

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura

**COMPARAÇÃO DOS AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO LIVRE E
REGULADO DE UMA USINA DE ENERGIA À BIOGÁS**

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO - 2024

ANDRÉ LUIZ VALENÇA DE SOUZA

**COMPARAÇÃO DOS AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO LIVRE E
REGULADO DE UMA USINA DE ENERGIA À BIOGÁS**

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. Waldir Mariano Machado Junior

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2024

FICHA DE IDENTIFICAÇÃO

VALENÇA DE SOUZA, ANDRE LUIZ

COMPARAÇÃO DOS AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO LIVRE E REGULADO DE UMA USINA DE ENERGIA À BIOGÁS / ANDRE LUIZ VALENÇA DE SOUZA; orientador Waldir Mariano Machado Junior. -- Cascavel, 2024.

53 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2024.

1. Biogás. 2. Ambiente de contratação. 3. Energia renovável. 4. Análise de viabilidade. I. Mariano Machado Junior, Waldir, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus, pela força e coragem durante toda essa longa caminhada. O que seria de mim sem a fé que eu tenho nele?

À minha família, por sua capacidade de acreditar em mim. Nunca mediram esforços para que eu chegasse até essa etapa da minha vida. Agradeço o apoio e incentivo constantes.

Agradeço à Luana do Pilar Machado pela paciência e apoio constantes. Seu incentivo e confiança fizeram toda a diferença. Obrigada por sempre acreditar em mim e por não medir esforços em me ajudar.

Agradeço ao Orientador, Prof. Dr. Waldir Mariano Machado Junior, pela oportunidade, apoio e orientação durante todas as etapas da pesquisa.

Por fim, agradeço à Unioeste por ofertar o PPGEA, um Programa com grande potencial de contribuição para o avanço das pesquisas na região.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Processo de produção de biogás..... | 17 |
| Figura 2: Produção média de biogás no Brasil..... | 18 |
| Figura 3: Biodigestor indiano..... | 19 |
| Figura 4: Biodigestor chinês..... | 19 |
| Figura 5: Biodigestor Canadense..... | 20 |
| Figura 6: Representação esquemática de um reator CSTR..... | 20 |
| Figura 7: Postos tarifários..... | 23 |
| Figura 8: Localização da usina de biogás..... | 31 |
| Figura 9: Fluxograma UPL..... | 32 |
| Figura 10: Fluxograma UPBN..... | 33 |
| Figura 11: Distância dos abatedouros e a localização da usina de biogás..... | 34 |
| Figura 12: Caçamba <i>roll on</i> | 35 |
| Figura 13: Biorreatores CSTR e lagoa coberta..... | 36 |
| Figura 14: Eudiômetro utilizado para medir o volume dos gases..... | 37 |

SOUZA, André Luiz Valença de. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro, 2024. **Comparação dos ambientes de contratação livre e regulado de uma usina de energia à biogás.** Prof. Dr. Waldir Mariano Machado Junior

RESUMO

A energia elétrica representa um custo significativo para a cadeia do agronegócio, somado ao desafio do setor de implementar soluções que visem a sustentabilidade, a busca por fontes de energias renováveis alinhadas à otimização dos custos, tem sido cada vez maior. Neste contexto, este trabalho apresenta uma comparação de viabilidade econômica entre: ambiente de contratação livre – ACL e ambiente de contratação regulada – ACR de uma usina de geração de energia à biogás proveniente da cogeração de substratos agroindustriais. A análise de viabilidade econômica é baseada na avaliação dos indicadores Valor Presente Líquido - VPL, Taxa Interna de Retorno - TIR e *Payback* Descontado. Considerando os resultados obtidos, constatou-se que a análise do VPL indicou que o ACL é mais viável quando comparado com o ACR. No ACL, a economia do sistema de geração de energia é maior do que no ACR, apresentando um valor de 65,74% e 71,80% respectivamente. Por fim, o resultado é que o modelo mais atrativo para implantação da usina à biogás é o ACL.

