

GABRIELA FEISTAUER ARAÚJO

**VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DO BIODIGESTOR TUBULAR
E DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA NA BOVINOCULTURA LEITEIRA**

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
DEZEMBRO – 2021

GABRIELA FEISTAUER ARAÚJO

**VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DO BIODIGESTOR TUBULAR
E DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA NA BOVINOCULTURA LEITEIRA**

Trabalho apresentado 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. Armin Feiden

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

*A Levi, meu filho, cuja chegada me trouxe novas
forças para percorrer este caminho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, de quem recebi todas as capacidades e ferramentas para vencer as dificuldades e desenvolver este trabalho – d’Ele, por meio d’Ele e para Ele são todas as coisas.

A meu marido, Dr. Raul M. Araújo, pelo constante incentivo demonstrado das mais diversas maneiras e pelas muitas contribuições acadêmicas indispensáveis para a realização desta dissertação. Sua parceria e compreensão tornaram a conclusão deste trabalho possível.

A meus pais, por todo o amparo e apoio que têm me dado desde sempre. Obrigada por investirem com tanta determinação em minha formação acadêmica.

A meu orientador, Dr. Armin Feiden, por todo auxílio, disposição e conhecimentos transmitidos, os quais foram essenciais para a realização deste trabalho.

A meu co-orientador, Dr. Carlos E. C. Nogueira, pela disponibilidade, confiança, contribuições e conhecimentos transmitidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo incentivo a este trabalho mediante a bolsa concedida para sua realização.

ARAÚJO, Gabriela Feistauer. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, junho de 2019. **Viabilidade técnico-econômica do biodigestor tubular e da energia solar fotovoltaica para geração distribuída na bovinocultura leiteira.** Armin Feiden.

RESUMO

A bovinocultura leiteira constitui uma atividade de grande importância econômica para o Brasil, tendo o estado do Paraná participação relevante na produção nacional de leite. Com fins de reduzir custos de produção, a geração da própria energia elétrica no modelo de Geração Distribuída surge como alternativa para o bovinocultor de leite. Nesse sentido, duas opções são possíveis: o uso dos dejetos animais da propriedade para o aproveitamento da biomassa como fonte de biogás, ou a instalação de painéis fotovoltaicos. Este trabalho teve como objetivo avaliar e comparar, através do uso de ferramentas da engenharia econômica, tais como o VPL e o *Payback*, a viabilidade da implantação dessas fontes de energia em uma propriedade produtora de leite. Os resultados demonstraram a possibilidade econômica de ambas as fontes de geração de energia para um horizonte de projeto de 25 anos, considerando uma taxa mínima de atratividade de 6,5%.

PALAVRAS-CHAVE: energias renováveis; biodigestor; energia solar.

ARAÚJO, Gabriela Feistauer. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, junho de 2019. **Comparative economic analysis of photovoltaic energy and plug-flow reactor for distributed generation in dairy cattle farm in Paraná State.** Armin Feiden.

ABSTRACT

Dairy cattle activity constitutes an economic activity of great importance in Brazil, in which the State of Paraná has relevant participation. With the aim of reducing production costs, the possibility of generating one's own electric energy through the distributed generation model seems to be an interesting alternative for the dairy cattle farmer. In this context, two possibilities appear: the use of animal waste as biomass source for biogas production, or the installation of photovoltaic panels. This work aimed to evaluate and compare through economic tools, such as NPV and Payback, the feasibility of the use of these energy sources in a dairy farm. The results showed the economic feasibility of both energy sources for a 25-year Project horizon, considering a 6,5% minimum attractiveness rate.

KEYWORDS: renewable energy; plug-flow reactor; solar energy.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	8
1.2. OBJETIVOS.....	9
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	9
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1. BOVINOCULTURA LEITEIRA.....	10
2.2. ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	12
2.3. ENERGIA DA BIOMASSA.....	13
2.4. DEJETOS BOVINOS.....	13
2.4.1. BIOGÁS.....	14
2.4.2. MODELOS DE BIODIGESTORES.....	14
2.5. ENERGIA SOLAR.....	18
2.5.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	19
2.5.1.1. ENERGIA SOLAR NO ESTADO DO PARANÁ.....	20
2.6. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	21
2.7. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE DE ESTUDO.....	25
3.2. PROJETO FOTOVOLTAICO.....	26
3.3. PROJETO DO BIODIGESTOR TUBULAR.....	27
3.4. AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5. CONCLUSÃO....	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

A produção nacional de leite tem relevante papel social, especialmente na geração de empregos, seja através dos agricultores familiares, das cooperativas ou das indústrias de processamento. O estado do Paraná tem se destacado em sua participação na produção nacional de leite, segundo dados preliminares do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). No ano de 2017, o Brasil produziu mais de 30 bilhões de litros de leite bovino, sendo o Paraná responsável por cerca de 11,39% dessa produção.

De acordo com Pereira (2011), a necessidade de reduzir custos e aumentar a produção de alimentos com o fim de manter a competitividade e atender às demandas internacionais tem como consequência o constante incremento na demanda energética. Além das necessidades econômicas, que pressionam para que haja permanente aumento na produção de energia, a preocupação com as questões ambientais também tem crescido, fazendo com que a busca por um desenvolvimento sustentável gere um aumento de interesse no uso de fontes de energia renováveis (SILVA, D., 2018). É importante notar que é amplamente aceito entre pesquisadores que estudam o clima que as emissões de gases do efeito estufa estão mudando as condições climáticas globais, causando impactos negativos nos ecossistemas (JENNICHES, 2018). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), cerca de 25% dos gases do efeito estufa são emitidos na geração de eletricidade e calor. Assim sendo, o aumento do uso de fontes de energia renováveis constitui uma estratégia importante para reduzir a emissão de gases do efeito estufa e, desse modo, combater as mudanças climáticas globais (JENNICHES, 2018).

De acordo com Borges *et al.* (2017), a busca por uma matriz energética mais limpa vem ganhando espaço em nível mundial. Cattaneo (2014) ressalta que a maior parte da energia consumida no mundo ainda tem origem nos derivados do petróleo – como queima de carvão e gás natural. No entanto, de acordo com relatório da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), tendo 2017 como ano-base, a matriz energética brasileira destaca-se como sendo de origem predominantemente renovável – as fontes renováveis representam, hoje, 80,4% da oferta de eletricidade

interna no país.

Nesse cenário, sistemas de painéis fotovoltaicos e biodigestores destacam-se como fontes de energia renováveis e de baixo carbono, que propiciam alternativas para que propriedades produtoras de leite gerem a própria energia elétrica. É, portanto, de suma importância avaliar tais tecnologias do ponto de vista do tripé da sustentabilidade – segundo o qual, para que uma prática seja considerada sustentável, esta deve ser ambientalmente correta, socialmente justa e economicamente viável. Assim, a análise comparativa da viabilidade técnico-econômica das duas formas de geração de energia serve para estabelecer tanto sua viabilidade econômica quanto sua sustentabilidade, podendo auxiliar na tomada de decisão do produtor de leite que deseje gerar sua própria energia.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Realizar uma análise comparativa da viabilidade técnico-econômica da geração de energia elétrica, por meio de sistema de painéis fotovoltaicos conectados à rede e por meio de biodigestor tubular, para uma propriedade de bovinocultura leiteira em confinamento na mesorregião do noroeste do Paraná.

1.2.2. Objetivos específicos

- Dimensionar um biodigestor tubular que atenda à demanda energética da propriedade de estudo;
- dimensionar um sistema de painéis fotovoltaicos que atenda à demanda energética da propriedade de estudo;
- avaliar a viabilidade técnico-econômica para a implantação de biodigestor tubular na propriedade de estudo;
- avaliar a viabilidade técnico-econômica para a implantação de sistema de painéis solares fotovoltaicos na propriedade de estudo;
- comparar a viabilidade técnico-econômica da geração de energia elétrica através do uso de biodigestor tubular e de sistema de painéis solares fotovoltaicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Bovinocultura leiteira

A importância do leite como alimento pode ser observada no ambiente produtivo e econômico mundial, especialmente nos países em desenvolvimento e em sistemas baseados na agricultura familiar (JÚNIOR, 2017). A produção mundial de leite aumentou mais de 50% nas últimas três décadas, alcançando 843 milhões de toneladas em 2018 – desse valor, cerca de 81% são provenientes da bovinocultura leiteira (FAO, 2019). A *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura – FAO), órgão da ONU, também destaca que a produção a partir de pequenos agricultores é característica da maioria dos países em desenvolvimento, pois há rápido retorno para agricultores de pequena escala.

Em 2018, o Brasil colocou-se como o quarto maior produtor mundial de leite, ficando atrás de Índia, Estados Unidos e Paquistão (FAO, 2019). A média de crescimento mundial da produção de leite entre os anos de 2017 e 2018 foi de 2,2%, deixando o Brasil com 0,8% de crescimento, abaixo da média mundial.

Tabela 1. Principais produtores de leite no mundo (em milhões de toneladas)

País	2017	2018	Crescimento de 2017 a 2018 (%)
Índia	176272	186143	5,6
Estados Unidos	97735	98646	0,9
Paquistão	44294	45623	3,0
Brasil	35257	35539	0,8
China	31958	31592	-1,1
Total	385516	397543	1,84

Fonte: Autoria própria com dados da FAO (2019).

De acordo com dados preliminares do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em 2017 o Brasil atingiu a marca de 30,1 bilhões de litros de leite bovino produzidos (IBGE, 2017). Nesse mesmo ano, a região Sul do Brasil foi responsável por 34,1% da produção nacional de leite bovino, somando 10,26 bilhões de litros. Durante esse mesmo período, o estado do Paraná destacou-se como o terceiro maior

produtor nacional, atrás apenas de Minas Gerais e Rio Grande do Sul, conforme a Tabela 2. Sozinho, o Paraná é responsável por 11,39% da produção brasileira de leite bovino (IBGE, 2017).

Tabela 2. Principais produtores de leite bovino no Brasil (em 1000l)

Estado	2017
Minas Gerais	8886923
Rio Grande do Sul	3999592
Paraná	3431041
Santa Catarina	2835216
Goiás	2658375
Total	21811147

Fonte: Autoria própria com dados do IBGE (2017).

No ano de 2014, a mesorregião do noroeste do Paraná obteve uma produção de 386,59 milhões de litros de leite bovino, representando 8,53% da produção estadual (TELLES *et al.* 2017). A mesorregião noroeste, no entanto, está abaixo da média de produtividade em mil toneladas por vaca por ano do estado do Paraná; particularmente, a microrregião de Umuarama tem sua produção de leite afetada por condições edafoclimáticas desfavoráveis à produção de leite, pois o solo e o clima não são os mais adequados para a atividade; além disso, Telles *et al.* (2017) afirmam que o problema principal da região está na pouca aplicação de tecnologia à produção, o que explica a baixa produtividade local.

A produção de leite bovino, de forma geral, pode ser baseada em sistemas pastoris – nos quais o gado é criado solto, alimentando-se de pastagem durante ao menos parte do tempo– e em sistemas de confinamento. Dentre os sistemas de confinamento mais utilizados, destacam-se o *compost-barn* e o *free-stall*. Em ambos os modelos, os animais ficam confinados em uma construção aberta nas laterais, dentro da qual a alimentação é servida. A diferença entre os sistemas reside no fato de que, no primeiro modelo, os animais descansam em espaços coletivos, sobre uma cama de serragem com a qual posteriormente é feita compostagem, enquanto, no segundo modelo, os animais descansam em camas individuais, a ventilação é complementada por *sprinklers* e o barracão deve ser lavado diariamente para remoção dos resíduos (BREITENBACH, 2018).

Para Breitenbach (2018), considerando a situação mais comum de mercado, o fato de o produtor não ter controle sobre o preço do produto e dos insumos torna a redução dos custos de produção fundamental no negócio do leite. De acordo com Michels *et al.* (2018), os custos com energia elétrica em uma propriedade produtora de leite bovino flutuam entre 1,18% a 2,35% dos custos totais de produção. Tal porcentagem não variou fora desse intervalo mesmo quando comparados sistemas de produção em confinamento ou pastoris, segundo o estudo em questão. A redução desses custos com a geração da própria energia é capaz de diminuir o custo por litro de leite, aumentando, assim, a lucratividade do produtor.

