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 5.200,00	R\$ 48.533,33	R\$ 38.746,89	-9786,44	-6140,14	R\$ 127.444,30
9	R\$ 43.333,33	R\$ 43.333,33	R\$ -	R\$ 2.600,00	R\$ 45.933,33	R\$ 38.746,89	-7186,44	-4253,64	R\$ 131.697,95
10	R\$ -	R\$ -	R\$ 60.750,00	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	-22003,11	-12286,42	R\$ 143.984,37
11	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	20411,38	R\$ 123.572,99
12	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	19256,02	R\$ 104.316,97
13	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	18166,05	R\$ 86.150,92
14	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	17137,79	R\$ 69.013,13
15	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	16167,72	R\$ 52.845,41
16	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	15252,57	R\$ 37.592,84
17	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	14389,22	R\$ 23.203,62
18	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	13574,73	R\$ 9.628,89
19	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	12806,35	R\$ 3.177,46
20	R\$ -	R\$ -	R\$ 60.750,00	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	-22003,11	-6860,67	R\$ 3.683,21
21	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	11397,61	R\$ 7.714,40
22	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	10752,46	R\$ 18.466,85
23	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	10143,83	R\$ 28.610,68
24	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	9569,65	R\$ 38.180,33
25	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ 38.746,89	38746,89	9027,97	R\$ 47.208,31