Palavras-chave: energias renováveis, biogás, ambiente de contratação, viabilidade econômica, agronegócio

SOUZA, André Luiz Valença de. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, feb, 2024. **Comparison of free e regulated contracting environments for a biogas power plants.** Prof. Dr. Waldir Mariano Machado Junior

ABSTRACT

Electricity represents a significant cost for the agribusiness chain. Added to the sector's challenge of implementing solutions aimed at sustainability, the search for renewable energy sources aligned with cost optimization has been increasing. In this context, this work presents a comparison of the economic viability of a biogas power plant from the cogeneration of agro-industrial substrates between the free contracting environment - ACL and the regulated contracting environment - ACR. The economic feasibility analysis is based on evaluating the Net Present Value - VPN, Internal Rate of Return - IRR and Discounted Payback indicators. Considering the results obtained, it was found that the VPN analysis indicated that the ACL is more viable when compared to the ACR. In the ACL, the savings of the energy generation system are greater than in the ACR, with a value of 65.74% and 71.80% respectively. Finally, the result is that the most attractive model for setting up a biogas plant is the ACL.

Keywords: renewable energies. biogas. contracting environment. economic viability. agribusiness

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1. OBJETIVO GERAL | 11 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1. AGRONEGÓCIO..... | 13 |
| 2.1.1. Abatedouro de aves..... | 14 |
| 2.1.2. Suinocultura..... | 14 |
| 2.1.3. Bovinocultura | 15 |
| 2.2. BIOGÁS | 16 |
| 2.2.1. Biodigestores/reactores..... | 18 |
| 2.2.2. Geração de energia por biogás | 21 |
| 2.3. MODALIDADES TARIFÁRIAS | 21 |
| 2.3.1. Demanda contratada | 22 |
| 2.3.2. Postos tarifários Ponta e Fora Ponta | 22 |
| 2.4. AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA | 23 |
| 2.4.1. Ambiente de Contratação Regulado - ACR | 23 |
| 2.4.1.1. Geração distribuída - GD | 25 |
| 2.4.2. Ambiente de Contratação Livre - ACL | 27 |
| 2.4.2.1. Autoprodução de energia..... | 28 |
| 2.5. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA | 28 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 31 |
| 3.1. CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO ESTUDO | 31 |
| 3.2. SUBSTRATOS UTILIZADOS..... | 31 |
| 3.2.1. Dejetos suínos..... | 31 |
| 3.2.2. Dejetos bovinos | 32 |
| 3.2.3. Carcaças de suínos | 34 |
| 3.2.4. Lodo flotado de abatedouro de aves | 34 |
| 3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS..... | 35 |
| 3.4. SISTEMA DE CODIGESTÃO..... | 36 |
| 3.4.1. Implantação dos biorreatores | 36 |
| 3.4.2. Estimativa de produção de biogás..... | 37 |
| 3.5. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA | 39 |
| 3.6. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA | 39 |
| 3.6.1. Tarifas de energia..... | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 3.6.2. Desconto TUSD..... | 40 |
| 3.6.3. Unidades consumidoras | 41 |
| 3.6.4. Análise de viabilidade | 41 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 43 |
| 4.1. CUSTOS ATUAIS DAS UNIDADES..... | 43 |
| 4.2. CUSTOS DE ACR E ACL | 43 |
| 4.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA | 45 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 47 |
| 6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO..... | 48 |

1. INTRODUÇÃO

A instabilidade do sistema elétrico e a demanda energética são responsáveis pela incessante busca por fontes alternativas de geração de energia que apresentem maior eficiência e menor emissão de gases de efeito estufa (PINTO et al., 2020). Os países em desenvolvimento possuem um papel importante na mudança urgente para economias que geram menos carbono, considerando que têm um grande potencial de produção de energia por fontes renováveis (BERNANDES et al., 2022).

No Brasil, a principal fonte de geração do sistema elétrico tem sido a hidreletricidade, tanto pela sua competitividade econômica quanto pela abundância deste recurso energético a nível nacional (EPE, 2021). Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2022), a energia hidrelétrica corresponde a 61,90% do total produzido no país. Outras fontes de energia são os combustíveis fósseis, correspondendo a 15,95%; e, em seguida, estão a eólica, com 11,8%; a biomassa, com 9,28%; a solar, com 4,4%; e a nuclear, com 2,1%.