2.2. Energias renováveis

O surgimento do conceito de energia renovável é anterior aos debates envolvendo mudanças climáticas e medidas de mitigação de emissões de carbono (HARJANNE; KORHONEN, 2019). Em língua inglesa, na literatura técnica e científica, o termo “energias renováveis” tem sido usado em contraste às fontes exauríveis de combustíveis fósseis desde o início do século XX (BELL, 1906). No entanto, o termo ganhou a conotação atual durante os debates sobre energia dos anos 1970. Os movimentos ambientais e os de contracultura dos anos 1960 viram as energias renováveis como a alternativa conceitual às fontes de energia ambientalmente destrutivas, desumanizantes e centralizadas, tais como o carvão e a energia nuclear (HARJANNE; KORHONEN, 2019).

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2018) define energia renovável como aquela derivada de processos naturais que são reabastecidos mais rapidamente do que são consumidos, fazendo menção às energias solar, eólica, geotérmica, hidráulica e da biomassa como exemplos. Já a União Europeia inclui em sua classificação, além das citadas anteriormente, a energia proveniente das marés, dos biocombustíveis e das partes reaproveitáveis de dejetos (EUROSTAT, 2018). Um exemplo da grande difusão do conceito de energia renovável é a criação, no ano de 2009, da Agência Internacional de Energia Renovável (International Renewable Energy Agency – IRENA), observadora oficial das Nações Unidas, com 154 países membros, incluindo a União Europeia (IRENA, 2018). O Brasil, todavia, não é membro da agência atualmente. A IRENA sustenta que os benefícios relacionados às energias renováveis não se restringem à mitigação das mudanças climáticas globais e à

redução da poluição, mas também incluem crescimento econômico, geração de empregos e segurança energética (IRENA, 2017). García-Casarejos *et al.* (2017) sustentam que fontes de energia renováveis diferem das fontes de energia não renováveis não apenas nos seus impactos ambientais, mas também nos econômicos, sendo grandes geradoras de empregos.

2.3. Energia da biomassa

Conceitualmente, biomassa é o nome dado a toda matéria orgânica derivada de vegetais resultante dos processos fotossintéticos (ALVES, 2017). A fotossíntese ocorre em função de uma reação entre gás carbônico (CO₂), água (H₂O) e luz solar, tendo como resultado o armazenamento de uma fração de energia solar inicial nas ligações químicas de seus componentes finais. Do ponto de vista energético, a energia da biomassa pode ser derivada de material animal e vegetal; resíduos de processos agrícolas, florestais e industriais e também dejetos (BASSAM, 2010).

2.4. Dejetos bovinos

Dejetos de ruminantes, particularmente de bovinos, são uma boa fonte de biomassa como matéria-prima para a digestão anaeróbia, pois já contêm as bactérias metanogênicas necessárias para o processo. No entanto, a produção de biogás obtida a partir desses dejetos é menor quando comparada às quantidades produzidas por dejetos suínos ou de frango. Isso acontece porque o gado bovino retira um maior percentual de nutrientes da forragem com que se alimenta, e os complexos de lignina resultantes de sua digestão são bastante resistentes à fermentação anaeróbia (MONTEIRO *et al.*, 2011).

De acordo com Monteiro *et al.* (2011), grande parte dos resíduos de atividades agropecuárias na União Europeia é tratada de forma barata, porém inadequada – principalmente em pequenas propriedades. Segundo o autor, uma alternativa interessante para o tratamento desses resíduos é através da digestão anaeróbia com produção de biogás, o qual é um subproduto nobre para os dejetos gerados no campo.

Em princípio, toda matéria orgânica pode ser fermentada ou digerida. No entanto, apenas substratos homogêneos podem ser considerados para uso em plantas mais simples de produção de biogás – daí a necessidade de diluir os resíduos

com água. A produção máxima de biogás depende do tipo de substrato; por exemplo, dejetos bovinos produzem 200 m³ de metano por tonelada de matéria orgânica seca (MOS) e 20 m³ de biogás por m³ de água (OLUGASA *et al.*, 2014). Garfí *et al.* (2012) demonstraram as vantagens econômicas, ambientais e sociais do uso de resíduos de bovinos para a geração de energia em biodigestores domésticos na região dos Andes peruanos.

2.4.1. Biogás

Biogás é o nome dado à mistura de dióxido de carbono, CO₂, e gás metano, CH₄, produzida por bactérias metanogênicas, que, sob condições anaeróbias, fazem a conversão da matéria orgânica (RAVEN; GREGERSEN, 2005). O biogás consiste em 55 a 80% de CH₄ e 20 a 45% de CO₂, com traços de H₂S e outras impurezas (TRUONG; ABATZOGLOU, 2005).

O biogás foi descoberto ainda no século XVII, através de observações de desprendimento de gás em pântanos, sem, no entanto, haver conhecimento sobre o processo pelo qual o gás se formava. Apenas no ano de 1776, o físico italiano Alessandro Volta descobriu a presença de metano no gás dos pântanos e, em 1883, Ulisses Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a primeira fermentação anaeróbia em condições controladas, produzindo 10 litros de gás por metro cúbico de uma mistura de esterco e água. Sete anos após a experiência de Gayon, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, na Inglaterra, constituindo parte de um sistema em que o gás produzido era aproveitado para a iluminação pública (SOARES; SILVA, 2010).

Como fonte de energia renovável, o biogás é plenamente capaz de substituir outras fontes de energia no meio rural, como a madeira, o carvão, o querosene, os resíduos de plantas e o gás propano. Além disso, o poder calorífico do biogás é equivalente ao de meio litro de óleo diesel (6 kWh/m³) (OLUGASA *et al.*, 2014). Para a produção de biogás, material orgânico, como resíduos de plantas e animais, deve ser misturado à água em algum reservatório livre de oxigênio, onde ocorrerá a digestão metanogênica. A esse reservatório dá-se o nome de biodigestor, o qual pode ter inúmeras formas de design (OLUGASA *et al.*, 2014).

2.4.2. Modelos de biodigestores

Sistemas de biodigestão anaeróbia são classificados de acordo com sua forma de operação: de batelada (Figura 1), de carga semicontínua ou contínua. Entre os modelos mais conhecidos, destacam-se o biodigestor modelo indiano (Figura 2) e o biodigestor modelo chinês (Figura 3), os quais trabalham com alimentação contínua.

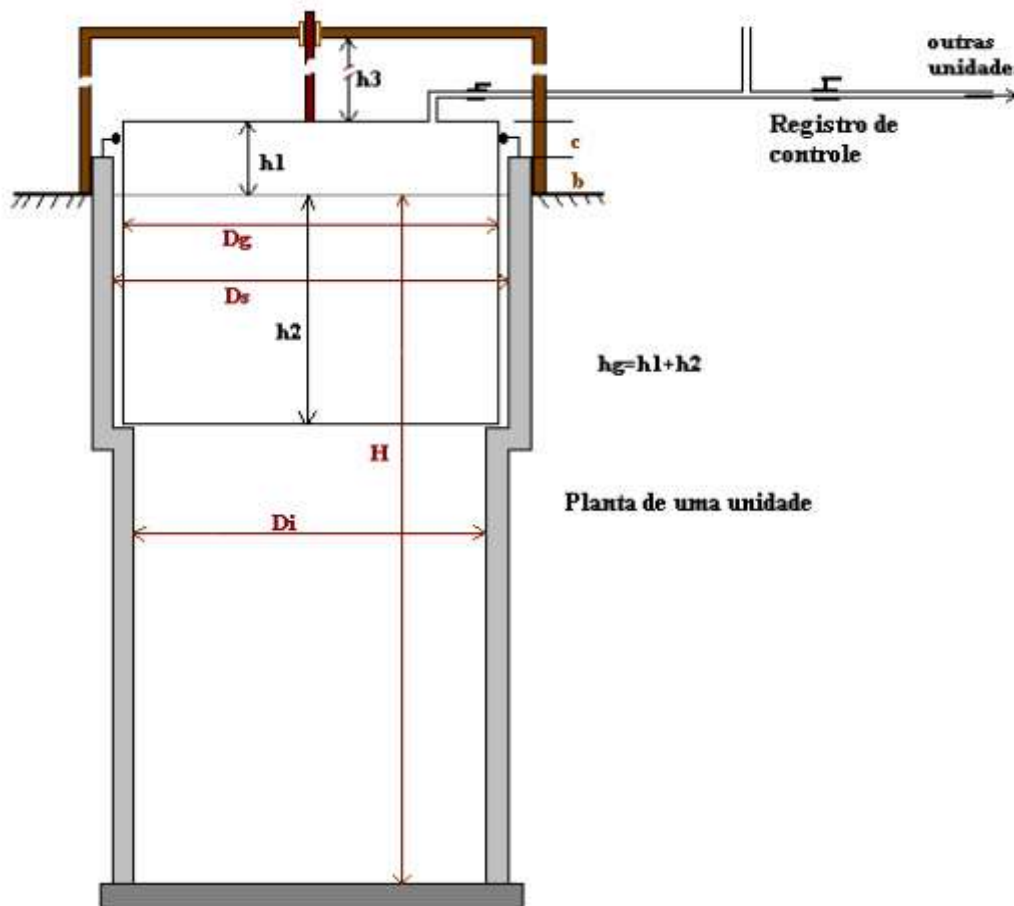


Figura 1: Biodigestor modelo batelada (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Sendo: D_i – diâmetro interno do biodigestor; D_s – diâmetro interno da parede superior; D_g – diâmetro do gasômetro; H – altura do nível do substrato; h_1 – altura ociosa do gasômetro; h_2 – altura útil do gasômetro; h_3 – altura útil para deslocamento do gasômetro; b – altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato; c – altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

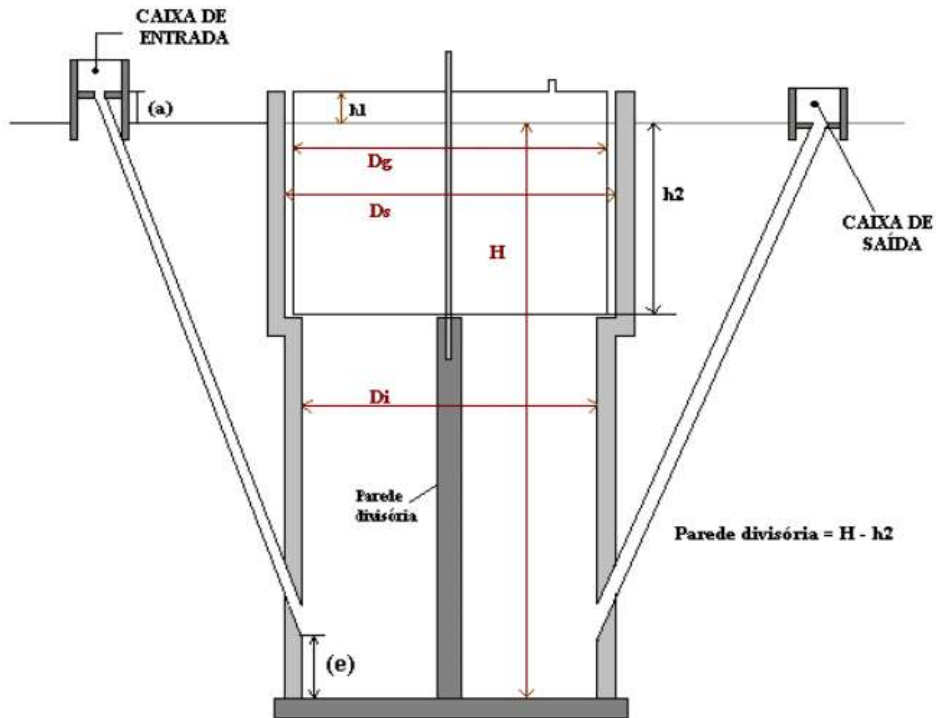


Figura 2: Biodigestor indiano (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Sendo: H – altura do nível do substrato; D_i – diâmetro interno do biodigestor; D_g – diâmetro do gasômetro; D_s – diâmetro interno da parede superior; h_1 – altura ociosa (reservatório do biogás); h_2 – altura útil do gasômetro; a – altura da caixa de entrada; e – altura de entrada do cano com o afluyente.