Com intuito de reduzir essa dependência do setor hidrelétrico, a necessidade de diversificação nas fontes de energia tem se tornado cada vez mais comum, ainda mais considerando que o país possui outras em abundância ainda pouco exploradas (WEIRICH et al., 2022).

Neste cenário, de busca por fontes de energia limpas e que atendam requisitos para suportar à demanda energética cada vez maior, o biogás tem se mostrado como uma ótima alternativa. De acordo com CIBiogás (2020), essa fonte energética apresenta características vantajosas como não intermitência, armazenamento com baixo custo, sem contar que é um recurso renovável e de geração contínua.

Considerando que as agroindústrias geram um volume significativo de dejetos residuais que acentuam os problemas ambientais, a utilização desses resíduos para geração de biogás constitui uma alternativa que além de auxiliar na mitigação de impactos ambientais, contribui na oferta de energia renovável, agregando valor aos resíduos gerados pelo setor produtivo (PINTO, 2020).

Estudos indicam que a digestão anaeróbica, processo para geração de biogás, é uma alternativa eficiente que apresenta a gestão sustentável dos substratos combinada com a produção de energia e biocombustíveis (PEREIRA et al., 2023; ALBUQUERQUE., 2020; TAMBONE et al., 2019; VERDI et al., 2019). Além disso, o

uso da codigestão tem sido utilizado para aumentar a produção de biogás, mostrando-se mais vantajoso comparado à monodigestão (MARTINELLI et al., 2020).

Segundo EPE (2021), a indústria é um dos setores que mais consome energia elétrica, sendo em 2020 responsável por 33,8 % do consumo. Com isso, a busca por soluções dentro do setor energético é relevante, visto que um dos maiores impactos financeiros do setor industrial é a energia (ARAUJO & OLIVEIRA 2020).

O Setor Elétrico Brasileiro possui dois ambientes de contratação de energia: (1) o ambiente de contratação regulado – ACR que é definido pela compra de energia e o pagamento do serviço de transporte e distribuição - TUSD para a distribuidora, que por sua vez compra a energia em leilões regulados; (2) o ambiente de contratação livre - ACL, onde o consumidor pode adquirir sua energia livremente através de contratos bilaterais (NAMETALA et al., 2020). A maioria dos grandes consumidores, se encontra no ambiente de contratação livre, que segundo a Associação Brasileira de Comercializadores de Energia Elétrica - ABRACEEL cresceu 28% desde novembro de 2020 (ABRACEEL, 2021).

Análises de mercado de energia de um ponto de vista econômico e socioambiental já foram discutidas (NAMETALA et al., 2020; PINTO et al., 2020; ZHANG et al., 2019). No entanto, não foram observadas aplicações práticas avaliando implementações de usinas específicas operando nos ambientes de contratação ACL e ACR juntamente com os tipos de resíduos utilizados para a geração do biogás.

Desta forma, o objetivo deste estudo é fornecer embasamentos técnicos e financeiros, de forma a servir como instrumento de suporte para o aproveitamento dos substratos da agroindústria, propondo uma solução que agrega valor do ponto de vista energético e, indicando o melhor ambiente de contratação.

1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade econômica para implantação de usina a biogás, simulando os dois ambientes de contratação de energia possíveis no Brasil: livre e regulado. Ambiente de contratação regulada – ACR em caráter de geração distribuída – GD e ambiente de contratação livre – ACL em caráter de autoprodução de energia – APE.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a produção de biogás a partir da codigestão de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de abatedouro de aves, carcaças de suínos, dejetos suínos e dejetos bovinos em um sistema de biodigestão que utiliza reatores anaeróbios com alimentação contínua (CSTR).
- Discutir a relação entre a geração distribuída e autoprodução de energia;
- Avaliar a viabilidade econômica de ambos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. AGRONEGÓCIO

O agronegócio é um dos setores econômicos mais dinâmicos no Brasil, levando a debates sobre como sua expansão pode oferecer oportunidades para o desenvolvimento local, superando a atual estratégia simplificada de expansão para novas fronteiras agrícolas com altos custos sociais e ambientais (MEDINA, 2021).

Com a perda relativa da participação industrial na economia, o agronegócio tornou-se fundamental para a balança comercial e um dos principais dinamizadores da economia brasileira, inclusive da indústria relacionada à produção agropecuária (NASSIF et al., 2017).

O Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada afirma que, o agronegócio brasileiro corresponde a 24,8% do PIB nacional no ano de 2022, o que equivale a R\$918 bilhões. Em relação à produção de carnes, o país ocupa posição importante nas exportações de proteína bovina, suína e aves (CEPEA, 2023).

Os produtos de origem animal são uma importante fonte de proteínas para a população que se alimenta de carne, sendo que a carne de suínos é a segunda mais consumida no mundo. Com um aumento na demanda devido ao crescimento populacional, o grande desafio dos sistemas produtivos é garantir a segurança alimentar de uma forma sustentável e aliada do meio ambiente (PAZMIÑO; RAMIREZ, 2021). A agricultura intensiva com a produção de animais confinados é uma das alternativas para atender às necessidades alimentares da população crescente, porém, produzir uma grande quantidade de animais, em uma pequena área, tem como consequência a concentração da produção de resíduos (DADRASNIA et al., 2021)

A grande produção de resíduos no setor agrícola contribui significativamente com as emissões de gases de efeito estufa - GEE na atmosfera. Por exemplo, a produção de carne bovina gera 30 kg de CO₂ por quilograma, de carne suína 1,8 kg de CO₂ por quilograma e de frango 0,6 kg de CO₂ por quilograma. Da mesma forma, a produção de leite de vaca gera 1 kg de CO₂ por quilograma (VENEGAS-VENEGAS, 2023). Considerando isso, é necessário estimular investimentos e pesquisas que contribuam com um processo produtivo mais sustentável, podendo utilizar os resíduos da agroindústria em diversas aplicações, contribuindo na redução de custos do setor e corroborando com o meio ambiente (MARTON, 2023).

2.1.1. Abatedouro de aves

A indústria de abatedouros de aves tem crescido bastante no país, com dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB indicando o salto na produção de aves, com cerca de 5 milhões de toneladas produzidas em 2000 para 13,4 milhões de toneladas em 2017 (NISHIMURA, 2020). A expectativa é de continuar a expansão, segundo estudo de projeção da agropecuária brasileira divulgado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) que aponta que a produção deve saltar para 17,9 milhões de toneladas em 2027.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, em 2017 foram abatidos 5,84 bilhões de cabeças de frango, além de 30,83 milhões de cabeças de bovinos e 43,19 milhões de cabeças de suínos (IBGE, 2018).

O efluente gerado no abate de aves é carregado de matéria orgânica, sendo que seus principais componentes são sangue, gordura, excrementos, elementos provenientes do trato digestório destes animais, entre outros. Tais efluentes podem apresentar potencial patogênico por conter organismos contaminantes, como a *Salmonella sp.*, *Staphylococcus sp.* e *Clostridium sp.* Assim o tratamento destes efluentes se faz indispensável para evitar a poluição ambiental e focos de proliferação de insetos e agentes infecciosos (VARGAS, 2019).

2.1.2. Suinocultura

A produção de carne suína vem apresentando uma significativa expansão, em razão do aumento da demanda nacional e internacional. A suinocultura tornou-se uma das áreas de mercado mais atraentes para se investir no Brasil, devido às suas possibilidades quanto à produtividade e rentabilidade (GASTARDELO & MELZ, 2014; MACHADO, 2021).

No Brasil, a suinocultura é uma atividade de suma importância para a economia. No ranking mundial, o país ocupa a posição de quarto maior produtor, ficando atrás apenas da China, União Europeia e dos Estados Unidos, conforme dados da Embrapa (2018).

Para a Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA (2021), a região Sul do Brasil destaca-se como a maior produtora de suínos no país, representando cerca de 67% da produção nacional e com 4,436 milhões de toneladas.