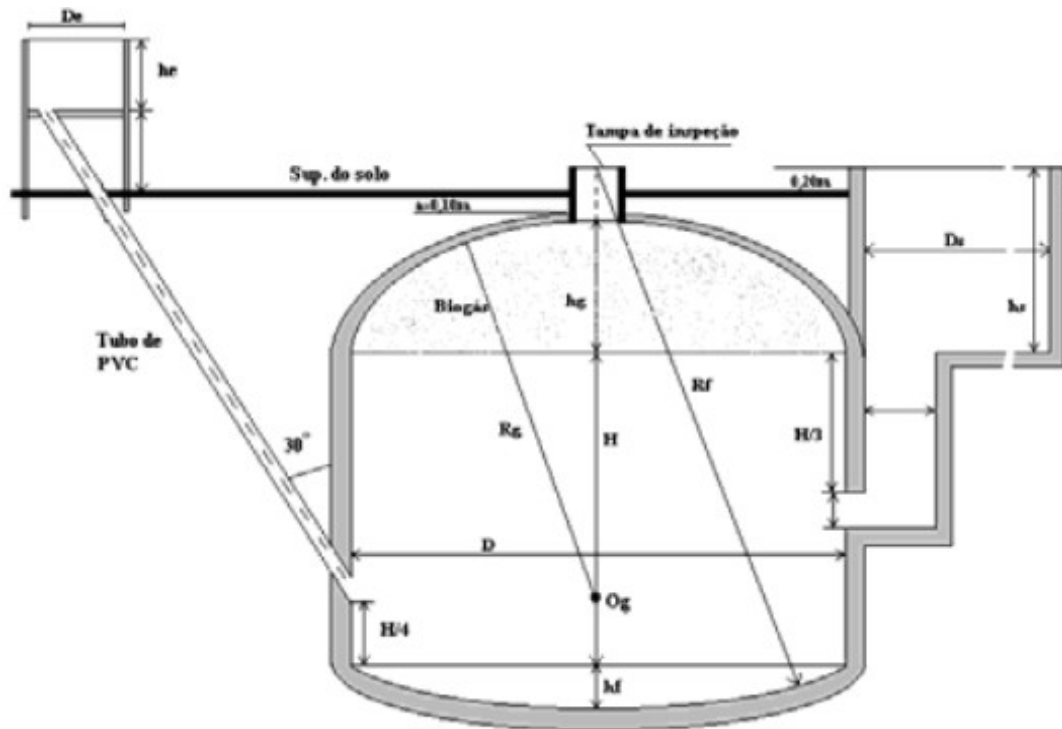


Figura 3: Biodigestor chinês (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Sendo: D – diâmetro do corpo cilíndrico; H – altura do corpo cilíndrico; H_g – altura da calota do gasômetro; h_f – altura da calota do fundo; O_f – centro da calota esférica do fundo; O_g – centro da calota esférica do gasômetro; h_e – altura da caixa de entrada; D_e – diâmetro da caixa de entrada; h_s – altura da caixa de saída; D_s – diâmetro da caixa de saída; A – afundamento do gasômetro.

Além da classificação pela forma de operação, é possível classificar os biodigestores em horizontais e circulares. Biodigestores horizontais tendem a ter volume entre 50 e 150 m³, e são adequados para plantas relativamente menores e para o tratamento de resíduos de gado bovino (MONTEIRO *et al.*, 2011). Sistemas de baixo custo são frequentemente horizontais (Figura 4), de fluxo contínuo, em que não se faz necessário o uso de mecanismos de mistura contínua ou de aquecimento interno quando usados em regiões de clima tropical. Ademais, biodigestores rurais que usam como biomassa dejetos animais têm como subproduto o biofertilizante, o qual pode ser usado na propriedade ou comercializado como adubo orgânico (SGANZERLA, 1983).

O modelo de biodigestor tubular é definido por sua geometria horizontal, com largura maior que a profundidade; seu formato promove uma grande área de

exposição ao sol, favorecendo a ação das bactérias que compõem o processo de digestão no interior do equipamento, e, por conseguinte, favorecendo a produção do biogás. Quanto ao funcionamento, o fluxo do substrato é contínuo, sendo introduzido na caixa de entrada, que levará o dejetos ao interior da câmara de digestão onde o biogás será produzido. O dejetos é posteriormente descarregado na extremidade oposta à caixa de entrada, na chamada caixa de saída. Todo esse processo ocorre por meio do princípio físico do êmbolo, sem misturas longitudinais do dejetos ao longo de seu trajeto no sistema de biodigestão, o que significa que as partículas mantêm sua identidade e permanecem no biodigestor por um período igual ao tempo de retenção hidráulica (TRH). Para que essa característica técnica seja garantida, é necessário que a estrutura da câmara onde ocorre o processo de biodigestão apresente uma relação elevada de comprimento/largura (VON SPERLING, 1996).

Para transformar o biogás em energia elétrica, é necessária a utilização de um conjunto motor-gerador no sistema. Pode-se adaptar um motor a gasolina para a geração de energia elétrica com o biogás, mas motores específicos possuem melhor desempenho e maior durabilidade (SGANZERLA, 1983).



Figura 4: Exemplo de biodigestor tubular em propriedade rural (Barichello *et al.*, 2015).

2.5. Energia solar

De acordo com a IEA (2018), a energia proveniente do sol é suficiente para suprir milhares de vezes mais do que a demanda bruta anual de energia da

humanidade. No entanto, a energia solar incidente sobre a Terra tem baixa densidade quando levada em conta a intensidade da energia incidente por unidade de área. Além disso, sua disponibilidade varia conforme a posição geográfica, estação climática e condições meteorológicas, trazendo desafios técnicos para seu aproveitamento (GALDINO *et al.*, 2000).

Para tornar possível o aproveitamento direto da energia do Sol como fonte elétrica, duas tecnologias de geração distinguem-se: a fotovoltaica e a heliotérmica (TOLMASQUIM, 2016). A primeira consiste na conversão direta da luz solar em eletricidade através do chamado efeito fotoelétrico; a segunda, sendo uma forma de geração termelétrica, consiste no aquecimento de um fluido a partir da energia solar para a produção de vapor. Ambas as tecnologias têm estado em processo de constante aprimoramento para permitir que seu uso atinja a maior eficiência energética possível (SÁNCHEZ-PANTOJA *et al.*, 2018).

2.5.1. Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é aquela obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade e baseia-se no efeito fotovoltaico, que é o surgimento de diferença de potencial nos extremos da estrutura de um material semicondutor, produzida pela absorção da luz (TOLMASQUIM, 2016).

Edmond Becquerel, no ano de 1839, foi quem verificou pela primeira vez que placas metálicas, de platina ou prata, quando mergulhadas num eletrólito, geravam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. Anos depois, em 1877, W. G. Adams e R. E. Day desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz, usando como material o selênio (DÂMASO, 2007). Ainda no final do século XIX, o engenheiro alemão Werner Siemens começou a comercializar células de selênio como fotômetros para máquinas, apesar da eficiência de conversão de energia das células ser da ordem de 0,5% (DÂMASO, 2007).

Apesar de o fenômeno fotovoltaico já ser conhecido há séculos, o grande impulso no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica veio após o choque do petróleo de 1973. O medo do desabastecimento energético que tomou o mundo levou a um forte investimento em programas de pesquisa para redução do custo de produção das células fotovoltaicas. Foi a partir daí que ideias surgiram para a utilização de novos materiais, em especial, o silício multicristalino em vez dos monocristais, muito mais

caros de produzir, e métodos de produção de silício diretamente em fita, eliminando o processo de corte dos lingotes de silício, e todos os custos associados (DÂMASO, 2007). Assim, em 1976, surgiu a primeira célula em silício amorfo hidrogenado (a-Si:H), que se tornaria a primeira tecnologia da geração do filme fino. O resultado desses e de outros avanços foi uma expressiva redução do custo da geração de energia por meio de tecnologia fotovoltaica.

Atualmente, de todas as tecnologias disponíveis para a produção de módulos fotovoltaicos, a que tem maior destaque é a dos módulos fabricados com células de lâminas de silício cristalino, responsável por mais de 90% do mercado mundial de módulos, conforme a Figura 5 (HOPF; SCHNEIDER, 2019). No mercado brasileiro, 74% dos módulos etiquetados pelo Instituto Brasileiro de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) foram de silício multicristalino, em contraste com 26% de silício monocristalino (ARAÚJO *et al.*, 2018).

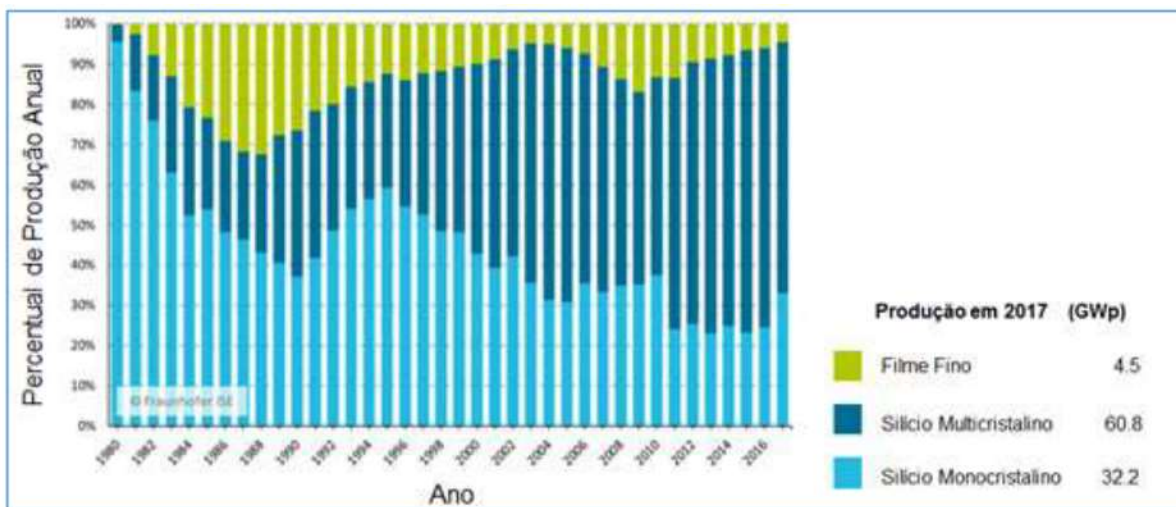


Figura 5: Distribuição da produção de células solares por tecnologia (HOPF; SCHNEIDER, 2019).

2.5.1.1. Energia Solar no Estado do Paraná

Dentre os 10 países com maior capacidade instalada em sistemas fotovoltaicos até o ano de 2016, cinco são europeus: Alemanha, Itália, Reino Unido, França e Espanha, os quais representam juntos aproximadamente 28% da capacidade instalada no planeta (REN21, 2017). Segundo Tiepolo *et al.* (2018), quando compara-se a média do estado do Paraná no plano inclinado na latitude em relação aos países europeus que mais utilizam energia solar fotovoltaica, verifica-se que a irradiação

média obtida no estado é 42,88% superior à da Alemanha, 2,13% superior à da Itália, 54,98% superior à do Reino Unido, 18,15% superior à da França e 8,22% inferior à da Espanha, revelando haver excelentes índices de irradiação no Paraná e grande potencial de aproveitamento da energia solar fotovoltaica.

2.6. Geração distribuída

O conceito de geração distribuída (GD) é amplo. Há muitos termos e definições usados na literatura para caracterizá-lo, não havendo, portanto, uma definição única para o termo. Dessa forma, prioriza-se a definição trazida pelo artigo 14 do Decreto-lei nº 5.163/2004 (BRASIL, 2004), o qual define a GD como a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente ao sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aqueles provenientes de hidroelétricas com capacidade instalada superior a 30 MW; e termelétricas, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75%. Em outras palavras, a GD é a geração e o armazenamento de energia elétrica em pequena escala, mais próximo ao centro de carga que as grandes centrais de geração, com opção de interagir com a rede.

Em dezembro de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa nº 482, de 17/04/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012), a qual estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Essa resolução visa diminuir barreiras regulatórias para a conexão de geração de pequeno porte disponível na rede de distribuição, bem como introduzir o sistema de compensação de energia elétrica. Além disso, foram estabelecidas as adequações necessárias aos Procedimentos de Distribuição (PRODIST). Esse sistema funciona como um arranjo no qual a energia injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica na fatura do mês subsequente (BARBOSA FILHO; AZEVEDO, 2016).

No ano de 2016, foi publicada a Resolução 687 da ANEEL, uma revisão da Resolução 482 (RIOS I.; RIOS E., 2017). A publicação da Resolução 687 tornou a geração da própria energia ainda mais atrativa do ponto de vista econômico, uma vez que, enquanto a Resolução 482 determinava que os créditos gerados pelo sistema

instalado deveriam ser consumidos dentro de um prazo de 36 meses, a Resolução 687 estendeu este prazo para 60 meses. Além dessa mudança, a Resolução trouxe a possibilidade do chamado autoconsumo remoto, permitindo que a energia gerada em um imóvel seja consumida por meio dos créditos injetados em outro imóvel, desde que ambos estejam dentro da área de atuação da concessionária (RIOS I.; RIOS E., 2017). Também houve o surgimento da possibilidade de a energia gerada em uma unidade consumidora ter seus créditos compartilhados com outras unidades de titularidade diferente através da chamada geração compartilhada. Além disso, também passou a ser possível o sistema de múltiplas unidades consumidoras, no qual um sistema de geração de energia é instalado para atender a várias unidades consumidoras (como no caso de condomínios residenciais).