Segundo Albuquerque et al. (2022), o manejo inadequado de dejetos suínos, principalmente na forma líquida, pode causar grandes impactos e altos índices de contaminação das águas e solo. Estima-se que um suíno, na faixa de 15 a 100 Kg de peso, produz de 4,5% a 8,5% de seu peso corporal em dejetos, compostos de urina, fezes e água desperdiçada. Deve-se avaliar esse volume de dejetos produzidos diariamente para poder planejar a sua atividade e realizar um tratamento adequado (PINTO et al., 2023).

Considerando a grande importância econômica e social deste sistema produtivo, tecnologias e formas de tratamento estão sendo desenvolvidos para gerar subprodutos menos impactantes e com possibilidade de agregação de valor. O entendimento das atividades suinícolas é indispensável para gerir de forma mais eficiente as variáveis existentes na propriedade, que são: ambiental, social e econômica (DOLMAN, 2012; MACHADO, 2021).

2.1.3. Bovinocultura

A criação de gado bovino no Brasil é a atividade econômica que ocupa a maior extensão de terras atualmente. A bovinocultura praticada no Brasil se destaca no cenário mundial do agronegócio. Os brasileiros têm o do segundo maior rebanho efetivo do mundo, conta com 232,4 milhões, sendo um grande exportador de carne no cenário mundial (ABEIC, 2018).

De acordo com a Embrapa (2017), o Brasil desenvolve a bovinocultura e proporciona lucratividade em dois segmentos, são eles: cadeia produtiva da carne e a cadeia produtiva do leite. A produção de carne e de leite tem sua importância pois trata-se de uma atividade com impacto destacado na economia.

O sistema de criação de bovinos tem contribuído para o surgimento de problemas ambientais devida à elevada produção de resíduos, que na maioria das vezes é disposta sem tratamento diretamente nos corpos de água e no solo de forma irregular. Nos últimos anos, tem sido crescente o incentivo por boas práticas, visando menores degradação do meio ambiente (GUARES, 2020).

Segundo Colares (2021), uma vaca leiteira com 400 kg de peso médio produz de 38 a 50 kg de excretas diariamente, dos quais 28 a 32 kg são de fezes e o restante de urina. A quantidade de resíduo líquido produzido em instalações de bovinocultura

de leite depende do manejo adotado, de forma que o consumo de água pode variar de 40 a 600 litros por vaca ordenhada.

Há vários processos para o tratamento adequado dos excrementos bovinos, e sua utilidade é de grande importância não só econômica como também ambiental. Uma das alternativas para o reaproveitamento dos dejetos é a degradação, que promove geração de biogás e biofertilizante. Há também outras formas de tratamento como as lagoas de estabilização, compostagem, esterqueira, entre outros (DRUMM et al., 2014; GUARES, 2020).

2.2. BIOGÁS

A biodigestão de materiais orgânicos é um processo em que a matéria orgânica é degradada a compostos mais simples, sendo uma maneira eficiente de tratar quantidades consideráveis de resíduos e reduzir o seu poder poluente. Esse processo ocorre por meio da ação de diversos grupos de microrganismos, conhecidos como microrganismos anaeróbios, que interagem simultaneamente até a formação dos produtos (CIBIOGÁS, 2018).

O composto de gases proveniente desse processo é chamado de biogás, sendo constituído principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), contendo também pequenas quantidades de hidrogênio (H_2), amônia (NH_3) e outros gases (CIBIOGÁS, 2018).

A biodigestão é uma sequência de etapas bioquímicas de conversão de matéria orgânica que resulta na formação de biogás. A Figura 1 ilustra as quatro etapas do processo de produção do biogás.