Nesse sentido, um ponto que vale ressaltar é a distinção entre micro e minigerador. Além do surgimento de novas formas de arranjo de geração distribuída, a Resolução 482 define como microgeração os sistemas com potência instalada menor ou igual a 100 kW e como minigeração os sistemas com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW. Já a Resolução 687 define como microgeração os sistemas cuja potência instalada seja menor ou igual a 75 kW, e como minigeração os sistemas cuja potência instalada seja superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW. Se por um lado os sistemas de microgeração ficaram limitados a 75 kW, por outro, a resolução ampliou significativamente a potência máxima dos sistemas de minigeração, que passou de 1 MW, na Resolução 482, para 3 MW, na Resolução 687 (RIOS I.; RIOS E., 2017).

Outra grande mudança trazida pela Resolução 687 foi o custo da troca do medidor de energia, que deve ser substituído por um bidirecional, ou seja, que meça não apenas o consumo, mas também os créditos injetados na rede. Anteriormente, durante a vigência da Resolução 482, o custo da troca do medidor deveria ser pago pela unidade consumidora, mas, a partir da publicação da Resolução 687, esse custo passa a ser bancado integralmente pela concessionária caso o sistema seja de microgeração, ou seja, de até 75 kW.

A GD pode trazer consequências positivas para o sistema elétrico. Em linhas gerais, pode-se dizer que a inserção da GD no mercado de energia pode gerar benefícios à sociedade e ao sistema elétrico como um todo, uma vez que supre, de modo efetivo, o crescimento da demanda energética (BARBOSA FILHO; AZEVEDO, 2016). Nesse modelo de geração, o consumidor torna-se mais independente em

relação às distribuidoras quanto às tarifas e à disponibilidade, contribuindo para o aumento da estabilidade do sistema elétrico, para a redução da sobrecarga e, conseqüentemente, para a diminuição do índice de falhas, uma vez que o sistema não estará sujeito a longas redes de transmissão e distribuição de energia (SILVA *et al.*, 2018).

No entanto, a geração distribuída também pode gerar desvantagens para o sistema elétrico: o aumento do seu custo de operação; a diminuição do faturamento das usinas geradoras de energia e, por conseguinte, das transmissoras e distribuidoras; e a redução da flexibilidade do sistema, uma vez que há incremento no número de regiões do sistema elétrico que não são controladas pelos operadores de rede (NARUTO, 2017). Além dessas desvantagens, há o fato de que um número maior de geradores injetando energia na rede pode prejudicar a proteção do sistema, bem como acarretar um aumento da tensão de forma imprópria (NARUTO, 2017).

2.7. Métodos de avaliação econômica

A viabilidade econômica de um projeto de instalação de um sistema de energia distribuída com geração fotovoltaica ou com geração de biogás em uma propriedade produtora de leite enquadra-se em um estudo de caso (GIL, 2009). Apesar de tanto análises econômicas quanto financeiras serem capazes de avaliar a rentabilidade de um projeto de investimento, o conceito de benefício em análise econômica difere significativamente desse conceito em análise financeira (CHAKRABARTY *et al.*, 2013).

O investimento em plantas produtoras de biogás para propriedades familiares é frequentemente justificado com base em análises financeiras de custo-benefício, em termos de capacidade de prover um combustível superior ao querosene e ao carvão vegetal. Essas propriedades avaliam o rendimento de plantas de biogás primariamente através do ganho monetário da utilização do biogás e do biofertilizante em relação ao investimento necessário para a construção do sistema (CHAKRABARTY *et al.*, 2013). Enquanto análises financeiras dizem respeito à relação custo-benefício que o proprietário do projeto terá, análises econômicas consideram externalidades ligadas à execução de um projeto. Nesse sentido, a avaliação econômica possui um escopo muito mais amplo que a análise financeira. O custo-benefício econômico é uma das ferramentas mais eficientes e mais amplamente

utilizadas para avaliar se um investimento será viável ou não, levando também em conta aspectos ambientais e sociais (CHAKRABARTY *et al.*, 2013). Podem ser listados como benefícios e transformados em valores monetários para fins de avaliação econômica: a economia com a substituição de outras fontes de energia (como lenha ou carvão) pelo biogás e a substituição do uso de fertilizantes químicos pelo biofertilizante, se aplicável na propriedade de estudo, ou a venda do biofertilizante (GARFÍ *et al.*, 2012).

Quando é realizada uma análise econômica de custo-benefício para um projeto de investimento, todos os custos e benefícios atribuídos exclusivamente ao projeto são considerados numa comparação entre a situação “com projeto” e a situação “sem projeto”. O valor presente líquido (VPL) e o *Payback* são usados para determinar a viabilidade econômica de uma planta de biogás (CHAKRABARTY *et al.*, 2013). O VPL consiste em transformar em valor presente uma série de receitas e desembolsos de determinado projeto; o *Payback* é o tempo necessário para reaver o capital investido no projeto. Morais (2012) demonstrou a grande viabilidade técnica e econômica do uso de biodigestor tubular com resíduos da suinocultura para geração de energia elétrica em sistema conectado à rede. O autor fez uso do VPL para a avaliação econômica.

No caso da energia solar fotovoltaica, a análise econômica é mais simples pelo fato de que não há subprodutos dessa forma de geração de energia (como é o biofertilizante quando se usam biodigestores), levando-se em conta para a análise econômica os desembolsos iniciais para a instalação do sistema e os custos evitados com a produção da energia. Para Bai *et al.* (2019), o VPL é o principal indicador econômico para avaliar a performance econômica de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede. Okoye *et al.* (2016) avaliaram a viabilidade econômica do uso de sistemas fotovoltaicos na Nigéria usando o VPL. Os autores concluíram que o uso dessa fonte de energia é técnica e economicamente viável para uso em áreas residenciais urbanas na Nigéria. Para Halder (2016), sistemas solares são economicamente viáveis mesmo para pequenos negócios locais de pequena renda e para residências.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da propriedade de estudo

A propriedade de estudo está localizada no município de Brasilândia do Sul, no estado do Paraná, na mesorregião noroeste do estado, na microrregião de Umuarama. Situa-se em latitude 24°13'32" S e longitude 53°31'51" e sua cobertura possui um desvio azimutal de 33°.



Figura 6: Vista superior da propriedade de estudo (AUTORA, 2018).

O período relativo ao estudo se deu entre junho de 2018 e maio de 2019. Nesse período, a propriedade trabalhou com 68 bovinos em lactação da raça gado holandês puro confinados no sistema de produção *free-stall*, conforme a Figura 7. Segundo dados do produtor, a produção mensal média de leite foi igual a 47.014,83 litros por mês no ano de 2018 e igual a 51.357,17 litros por mês no primeiro semestre de 2019. A fazenda faz parte de um sistema de integração no qual a produção mensal é transportada por caminhão até as dependências do laticínio, onde o processo de industrialização do leite ocorre. Além da produção de leite, a propriedade contava com 53 hectares de plantação de milho para silagem, a qual era utilizada na alimentação

dos animais.



Figura 7: Animais na área de estábulo e animais na área de alimentação, ao fundo (AUTORA, 2018).

O barracão onde ficam os bovinos é construído em alvenaria, aberto nas laterais e possui pé direito de 3,4 m na parte mais baixa da cobertura e 5,4 m na parte mais alta. O barracão é limpo 2 vezes ao dia com uso de água sob pressão de uma mangueira com jato e uma vassoura, com auxílio das quais os dejetos são empurrados em direção às canaletas que atravessam o barracão, conduzindo-os a uma esterqueira vizinha à construção. As canaletas ficam dentro do barracão, cobertas pelo telhado e próximas às paredes externas, o que evita que a água da chuva se misture com a água da lavagem do local. A esterqueira para onde os dejetos lavados são conduzidos é cavada no solo e forrada ao fundo com lona.



Figura 8: Detalhe de uma das canaletas do barracão (AUTORA, 2018).

Foi realizada visita à propriedade a fim de fazer levantamento das dimensões do barracão onde ficam os animais e da posição solar e inclinação da cobertura, dados que foram usados como entrada no cálculo do dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, conforme a Tabela 3. A cobertura é composta por telhas de aço galvanizado e tem uma área total de 626,18 m², que foram calculados de acordo com as dimensões e inclinação apresentadas na planta-baixa do barracão fornecida pelo dono da propriedade.

Tabela 3. Dados geométricos da cobertura (°)

Inclinação	14
Desvio azimutal	33

Fonte: Autoria própria.

A propriedade caracteriza-se como o chamado grupo B de consumidores de

energia, subgrupo B2 – rural, o que significa que é atendida em tensão de 2,3 kV pela rede de distribuição da Companhia Paranaense de Energia (COPEL). A propriedade também é atendida por rede trifásica, com custo de disponibilidade para 100 kWh.

Os dados de consumo energético da propriedade durante 12 meses, de junho de 2018 a maio de 2019, foram fornecidos pelo dono do local.

3.2. Projeto fotovoltaico

Uma vez feito o levantamento geométrico da cobertura da propriedade e em posse dos dados de consumo mensal, procedeu-se ao levantamento da radiação solar incidente diária no plano inclinado e com desvio azimutal na cobertura do barracão dos bovinos. Fez-se uso do *software* gratuito Radasol 2, inserindo-se os valores de latitude, longitude, inclinação e desvio azimutal da cobertura. O programa retornou os valores em kWh.m⁻².dia⁻¹ para cada mês considerado. Tais valores foram multiplicados pelo número de dias de cada mês, resultando em uma média mensal de radiação solar incidente.

Uma vez encontrados os valores de radiação incidente na cobertura do barracão, calculou-se a energia de compensação mensal do sistema, descontando-se do consumo médio mensal os 100 kWh do custo de disponibilidade da rede trifásica de distribuição; depois, calculou-se a energia em kWh.mês⁻¹ a ser gerada idealmente pelo sistema de forma a atender à demanda energética da propriedade de estudo. O valor mensal de energia de compensação foi dividido por 30, para que se obtivesse um valor diário.

Calculou-se a potência ideal do sistema dividindo-se o valor de energia de compensação diária pela média diária de radiação solar no plano inclinado. Foi adotado um fator de desempenho global (FP) de 0,70 (AUGUSTIN, 2018). Dividiu-se a potência ideal pelo FP, obtendo-se a potência real do sistema.

Em seguida, foi feita uma pesquisa de mercado para a escolha do módulo fotovoltaico e do inversor interativo a ser escolhido. Dividindo-se a potência real do sistema pela potência do modelo de módulo fotovoltaico escolhido, chegou-se ao número de módulos necessário para atender ao sistema. Multiplicando-se a radiação solar mensal no plano inclinado com desvio azimutal, o FP e a potência do sistema, encontrou-se o potencial de geração mensal do sistema.

Foram verificadas a elevação de tensão do sistema com a queda da

temperatura na superfície do painel fotovoltaico, bem como a queda da tensão do sistema com o aumento da temperatura na superfície do painel fotovoltaico.

3.3. Projeto do biodigestor tubular

Inicialmente, foi calculada a produção diária de efluentes (fezes, urina dos animais e água de lavagem do barracão) multiplicando-se o valor tabelado pela EMBRAPA (2018) – igual a $93,7 \text{ L.animal}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ para bovinos de leite – pelo número de animais da propriedade.

Após, estabeleceu-se o TRH em 30 dias (ALVES, 2017). Tendo sido determinada a quantidade de efluentes produzidos por dia e fixado o TRH, procedeu-se à elaboração do projeto geométrico do biodigestor de acordo com a metodologia proposta por Alves (2017), a qual segue:

- a) O volume total da fossa do biodigestor foi calculado através da equação (3):

$$Vfb = Vc \times TRH \quad (3)$$

em que Vfb representa o volume da fossa do biodigestor (m^3); Vc representa o volume da carga diária (m^3/dia) e TRH, o tempo de retenção hidráulica (dias).