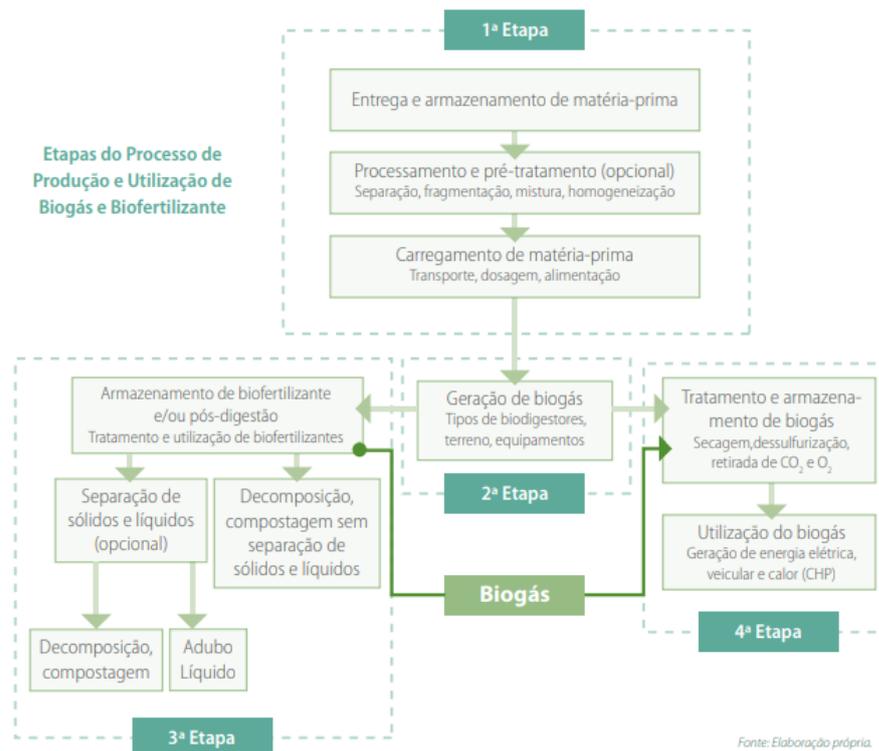


Figura 1: Processo de produção de biogás.
Fonte: Adaptado (MACHADO, 2021).

A primeira etapa envolve os processamentos iniciais da matéria-prima antes da digestão. Ocorre a entrega e armazenamento do substrato para utilização no biodigestor. Alguns substratos exigem um pré-tratamento como trituração, mistura, separação, homogeneização e, em alguns casos, higienização (SENAI, 2016; MACHADO, 2021).

A segunda etapa constitui a biodigestão propriamente dita, na qual o material será degradado anaerobicamente para a geração do biogás. A terceira etapa envolve o substrato digerido no processo de fermentação, o biofertilizante, que normalmente é utilizado como adubo líquido (MACHADO, 2021).

A quarta e última etapa compreende o tratamento, armazenamento, distribuição e utilização do biogás. Por apresentar característica corrosiva, o biogás necessita de tratamento antes do seu aproveitamento como fonte energética (MACHADO, 2021).

Devido à grande aplicabilidade dos sistemas anaeróbicos, para tratamento de diversos tipos de biomassa e resíduos, o biogás tem se mostrado uma solução muito viável e com grande abrangência geográfica. Do ponto de vista energético demonstra grande potencial, seja para uso térmico, elétrico ou veicular, além disso, o biogás mostra-se como recurso de importância ambiental, econômica e social (BORSCHIVER, 2018).

Conforme dados do Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás (2021), em 2020 havia 675 plantas de biogás sendo que destas, 638 encontram-se em operação para fins energéticos. Os substratos utilizados para produção de biogás são divididos em 3 classes: agropecuária, indústria, aterro sanitário e estações de tratamento de esgoto (Figura 2).

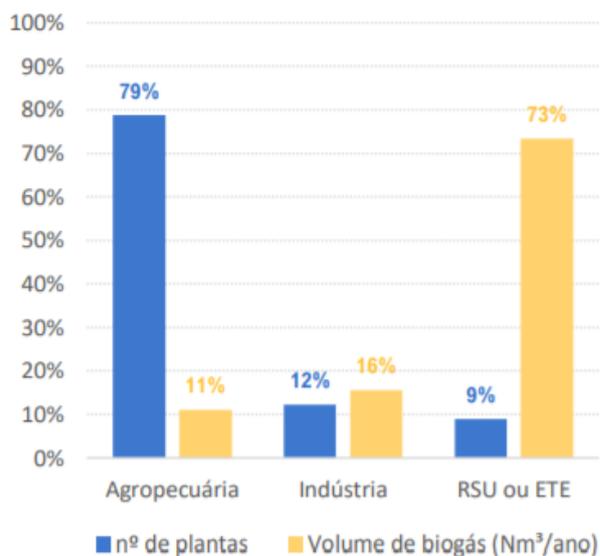


Figura 2: Produção média de biogás no Brasil.

Fonte: Adaptado (CIBIOGAS, 2021)

2.2.1. Biodigestores/reatores

Atualmente existe uma diversidade muito grande de modelos de biodigestores, sendo cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biogás. Os principais modelos de biodigestores são o indiano, o chinês e o canadense.

O modelo indiano (Figura 3) é composto por uma estrutura cilíndrica, subterrânea e geralmente em alvenaria, tem por objetivo o maior aproveitamento energético do biogás produzido (MATHIAS, 2014). Desta forma, possui uma campânula com gasômetro mergulhada na biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo e uma divisão central com a função de conduzir o material em digestão por todo o corpo do reator (GARCIA, 2019).

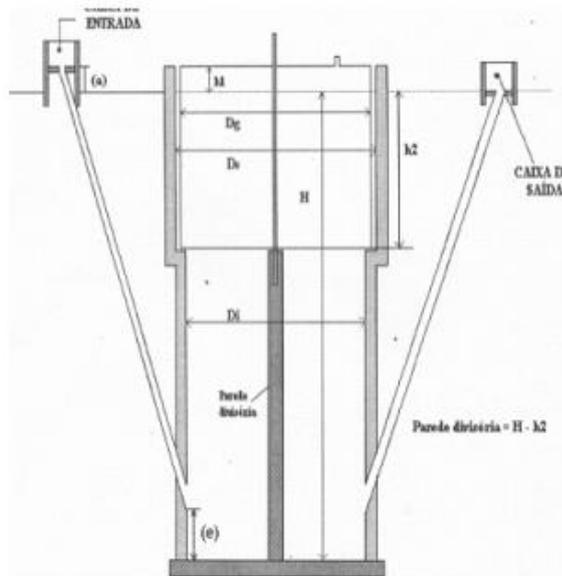


Figura 3: Biodigestor indiano
Fonte: Adaptado (MACHADO, 2021)

Segundo Resende (2017), o modelo chinês (Figura 4), é considerado o modelo mais rústico do ponto de vista construtivo. Ele é construído em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço e seus os custos relativos à sua construção são menores. Sua estrutura é formada por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto encurvado, objetivando o depósito do biogás, o que torna sua construção mais difícil que a do modelo indiano.

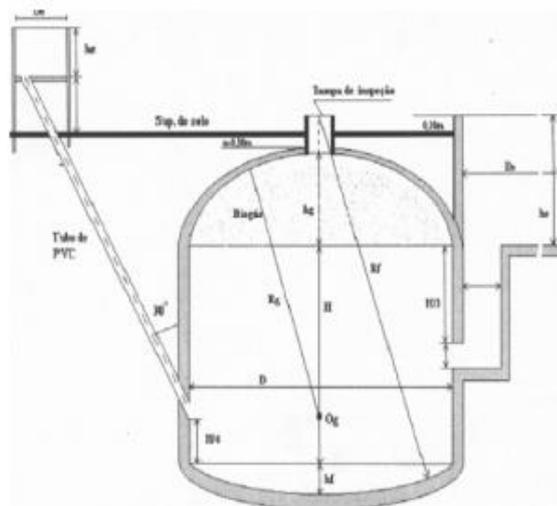


Figura 4: Biodigestor chinês
Fonte: Adaptado (RESENDE, 2017)

O modelo canadense (Figura 5) vem sendo bastante utilizado pela conveniência da impermeabilização e vedação por meio das geomembranas. Estes são compostos por escavação retangular impermeabilizada, com paredes

trapezoidais e se diferem dos modelos anteriores por priorizarem maior área de superfície à profundidade, permitindo que a incidência solar seja um fator de contribuição ao processo de biodigestão (GARCIA, 2019).