- b) O volume total da fossa do biodigestor encontrado em função do volume da carga diária (Vc) e do tempo de retenção hidráulica (TRH) é equivalente ao volume geométrico (VG) da fossa em formato trapezoide. VG é calculado através da equação (4):

$$VG = \frac{a + b}{2} \times h \times L \quad (4)$$

na qual a e b são as médias (m) da base superior e inferior, respectivamente, do trapézio que forma a seção transversal da fossa; h é altura útil da fossa (m) e L é o comprimento longitudinal da fossa (m), conforme a Figura 9:

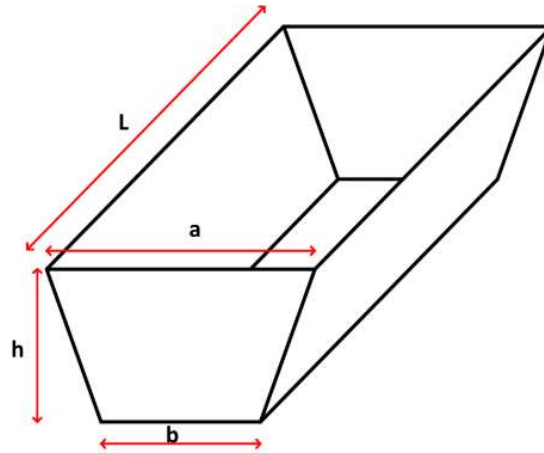


Figura 9: Fossa de seção trapezoidal do biodigestor tubular (ALVES, 2017).

- c) Para determinar o valor das três incógnitas (a , b e h) da equação (4), foi considerado o valor de 110° de inclinação do talude (ALVES, 2017) e uma relação de 1:5 entre a largura a e o comprimento L da fossa de biodigestão (Feiden *et al*, 2004). Dessa forma, isolando o triângulo retângulo da seção trapezoidal da fossa (Figura 10) e a inclinação do talude igual a 110° , o valor de θ encontrado é igual a 20° , pois equivale à subtração do ângulo reto dos 110° de inclinação do talude.

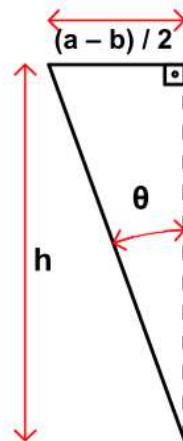


Figura 10: Triângulo retângulo isolado da seção trapezoidal da fossa (ALVES, 2017).

Dessa forma, chegou-se à equação (5), por meio da função tangente:

$$a = 0,7279h + b \quad (5)$$

- d) Estabelecida a relação entre a largura a e o comprimento L e aplicando-a à equação (5), chegou-se à equação (6):

$$L = 3,6395h + 5b \quad (6)$$

- e) Substituiu-se na equação (4) o valor de a pela equação (5) e o valor de L pela equação (6), chegando-se à equação (7), a qual relaciona Vfb com h e b .

$$Vfb = 1,3245h^3 + 5,459bh^2 + 5hb^2 \quad (7)$$

Sendo Vfb a função do volume da carga diária e do tempo de retenção hidráulica e h determinado de acordo com a Tabela 4, obteve-se o valor de b e, conseqüentemente, das demais dimensões da fossa de biodigestão.

Tabela 4: Relação entre volume e altura da fossa

Volume (m ³)	h (m)
0 - 100	1,5
101 - 500	2,5
501 - 2000	3,5
2001 -	4,5

Fonte: Alves (2017).

Calculados o volume e as demais dimensões da fossa de biodigestão, procedeu-se ao cálculo da produção diária de biogás com base no valor tabelado para bovinos de leite, o qual corresponde a $0,674 \text{ m}^3 \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ (Medeiros *et al.*, 2019).

Por fim, foram calculadas as dimensões dos elementos complementares (lona de impermeabilização da fossa, lona de cobertura para o gasômetro, caixa de entrada e caixa de saída) conforme a metodologia proposta por Alves (2017).

3.4. Avaliação econômica

Foi observado o horizonte de projeto de 25 anos para cada uma das fontes de geração de energia consideradas. A viabilidade econômica de cada uma das alternativas propostas – sistema de painéis solares conectados à rede e biodigestor

tubular para a geração de energia elétrica conectado à rede – foi calculada utilizando-se o VPL e o *Payback*.

Para o projeto fotovoltaico, foram levados em consideração os custos de implantação e manutenção periódica e os custos evitados com a geração de energia na propriedade. Para o projeto do biodigestor, foram ponderados os custos de implantação e manutenção periódica e os custos evitados tanto com a aplicação do biofertilizante quanto com a geração de energia na propriedade.

Os custos dos equipamentos para a implantação de cada um dos projetos foram cotados com empresas do mercado no ano de 2019. Para o projeto fotovoltaico, os custos de implantação incluíram o valor dos módulos fotovoltaicos, do inversor interativo, dos materiais de fixação e da mão de obra de projeto e de instalação. Para o projeto do biodigestor, os custos de implantação incluíram o valor da escavação da fossa de digestão, da lona para recobrimento da fossa, da lona para o armazenamento do gás, dos materiais para construção das caixas de entrada e de saída e do conjunto motor-gerador.

Foram considerados dois cenários econômicos para cada um dos projetos – um no qual o investimento inicial seria pago à vista, e outro no qual o investimento inicial seria 100% financiado nas condições oferecidas no ano de 2019 pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF – em 10 anos, a uma taxa de juros anual igual a 3%.

Em projetos para pessoas físicas no Brasil, a taxa mínima de atratividade (TMA) é geralmente igual à rentabilidade da caderneta de poupança; no caso de projetos para empresas, a determinação da TMA depende de fatores como prazo ou importância estratégica de alternativas (CASAROTTO FILHO e KOPITCKE, 1996). Neste trabalho, optou-se por utilizar para a TMA o valor de 6,5%, tendo como referência a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) referente ao mês de junho de 2019. Além da TMA, foi levada em consideração nas análises o impacto da inflação, cujo valor usado foi igual à média dos últimos 10 anos (WORLDWIDE INFLATION, 2021).

O *Payback* de cada projeto foi calculado pela equação (8):

$$\sum_j^N \frac{FC_j}{((1 + TMA) \times (1 + I))^j} \geq |FC_0| \quad (8)$$

em que N representa o horizonte de planejamento do projeto, FC_0 representa o fluxo de caixa no período zero, FC_j expressa o fluxo de caixa no período de recuperação dos investimentos no empreendimento, TMA representa a taxa mínima de atratividade e i representa a inflação (RASOTO *et al.*, 2012).

O VPL de cada projeto foi calculado pela equação (9):

$$VPL = \sum_0^n Fn(1 + i)^{-n} \quad (9)$$

na qual n representa o número de períodos em cada elemento de receitas e despesas do fluxo de caixa, F_n representa os valores envolvidos no fluxo de caixa líquido e i representa a taxa mínima de atratividade (TMA) (BALDIN, 2013).

3.4.1. Cálculo do custo evitado com uso do biofertilizante

Uma vez que há 53 hectares de plantação de milho para silagem na propriedade, considerou-se o custo evitado em fertilizantes minerais com a produção de biofertilizante.

Para o cálculo do custo evitado com a produção do biofertilizante, foi feita uma estimativa das quantidades dos nutrientes presentes, relacionando-as, a seguir, aos valores presentes em fertilizantes minerais industrializados. Sendo o nitrogênio (N), o fósforo (P_2O_5), e o potássio (K_2O) macronutrientes primários, requeridos em maiores quantidades pelas plantas, foi considerada a concentração equivalente desses nutrientes conforme apresentado na tabela 5, de acordo com Kunz *et al.* (2019).

Tabela 5. Quantidade de nutrientes em resíduos de bovinos de leite ($kg.animal^{-1}.ano^{-1}$)

Nutriente		
N	P_2O_5	K_2O
65,6	36,8	61,8

Fonte: Autoria própria com dados de Kunz *et al.* (2019).

Assim, para estimar o potencial anual de nutrientes em $kg.ano^{-1}$ do biodigestor, multiplicaram-se os valores da Tabela 5 pelo número de animais da propriedade. Depois, foi calculado o valor em kg de fertilizantes minerais disponíveis no mercado

(ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio) necessário para suprir a mesma quantidade de nutrientes presentes no efluente do biodigestor. Por fim, fez-se a cotação do preço em R\$ da tonelada dos fertilizantes minerais – ureia, cloreto de potássio e superfosfato triplo (INDEX MUNDI, 2021) – para estimar o custo evitado com a produção do biofertilizante. Os valores foram cotados referentes ao mês de maio de 2019, que foi o mês do último consumo de energia fornecido pelo produtor.

3.4.2. Cálculo do custo evitado com uso do biogás para geração de eletricidade

Para o cálculo do custo a ser evitado anualmente pelo aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica, foi considerado o fator de conversão de 1 m³ de biogás equivalente a 1,43 kWh (FERRAZ e MARIEL, 1980; SGANZERLA, 1983). A média do valor da tarifa aplicada pela concessionária durante o período avaliado foi igual a R\$ 0,41 por kWh. Dessa forma, o custo anual evitado em energia elétrica (CEN) é calculado por meio da equação (13):

$$CEN = PB \times 1,43 \times 0,41 \times 12 \quad (13)$$

em que PB corresponde à produção mensal de biogás em m³.mês⁻¹.

3.4.3. Custo aplicado no investimento inicial

O valor do investimento inicial foi feito com base no volume da fossa do biodigestor, que, uma vez calculado, foi multiplicado por um fator de investimento, conforme Alves (2017). Assim, o investimento total foi calculado como sendo igual a R\$ 519,80 para cada m³ de fossa do biodigestor.

3.4.4. Custo aplicado com manutenções periódicas

De acordo com Kohler (2017 *apud* ALVES, 2017), os custos com manutenções periódicas anualizados são equivalentes a 5% do investimento inicial. Assim, tal valor foi calculado com a equação (14):

$$CMP = CINV \times 0,05 \quad (14)$$

em que CMP corresponde ao custo com manutenções periódicas e CINV ao custo com investimentos iniciais.

3.4.5. Custo aplicado com manutenções quinquenais

Os custos com manutenções a cada quinquênio foram considerados como o equivalente a 10% do investimento inicial (KOHLE, 2017 *apud* ALVES, 2017). Segundo Alves (2017), os gastos com manutenções a cada cinco anos devem ser anualizados por um fator de correção igual a 1,3945:

$$CMQ = CINV \times 0,1 \times 1,3945 \quad (15)$$

em que CMQ corresponde ao custo com manutenções quinquenais.

3.4.6. Custo aplicado com licenciamento ambiental

Por fim, foram considerados os custos com licenciamento ambiental para o biodigestor, cujos valores constam na Tabela 6:

Tabela 6 – Taxas e impostos aplicados	
Taxas e impostos	Valor (R\$)
Licença prévia	8037,19
Licença de instalação	8744,06
Licença de operação	6.429,75
Custo total	23211,00

Fonte: Gonçalves *et al.* (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de consumo mensal de energia elétrica fornecidos constam na

Tabela 7. A média de consumo mensal calculada foi igual a 5.413,42 kWh.mês⁻¹.

Tabela 7. Consumo mensal (kWh.mês⁻¹)

jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19
3274,0	3381,0	3843,0	5732,0	4905,0	4113,0	5307,0	8359,0	8760,0	5776,0	5884,0	5627,0

4.1. Sistema fotovoltaico

Os valores de radiação solar no plano inclinado com desvio azimutal retornados pelo *software* Radiasol estão dispostos na Tabela 8. O valor médio encontrado foi igual a 5,43 kWh.m⁻².dia⁻¹.

Tabela 8. Radiação solar no plano inclinado com desvio azimutal (kWh.m⁻².dia⁻¹)

2018							2019					
jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	
3,97	4,24	4,94	5,51	6,04	6,44	6,63	6,52	6,03	5,74	5,15	3,99	

Os valores mensais de radiação solar no plano inclinado com desvio azimutal podem ser verificados na Tabela 9. O valor médio encontrado foi igual a 165,17 kWh.m⁻².mês⁻¹.

Tabela 9. Radiação solar no plano inclinado com desvio azimutal (kWh.m⁻².mês⁻¹)

2018							2019					
jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	
119,1	131,4	153,1	165,3	187,2	193,2	205,5	202,1	168,8	177,9	154,5	123,6	

O valor ideal de energia a ser gerado pelo sistema fotovoltaico de forma a atender às necessidades energéticas da propriedade de estudo, descontados os 100 kWh mensais da taxa de disponibilidade da rede trifásica, foi calculado como 5.313,42 kWh.mês⁻¹; o valor diário foi igual a 177,11 kWh.dia⁻¹.

Quanto à escolha do módulo fotovoltaico, foi feito um levantamento entre diversos fornecedores. Optou-se pelo módulo Canadian CS6U- 325, com 325 Wp, cujo *datasheet* fornecido pelo fabricante encontra-se na Figura 11.

ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	239 W	243 W	247 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.0 V	34.2 V	34.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.03 A	7.10 A	7.17 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.5 V	42.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.63 A	7.70 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 35 mm (77.2 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

Figura 11: *Datasheet* do módulo fotovoltaico escolhido. Autoria própria.

Optou-se também, para atender às especificidades do sistema, pelo inversor modelo Canadian CSI-40KTL-GI-FL, o qual possui quatro entradas de seguidor de ponto de máxima potência (SPMP), cujas informações de funcionamento estão no *datasheet* fornecido pelo fabricante, que se encontra na Figura 12.

Model	CSI-40KTL-GI-FL
Max power per MPPT (Watts)	16000
Max voltage (Volts)	1100
Startup voltage (Volts)	200
Operating MPPT voltage range (Volts)	200...1000
Max usable input current per MPPT (Amps)	88A (22A per MPPT)
Max short circuit input current (Amps)	34.3
Number of MPPT	4
Input strings number	2
Nominal output power(Watts)	40000
Max. output power(Watts)	44000
Max. apparent output power(VA)	44000
Nominal grid voltage (Volts)	400
Operating voltage range (Volts)	304...460V
Rated output current	58
Output power factor range	0.8leading~0.8lagging
Grid current THD	<3%
Nominal grid frequency (Hertz)	50/60
Operating frequency range (Hertz)	47...52 or 57...62
Peak efficiency	98.8%
CEC weighted efficiency	98.4%
MPPT efficiency	>99.9%
Rapid shutdown	Optional
Dimensions(cm)	630W*700H*357D
Weight(kg)	61kg
Topology	Transformerless
Ambient operating temperature range	-25°C...60°C
Enclosure type	IP65
Noise emission (typical)	<30 dBA
Cooling concept	Natural convection
Max. operating altitude without derating	4000m
Designed lifetime	>20 years
Compliance	EN50438, G83/2, G59/3, AS4777.2:2015, VDE0126-1-1, IEC61727, VDE N4105
Operating surroundings humidity	0...100% Condensing
Connention	MC- mateable and OT Terminal connect
Display	LCD, 2×20 Z.
Interface	RS 485, WIFI/GPRS (optional)
Warranty Terms	5 Years STD (Extendable to 20 Years)

Figura 12: *Datasheet* do inversor Canadian CSI-40KTL-GI-FL. Autoria própria.

O sistema foi dimensionado em 144 módulos fotovoltaicos dispostos em 8 strings de 18 módulos cada. Para acomodar o sistema, seria necessária uma área de cobertura igual a 285,7 m². A face voltada ao norte do telhado do barracão, que possui

uma posição solar mais favorável, tem área igual a 313,1 m², sendo possível dispor todo o sistema na água do telhado que proporciona melhor aproveitamento do potencial solar.

No inversor, o qual possui 4 entradas de seguidor de ponto de máxima potência (SPMP), foram conectadas 2 strings por SPMP. O processo de escolha dos módulos e do inversor se mostrou iterativo, pois os módulos precisavam ser dispostos em um sistema compatível com a faixa de tensão e a corrente de funcionamento do inversor – assim, mesmo havendo módulos de maior potência ou menor preço no mercado, estes não puderam ser dispostos em um sistema que, ao mesmo tempo, atendesse à demanda energética da propriedade e pudesse ser ligado aos inversores disponíveis no mercado trabalhando dentro de sua faixa de operação.

O custo total do sistema foi de R\$ 171.687,10. A Tabela 10 discrimina os valores dos componentes do sistema.

Tabela 10. Valores dos itens do projeto fotovoltaico

Item	Valor
144 Módulos Fotovoltaicos Canadian CS6U- 325	R\$ 103.680,00
Inversor Canadian CSI-40KTL-GI-FL (com string box)	R\$ 28.387,00
Mão de obra para instalação	R\$ 13.206,70
Estrutura de fixação e cabeamento	R\$ 19.810,05
Projeto	R\$ 6.603,35
Total	R\$ 171.687,10

Levando-se em conta o incremento médio anual na tarifa de energia, a inflação e a TMA no primeiro cenário – no qual o sistema seria pago à vista e o inversor iterativo seria substituído a cada 10 anos – o *Payback* do projeto foi igual a 8 anos e o VPL do projeto foi igual a R\$274.419,67, conforme a Tabela 11. O VPL positivo indica que o projeto é economicamente viável.

Tabela 11. Fluxo de caixa do projeto fotovoltaico

Período (anos)	Custos	Receitas	Saldo Acumulado
0	R\$ -171.687,10	R\$ -	R\$ -171.687,10
1	R\$ -	R\$ 28.641,19	R\$ -146.297,06
2	R\$ -	R\$ 31.379,28	R\$ -121.637,35
3	R\$ -	R\$ 34.379,14	R\$ -97.686,98

Continuação da Tabela 11. Fluxo de caixa do projeto fotovoltaico

4	R\$	-	R\$ 37.665,79	R\$ -74.425,53
5	R\$	-	R\$ 41.266,64	R\$ -51.833,19
6	R\$	-	R\$ 45.211,73	R\$ -29.890,72
7	R\$	-	R\$ 49.533,97	R\$ -8.579,41
8	R\$	-	R\$ 54.269,42	R\$ 12.118,88
9	R\$	-	R\$ 59.457,57	R\$ 32.221,80
10	R\$	-28.387,00	R\$ 65.141,72	R\$ 43.238,14
11	R\$	-	R\$ 71.369,27	R\$ 62.201,17
12	R\$	-	R\$ 78.192,17	R\$ 80.618,74
13	R\$	-	R\$ 85.667,34	R\$ 98.506,53
14	R\$	-	R\$ 93.857,14	R\$ 115.879,79
15	R\$	-	R\$ 102.829,88	R\$ 132.753,30
16	R\$	-	R\$ 112.660,42	R\$ 149.141,46
17	R\$	-	R\$ 123.430,75	R\$ 165.058,21
18	R\$	-	R\$ 135.230,73	R\$ 180.517,13
19	R\$	-	R\$ 148.158,79	R\$ 195.531,37
20	R\$	-28.387,00	R\$ 162.322,77	R\$ 207.563,57
21	R\$	-	R\$ 177.840,83	R\$ 221.726,47
22	R\$	-	R\$ 194.842,41	R\$ 235.481,98
23	R\$	-	R\$ 213.469,35	R\$ 248.841,82
24	R\$	-	R\$ 233.877,02	R\$ 261.817,37
25	R\$	-	R\$ 256.235,66	R\$ 274.419,67

Fonte: Autoria própria.

No segundo cenário (para o qual também foram considerados os impactos da inflação, do incremento da tarifa e da TMA, e a substituição a cada 10 anos do inversor), com o custo do investimento inicial do sistema sendo pago por meio de financiamento em 10 parcelas fixas de R\$ 20.126,97, houve retorno financeiro desde o primeiro ano. Isso ocorreu pelo fato de que o valor da parcela anual do financiamento ficou menor do que a receita anual proporcionada pela geração de energia do sistema, conforme a Tabela 12. Nela, observa-se que o saldo acumulado já é positivo desde o primeiro ano. Para esse cenário, o VPL foi igual a R\$ 796.479,68.

Tabela 12. Fluxo de caixa do projeto fotovoltaico financiado

Período	Custos	Receitas	Saldo VPL acumulado
0	R\$ -	R\$ -	
1	R\$ -20.126,97	R\$ 28.641,19	R\$ 7.994,57
2	R\$ -20.126,97	R\$ 31.379,28	R\$ 17.915,28
3	R\$ -20.126,97	R\$ 34.379,14	R\$ 29.713,94

Continuação da Tabela 12. Fluxo de caixa do projeto fotovoltaico financiado

4	R\$ -20.126,97	R\$ 37.665,79	R\$ 43.347,27
5	R\$ -20.126,97	R\$ 41.266,64	R\$ 58.776,71
6	R\$ -20.126,97	R\$ 45.211,73	R\$ 75.968,15
7	R\$ -20.126,97	R\$ 49.533,97	R\$ 94.891,74
8	R\$ -20.126,97	R\$ 54.269,42	R\$ 115.521,68
9	R\$ -20.126,97	R\$ 59.457,57	R\$ 137.836,03
10	R\$ -48.513,97	R\$ 65.141,72	R\$ 146.694,06
11	R\$ -	R\$ 71.369,27	R\$ 182.393,85
12	R\$ -	R\$ 78.192,17	R\$ 219.119,37
13	R\$ -	R\$ 85.667,34	R\$ 256.900,10
14	R\$ -	R\$ 93.857,14	R\$ 295.766,36
15	R\$ -	R\$ 102.829,88	R\$ 335.749,35
16	R\$ -	R\$ 112.660,42	R\$ 376.881,14
17	R\$ -	R\$ 123.430,75	R\$ 419.194,75
18	R\$ -	R\$ 135.230,73	R\$ 462.724,12
19	R\$ -	R\$ 148.158,79	R\$ 507.504,21
20	R\$ 28.387,00	R\$ 162.322,77	R\$ 545.514,78
21	R\$ -	R\$ 177.840,83	R\$ 592.905,11
22	R\$ -	R\$ 194.842,41	R\$ 641.657,07
23	R\$ -	R\$ 213.469,35	R\$ 691.809,80
24	R\$ -	R\$ 233.877,02	R\$ 743.403,53
25	R\$ -	R\$ 256.235,66	R\$ 796.479,68

Fonte: Autoria própria.

Em ambos os fluxos de caixa, os valores das receitas (provenientes dos custos evitados através da geração da própria energia mediante o sistema) foram crescentes, pois foi considerado um incremento anual de 9,56% na tarifa de energia. Assim, considerando um horizonte futuro em que as tarifas de energia crescem anualmente em relação à taxa considerada, os custos evitados através do projeto também são crescentes. O valor de 9,56% do incremento anual da tarifa de energia foi fixado fazendo-se uma média da variação anual das tarifas da concessionária nos últimos 9 anos (ANEEL, 2021).

Uma vez que o VPL maior que zero indica que o investimento traz rendimentos maiores do que os custos (MORENO, 2015), ambos os cenários se mostraram economicamente viáveis. No entanto, o cenário de maior VPL e, portanto, mais interessante do ponto de vista financeiro foi aquele em que o custo inicial do projeto foi pago mediante financiamento – isso indica que, mesmo que o produtor tivesse capital disponível para pagar pelo projeto à vista, seria mais rentável a longo prazo

contrair o financiamento nas condições apresentadas.

4.2. Projeto do biodigestor

O volume da fossa de digestão calculado foi igual a 191,15 m³, suficiente para receber a carga diária de 6,37 m³.dia⁻¹ de dejetos. Quanto à alocação do biodigestor, haveria área suficiente para aloca-lo na vizinhança do barracão, o que otimizaria os custos com a tubulação de entrada dos dejetos na fossa de digestão. Os custos para a implementação do sistema de biodigestão estão discriminados na Tabela 13.

Tabela 13. Custos para implantação do biodigestor

Item	Valor
Construção do biodigestor	R\$ 99.358,73
Custo de manutenções periódicas	R\$ 4.967,94
Custo de manutenções quinquenais	R\$ 13.855,57
Licenciamento ambiental	R\$ 23.211,00
Custo total	R\$ 141.393,24

Fonte: Autoria própria.

A produção mensal de biogás calculada foi igual a 20,22 m³.animal⁻¹, um valor inferior aos 28,50 m³.animal⁻¹ adotado por Alves (2017), o que leva a uma estimativa mais conservadora do custo evitado com a produção de energia através do biogás. O sistema, portanto, seria capaz de produzir mensalmente 1.374,96 m³ de biogás, gerando 1.966,19 kWh de energia elétrica a cada mês – um valor inferior ao consumo médio mensal de energia elétrica da propriedade.

O custo evitado anualmente com a geração de energia proveniente do biogás foi calculado em R\$ 9.673,67; já o custo evitado anualmente com a utilização do biofertilizante na propriedade foi calculado em R\$ 23.750,00. Atualmente, a propriedade conta com uma esterqueira que recebe os dejetos dos animais, que são posteriormente utilizados sem nenhum tratamento adicional como fertilizante da cultura de milho para silagem. Assim, levando-se em conta o incremento médio anual na tarifa de energia, a inflação e a TMA, foram delineados 4 cenários possíveis para a verificação da viabilidade econômica do sistema:

1. Sistema 100% financiado nas condições do PRONAF e com aproveitamento do biofertilizante na propriedade.
2. Sistema pago à vista e com aproveitamento do biofertilizante na propriedade.
3. Sistema 100% financiado nas condições do PRONAF e sem aproveitamento do biofertilizante.
4. Sistema pago à vista e sem aproveitamento do biofertilizante.

Em todos os cenários considerados, as receitas tiveram valores crescentes, pois foi considerada a variação anual média da tarifa de energia, cujo incremento recaiu sobre o valor do custo evitado através da geração de energia elétrica com o biogás.

Na Tabela 14, verifica-se o fluxo de caixa com saldo em valor presente acumulado do primeiro cenário. O financiamento, que seria pago em 10 anos, teve parcelas anuais igual a R\$ 16.575,60.

Tabela 14. Fluxo de caixa do biodigestor para o cenário 1

Período (anos)	Custos	Receitas	Saldo acumulado
0	R\$ -	R\$ -	R\$ -
1	R\$ -16.575,60	R\$ 34.348,47	R\$ 17.768,19
2	R\$ -16.575,60	R\$ 35.361,69	R\$ 36.270,57
3	R\$ -16.575,60	R\$ 36.471,76	R\$ 55.344,68
4	R\$ -16.575,60	R\$ 37.687,96	R\$ 74.848,75
5	R\$ -16.575,60	R\$ 39.020,43	R\$ 94.659,34
6	R\$ -16.575,60	R\$ 40.480,29	R\$ 114.669,13
7	R\$ -16.575,60	R\$ 42.079,70	R\$ 134.785,12
8	R\$ -16.575,60	R\$ 43.832,02	R\$ 154.926,85
9	R\$ -16.575,60	R\$ 45.751,86	R\$ 175.024,98
10	R\$ -16.575,60	R\$ 47.855,24	R\$ 195.019,95
11	R\$ -	R\$ 50.159,70	R\$ 219.264,99
12	R\$ -	R\$ 52.684,47	R\$ 242.812,63
13	R\$ -	R\$ 55.450,60	R\$ 265.682,94
14	R\$ -	R\$ 58.481,18	R\$ 287.895,38
15	R\$ -	R\$ 61.801,48	R\$ 309.468,89
16	R\$ -	R\$ 65.439,20	R\$ 330.421,84
17	R\$ -	R\$ 69.424,69	R\$ 350.772,08
18	R\$ -	R\$ 73.791,19	R\$ 370.536,96
19	R\$ -	R\$ 78.575,13	R\$ 389.733,31
20	R\$ -	R\$ 83.816,41	R\$ 408.377,47

Continuação da Tabela 14. Fluxo de caixa do biodigestor para o cenário 1

21	R\$	-	R\$ 89.558,76	R\$ 426.485,35
22	R\$	-	R\$ 95.850,08	R\$ 444.072,35
23	R\$	-	R\$ 102.742,84	R\$ 461.153,47
24	R\$	-	R\$ 110.294,56	R\$ 477.743,25
25	R\$	-	R\$ 118.568,22	R\$ 493.855,84

Fonte: Autoria própria.

Para o cenário em que o investimento inicial é financiado, o saldo em valor presente acumulado foi positivo já desde o primeiro ano, pois o custo evitado com o uso do biofertilizante foi superior ao valor da parcela do financiamento – semelhante ao que ocorreu com o sistema fotovoltaico financiado. Assim, o VPL foi igual a R\$ 493.855,84, mostrando a viabilidade econômica do cenário considerado.

Na Tabela 15, verifica-se o fluxo de caixa com saldo em valor presente acumulado do segundo cenário.

Tabela 15. Fluxo de caixa do biodigestor para o cenário 2

Período (anos)	Custos	Receitas	Saldo acumulado
0	R\$ -141.393,24	R\$ -	R\$ -141.393,24
1	R\$ -	R\$ 34.348,47	R\$ -110.943,77
2	R\$ -	R\$ 35.361,69	R\$ -83.154,45
3	R\$ -	R\$ 36.471,76	R\$ -57.746,25
4	R\$ -	R\$ 37.687,96	R\$ -34.471,10
5	R\$ -	R\$ 39.020,43	R\$ 13.108,50
6	R\$ -	R\$ 40.480,29	R\$ 6.537,68
7	R\$ -	R\$ 42.079,70	R\$ 24.641,89
8	R\$ -	R\$ 43.832,02	R\$ 41.359,37
9	R\$ -	R\$ 45.751,86	R\$ 56.828,31
10	R\$ -	R\$ 47.855,24	R\$ 71.171,76
11	R\$ -	R\$ 50.159,70	R\$ 84.499,35
12	R\$ -	R\$ 52.684,47	R\$ 96.908,77
13	R\$ -	R\$ 55.450,60	R\$ 108.487,15
14	R\$ -	R\$ 58.481,18	R\$ 119.312,20
15	R\$ -	R\$ 61.801,48	R\$ 129.453,31
16	R\$ -	R\$ 65.439,20	R\$ 138.972,42
17	R\$ -	R\$ 69.424,69	R\$ 147.924,94
18	R\$ -	R\$ 73.791,19	R\$ 156.360,39
19	R\$ -	R\$ 78.575,13	R\$ 164.323,10
20	R\$ -	R\$ 83.816,41	R\$ 171.852,80
21	R\$ -	R\$ 89.558,76	R\$ 178.985,08
22	R\$ -	R\$ 95.850,08	R\$ 185.751,92

Continuação da Tabela 15. Fluxo de caixa do biodigestor para o cenário 2

23	R\$	-	R\$ 102.742,84	R\$	192.182,01
24	R\$	-	R\$ 110.294,56	R\$	198.301,18
25	R\$	-	R\$ 118.568,22	R\$	204.132,66

Fonte: Autoria própria.

Para esse cenário, o *Payback* ocorre no sexto ano. O VPL do cenário é igual a R\$ 204.132,66, mostrando sua viabilidade econômica. Tal valor, no entanto, é inferior ao VPL do cenário 1, evidenciando que, de forma semelhante ao que ocorreu com o sistema fotovoltaico, mesmo que o produtor tivesse em caixa o valor para pagar o investimento à vista, seria mais interessante financeiramente contrair o financiamento.

Na Tabela 16, verifica-se o fluxo de caixa para o terceiro cenário com saldo acumulado em valor presente.

Tabela 16. Fluxo de caixa do biodigestor para o cenário 3

Período (anos)	Custos	Receitas	Saldo acumulado
0	R\$ -	R\$ -	R\$ -
1	R\$ -16.575,60	R\$ 10.598,47	R\$ -5.298,65
2	R\$ -16.575,60	R\$ 11.611,69	R\$ -9.199,59
3	R\$ -16.575,60	R\$ 12.721,76	R\$ -11.884,38
4	R\$ -16.575,60	R\$ 13.937,96	R\$ -13.513,32
5	R\$ -16.575,60	R\$ 15.270,43	R\$ -14.227,87
6	R\$ -16.575,60	R\$ 16.730,29	R\$ -14.152,79
7	R\$ -16.575,60	R\$ 18.329,70	R\$ -13.398,12
8	R\$ -16.575,60	R\$ 20.082,02	R\$ -12.060,77
9	R\$ -16.575,60	R\$ 22.001,86	R\$ -10.226,13
10	R\$ -16.575,60	R\$ 24.105,24	R\$ -7.969,30
11	R\$ -	R\$ 26.409,70	R\$ -952,16
12	R\$ -	R\$ 28.934,47	R\$ 5.863,13
13	R\$ -	R\$ 31.700,60	R\$ 12.482,39
14	R\$ -	R\$ 34.731,18	R\$ 18.911,24
15	R\$ -	R\$ 38.051,48	R\$ 25.155,17
16	R\$ -	R\$ 41.689,20	R\$ 31.219,49
17	R\$ -	R\$ 45.674,69	R\$ 37.109,37
18	R\$ -	R\$ 50.041,19	R\$ 42.829,84
19	R\$ -	R\$ 54.825,13	R\$ 48.385,75
20	R\$ -	R\$ 60.066,41	R\$ 53.781,85
21	R\$ -	R\$ 65.808,76	R\$ 59.022,74
22	R\$ -	R\$ 72.100,08	R\$ 64.112,87
23	R\$ -	R\$ 78.992,84	R\$ 69.056,58
24	R\$ -	R\$ 86.544,56	R\$ 73.858,09

Continuação da Tabela 16. Fluxo de caixa do biodigestor para o cenário 3

25	R\$	-	R\$ 94.818,22	R\$	78.521,49
----	-----	---	---------------	-----	-----------

Fonte: Autoria própria.

Para esse cenário, o *Payback* ocorre no décimo segundo ano, e o VPL é igual a R\$ 78.521,49, demonstrando a viabilidade econômica do investimento financiado mesmo sem ser considerado o aproveitamento do biofertilizante na propriedade. Em comparação aos dois cenários anteriores, o aumento do tempo de retorno sobre o investimento e a redução do VPL demonstram ser financeiramente vantajoso o aproveitamento do biofertilizante.

Na Tabela 17, tem-se o fluxo de caixa para o quarto cenário com saldo acumulado em valor presente.

Tabela 17. Fluxo de caixa do biodigestor para o cenário 4

Período (anos)	Custos	Receitas	Saldo acumulado
0	R\$ -141.393,24	R\$ -	R\$ -141.393,24
1	R\$ -	R\$ 10.598,47	R\$ -131.997,83
2	R\$ -	R\$ 11.611,69	R\$ -122.872,68
3	R\$ -	R\$ 12.721,76	R\$ -114.010,01
4	R\$ -	R\$ 13.937,96	R\$ -105.402,28
5	R\$ -	R\$ 15.270,43	R\$ -97.042,14
6	R\$ -	R\$ 16.730,29	R\$ -88.922,48
7	R\$ -	R\$ 18.329,70	R\$ -81.036,38
8	R\$ -	R\$ 20.082,02	R\$ -73.377,12
9	R\$ -	R\$ 22.001,86	R\$ -65.938,18
10	R\$ -	R\$ 24.105,24	R\$ -58.713,21
11	R\$ -	R\$ 26.409,70	R\$ -51.696,07
12	R\$ -	R\$ 28.934,47	R\$ -44.880,78
13	R\$ -	R\$ 31.700,60	R\$ -38.261,53
14	R\$ -	R\$ 34.731,18	R\$ -31.832,68
15	R\$ -	R\$ 38.051,48	R\$ -25.588,75
16	R\$ -	R\$ 41.689,20	R\$ -19.524,43
17	R\$ -	R\$ 45.674,69	R\$ -13.634,54
18	R\$ -	R\$ 50.041,19	R\$ -7.914,08
19	R\$ -	R\$ 54.825,13	R\$ -2.358,16
20	R\$ -	R\$ 60.066,41	R\$ 3.037,94
21	R\$ -	R\$ 65.808,76	R\$ 8.278,82
22	R\$ -	R\$ 72.100,08	R\$ 13.368,95
23	R\$ -	R\$ 78.992,84	R\$ 18.312,67
24	R\$ -	R\$ 86.544,56	R\$ 23.114,18

Continuação da Tabela 17. Fluxo de caixa do biodigestor para o cenário 4

25	R\$	-	R\$ 94.818,22	R\$ 27.777,57
----	-----	---	---------------	---------------

Fonte: Autoria própria.

Para esse cenário, o *Payback* ocorre no vigésimo ano, e o VPL é igual a R\$ 27.777,57, demonstrando a viabilidade econômica do investimento pago à vista, mesmo quando não consideradas as receitas oriundas do aproveitamento do biofertilizante na propriedade. Este cenário foi o que apresentou maior tempo para recuperação do investimento e menor VPL.

O cenário de maior VPL e, portanto, economicamente mais vantajoso dentre os apresentados foi o primeiro, em que houve financiamento do sistema e no qual os custos evitados pelo uso do biofertilizante para a cultura de milho na propriedade foram contabilizados. Apesar de todos os cenários terem se mostrado economicamente viáveis, a comparação entre os 4 cenários apresentados para o projeto do biodigestor mostra ser financeiramente vantajoso financiar o sistema, mesmo nos casos em que não foi considerado o retorno financeiro proveniente do biofertilizante. Isso ocorre porque a taxa de juros anual da linha de financiamento usada é menor do que a inflação considerada. Além disso, a comparação entre os cenários revela que, mesmo que a geração de energia elétrica do sistema não seja suficiente para suprir toda a demanda energética da propriedade, todos os cenários são economicamente viáveis, pois a variação média anual de 9,56% da tarifa de energia considerada supõe que os preços da energia elétrica da concessionária continuarão subindo durante o tempo de horizonte do projeto, tornando crescentes as receitas do custo evitado através da geração da própria energia.

5. CONCLUSÃO

As análises desenvolvidas neste trabalho demonstram a viabilidade técnica e econômica da implementação de sistemas de painéis fotovoltaicos e de biodigestor tubular para a geração de energia elétrica no modelo da geração distribuída na propriedade de estudo. Entretanto, as alternativas financeiramente mais interessantes foram aquelas em que o custo de implantação do sistema foi financiado, uma vez que a taxa de juros de 3% ao ano considerada é menor do que a inflação média de 5,92% ao ano incidente sobre os saldos dos investimentos.

De todas as opções apresentadas, o financiamento da instalação de um sistema de painéis fotovoltaicos conectados à rede foi o que se mostrou economicamente mais vantajoso, pois o valor da parcela anual foi igual a R\$ 20.126,97, enquanto o custo evitado pelo sistema já no primeiro ano foi igual a R\$ 28.641,19. Essa alternativa também foi a que apresentou maior VPL, igual a R\$ 796.479,68 num horizonte de projeto de 25 anos.

O projeto do biodigestor mostrou-se viável, mesmo não atendendo plenamente à demanda energética da propriedade e mesmo quando as receitas provenientes do uso do biofertilizante na propriedade não foram levadas em consideração, por causa do incremento médio de 9,56% ao ano na tarifa de energia elétrica da concessionária considerado neste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Anelisiane Maria. **Desenvolvimento de um aplicativo computacional para dimensionamento técnico e econômico de biodigestores tipo tubular**. 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel 2017.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em 20 jun. 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. **Resolução Normativa nº 687/2015**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em 20 jun. 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2021. **Tarifa residencial – Evolução TUSD/TE**. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaOTY0NWQzOGltMmQ3ZS00MWUzLTIINmMwUz5NTYxODdhYTgzIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGL5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9&>. Acesso em 16 de out. 2021

ARAÚJO, G.P.; Ramanauskas, L. F. C.; Zanesco, I.; Moehlecke, A. Comparação e análise de módulos fotovoltaicos com células de silício cristalino, **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – VII CBENS**, Gramado, 2018.

BAI, Bo *et al.* Economic analysis of distributed solar photovoltaics with reused electric vehicle batteries as energy storage systems in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 109, Ago 2018, p. 213–229, 2019.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira; AZEVEDO, Abílio Soares de. Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens. **Anais do II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais**, v. 1, p. 11. 2016.

BARICHELLO, R. *et al.* O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 333–355, 2015.

BASSAM, N. **Handbook of Bioenergy Crops: A Complete Reference to Species, Development and Applications**. Earthscan: The United Kingdom, 2010. Disponível em: <https://nishat2013.files.wordpress.com/2013/11/handbook-of-bioenergy-crops.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

BELL, L.. The utilization of natural energy. **Cassier's Magazine**, Vol. 29, pp. 466–476. 1906.

BORGES, Ane Caroline Pereira *et al.* Energias Renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **Renewable energy: a contextualization of the**

biomass as power supply. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, 2017.

BRASIL, 2004. **Decreto n.º 5.163, de 30 de julho de 2004**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163.htm. Acesso em 20 jun. 2019.

BREITENBACH, R. Economic Viability of Semi-Confined and Confined Milk Production Systems in Free-Stall and Compost Barn. **Food and Nutrition Sciences**, v. 09, n. 05, p. 609–618, 2018.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H.. Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 1996.

CATTANÊO, Alex Junior. **Tratamento de semente na cultura do crambe**. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014. Disponível em: http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/770/1/Dissertacao_Cattaneo.pdf. Acesso em: 20 jun. 2019.

CHAKRABARTY, Sayan; *et al.* Economic viability of biogas and green self-employment opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, pp. 757–766, 2013.

CIBIOGÁS-ER - CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS - BIOGÁS. **Manual de Equações e Metodologias do Simulador. Plataforma de Informações para Energias Renováveis**. Foz do Iguaçu: CIBiogás-ER, 2009.

COSTA, Zoraide da Fonseca; BUENO, Osmar de Carvalho. Análise das eficiências energética e econômica de dois diferentes sistemas de produção de leite bovino em explorações familiares. **Revista Ambiência**, v. 8, n. 2, p. 361–375, 2012.

DÂMASO, Emanuel. **Estado da arte e perspectivas de desenvolvimento engenharia e gestão industrial**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

DEGANUTTI, R.; MARIA, D.; PLÁCIDO, J.; *et al.* Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, p. 5, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Gado do Leite – Importância Econômica**. 2002. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/importancia.html>. Acesso em 24 jun. 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil**. 2018.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Ano Base**, 2016. Rio de Janeiro, 2016.

EUROSTAT, 2018. **Renewable energy statistics**, Eurostat statistics explained. Disponível em http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics. Acesso em 20 de jun. 2018.

FERRAZ, J. M. G., MARIEL, I. E. **Biogás uma fonte alternativa de energia**, Brasil, 1980. 27 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2019. **Dairy Production and Products** – Milk Production. Disponível em: <http://www.fao.org/3/CA4526EN/CA4526EN.pdf>. Acesso em 24 jun. 2019.

GALDINO, Marco A. E. *et al.* O contexto das energias renováveis no Brasil. **Revista da DIRENG**, pp. 17-25, 2000.

GARCÍA-CASAREJOS, Nieves; *et al.* A multi-level approach to analyze the effects of renewable energy in the wine sector. **Energy Procedia**, v. 136, pp. 374–379, 2017.

GARFÍ, Marianna *et al.* Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, pp. 575–581, 2012.

GIL, Antonio Carlos. **Estudo de caso** – Fundamentação científica, subsídios para coleta e análise de dados e como redigir relatórios. São Paulo: Atlas, 2009.

GONÇALVES, A. D. *et al.* Dimensionamento e análise da viabilidade técnica e econômica de um biodigestor tubular. **Revista Agrogeoambiental**, v.4, pp 1-6, 2018.

HALDER, P. K. Potential and economic feasibility of solar home systems implementation in Bangladesh. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 65, pp. 568–576, 2016.

HARJANNE, Atte; KORHONEN, Janne M. Abandoning the concept of renewable energy. **Energy Policy**, v. 127, n. Dez. 2018, pp. 330–340, 2019.

HOPF, M.; SCHNEIDER, K. Fraunhofer ISE Annual Report 2018/19. , p. 191, 2019. Disponível em: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/annual_reports/fraunhofer-ise-annual-report-2018-2019.pdf. Acesso em 02 jun. 2020.

IBGE. **Censo agropecuário 2017**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v. 7, n. 01036157, p. 1–180, 2017.

IEA. **IEA FAQ on Renewable energy**. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/about/faqs/1&language=en&pcode=tec00115&plugin=1>. Acesso em: 20 jun. 2019.

INDEX MUNDI, 2021. **Cloreto de potássio Preço mensal**. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/?mercadoria=cloreto-de-pot%C3%A1ssio&meses=60&moeda=brl>. Acesso em: 24 de out. 2021

INDEX MUNDI, 2021. **Ureia Preço mensal**. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/?mercadoria=ureia&meses=60&moeda=brl>. Acesso em: 24 de out. 2021

INDEX MUNDI, 2021. **Superfosfato triplo Preço Mensal**. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/pt/pre%C3%A7os-de-mercado/?mercadoria=superfosfato-triplo&meses=60&moeda=brl>. Acesso em: 24 de out. 2021

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Emissions from livestock and manure management**. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, v. 4, c. 10. 2

IPCC, editor. **Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Disponível em: <https://archive.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> Acesso em 20 de jun de 2019

IRENA, 2017. **Renewable energy benefits: Leveraging local capacity for solar PV**, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2017. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2017/Jun/Renewable-Energy-Benefits-Leveraging-Local-Capacity-for-Solar-PV>. Acesso em: 20 jun. 2019.

IRENA, 2018. **IRENA Membership**. Disponível em: <https://www.irena.org/irenamembership>. Acesso em 24 jun. 2019

JENNICHES, Simon. Assessing the regional economic impacts of renewable energy sources - A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, n. May, p. 35–51, 2018.

JUNG, Carlos Fernando; JÚNIOR, Alexandre Aloys Matte. Produção leiteira no Brasil e características da bovinocultura leiteira no Rio Grande do Sul. **Ágora**, v. 19, n. 1, pp. 34-47, 2017.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. DO. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 2019.

MEDEIROS, S. A. F. DE (COORD. .; SAMPAIO, F. G. (COORD. .; SOTTA, E. D. (COORD. . Diagnóstico da expansão da adoção da tecnologia de Tratamento de Dejetos Animais (TDA) no território brasileiro entre 2010 e 2019. **Nota Técnica**, p. 50, 2019.

MICHELS, A.; SOTT, V. R.; PIGOSSO, L. M.; LUNKES, S. F. Custo na produção leiteira: um comparativo entre o sistema tradicional e o sistema compost barn em uma propriedade do oeste de Santa Catarina. **XXVI Congresso Brasileiro de Custos Congresso Brasileiro de Custos**, p. 16, 2018.

MONTEIRO, Eliseu; MANTHA, Vishveshwar; ROUBOA, Abel. Prospective application of farm cattle manure for bioenergy production in Portugal. **Renewable Energy**, v. 36, n. 2, p. 627–631, 2011.

MORENO, A. C. S. **Avaliação técnico-econômica do uso de baterias para a racionalização de energia elétrica em aviários de frango de corte**, 2015. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

MORAIS, Marcelo Antônio. **Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/1094>. Acesso em: 20 jun. 2019.

MORENO, A. C. S. **Avaliação técnico-econômica do uso de baterias para a racionalização de energia elétrica em aviários de frango de corte**, 2015. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

NARUTO, Denise Tieko. **Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica**. 2017. 97 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10020290.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

OKOYE, Chiemeka Onyeka; *et al.* Solar energy potentials in strategically located cities in Nigeria: Review, resource assessment and PV system design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 550–566, 2016.

OLUGASA, Temilola T.; ODESOLA, I. F.; OYEWOLA, M. O. Energy production from biogas: A conceptual review for use in Nigeria. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, pp. 770–776, 2014.

PPM 2014: rebanho bovino alcança 212,3 milhões de cabeças. **IBGE Agência de Notícias**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/10086-ppm-2014-rebanho-bovino-alcanca-212-3-milhoes-de-cabecas>. Acesso em: 30 ou. 2018.

PEREIRA, Gilberto. **Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor em propriedades rurais**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Modelagem Matemática, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/214>. Acesso em: 20 jun. 2019.

RAVEN, R. P. J. M.; GREGERSEN, K. H. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 11, n. 1, p. 116-132, 2007.

REN21. **Renewables 2017**: Global status report. 2017. Disponível em: <http://www.ren21.net/gsr-2017>. Acesso em: 20 jun. 2019.

RIOS, Igor; RIOS, Erik. Microgeração fotovoltaica conectada à rede elétrica: o que mudou com a Resolução Normativa Nº 687 da Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. VIII, pp. 119–122, 2017.

SÁNCHEZ-PANTOJA, Núria; VIDAL, Rosario; PASTOR, M. Carmen. Aesthetic impact of solar energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 98, n. Setembro, pp. 227–238, 2018.

SGANZERLA, E. **Biodigestor**: uma solução. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SHIMELMITZA, R.; *et al.* 'Fire at will': The emergence of habitual fire use 350,000 years ago. **Journal of Human Evolution**. Volume 77, pp. 196–203. Dez. 2014.

SILVA, Danieli Sanderson. **Análise do custo e consumo em energia elétrica na cadeia produtiva de carne de suínos no Oeste do Paraná**. 2018. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018. Disponível em: <<http://tede.unioeste.br/handle/tede/3784>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

SILVA, João Lucas de Souza *et al.* Análise do avanço da geração distribuída no Brasil. **Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018**, Gramado, 2018, p. 10.

SOARES, R. C.; SILVA, S. R. C. M. Evolução histórica do uso de biogás como combustível. In: **Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte-Nordeste de Educação Tecnológica**, 5., 2010, Maceió. Disponível em: <http://www.connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/843/57>. Acesso em: 20 jun. 2019

TELLES, T. S.; BACCHI, M. D.; SHIMIZU, J. Distribuição espacial de microrregiões especializadas na produção de leite. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 443–453, 2017.

TOLMASQUIM, Mauricio T (coord). **Energia renovável hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

TIEPOLO, Gerson Máximo *et al.* Atlas de energia solar do estado do Paraná - Resultados. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS**. 2018.

TRUONG, LV-A.; ABATZOGLOU, N. A H₂S reactive adsorption process for the purification of biogas prior to its use as a bioenergy vector. **Biomass and Bioenergy**, v. 29, n. 2, p. 142-151, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211p. il.

WORLDWIDE INFLATION. **Inflação Histórica do Brasil – IPC, 2021**. Disponível em: <https://www.inflation.eu/pt/taxas-de-inflacao/brasil/inflacao-historica/ipc-inflacao-brasil.aspx>. Acesso em: 20 out. 2021