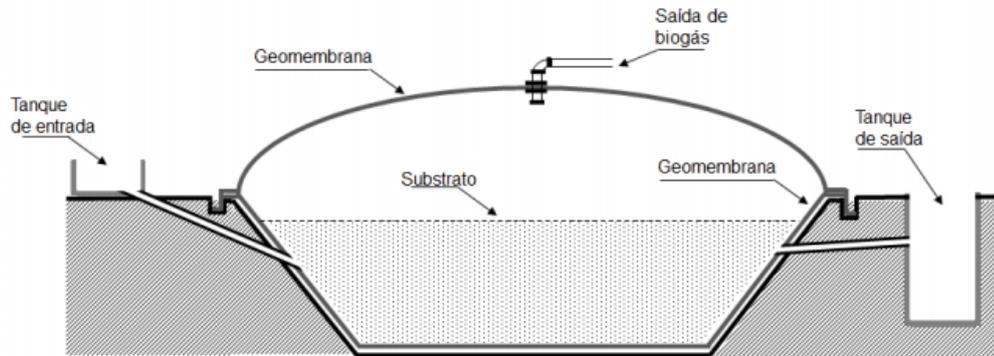


Figura 5: Biodigestor Canadense
Fonte: Adaptado (NOGUEIRA, 2016)

Por fim, os reatores de mistura contínua (*Continuous Flow Stirred Tank Reactor* – CSTR) são equipamentos que vem sendo empregados em larga escala e são caracterizados por ter seu conteúdo em homogeneização devido à presença de sistema de agitação (Figura 6), por isso suporta elevadas cargas orgânicas. Este tipo de biodigestor representa aproximadamente 90% dos reatores implementados na Europa (AMARAL, STEINMETZ, KUNZ, 2019).

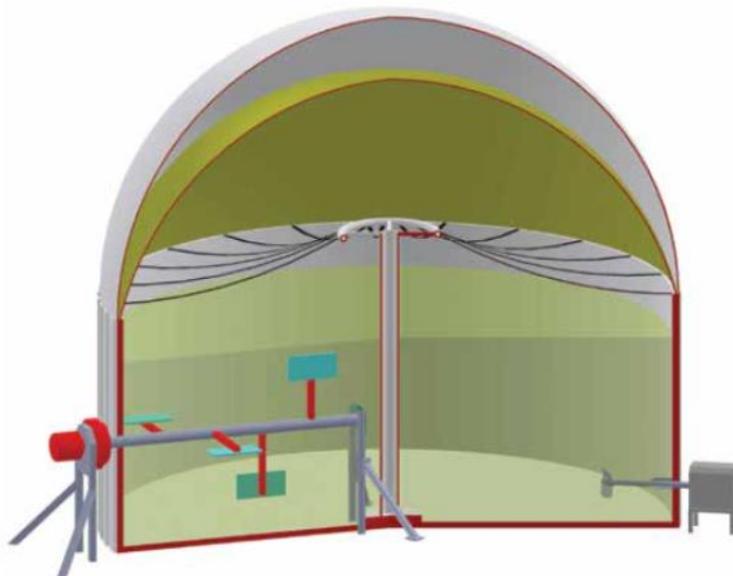


Figura 6: Representação esquemática de um reator CSTR
Fonte: Adaptado (BARCHMANN, 2016)

2.2.2. Geração de energia por biogás

O emprego do biogás para geração de energia elétrica tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas e é visto como uma relevante fonte de energia alternativa (DO PILAR MACHADO et al., 2023).

Segundo Ribeiro et al. (2022), a utilização do biogás como combustível para geração de energia elétrica torna-se atrativa por ser uma fonte renovável, não originada de combustíveis fósseis e que evita que o gás metano seja emitido para a atmosfera.

Dessa maneira, é necessário incentivar e desenvolver novas fontes de energia para oferecer segurança energética ao país, além de substituir o uso de combustíveis fósseis (DO PILAR MACHADO et al., 2023).

A conversão do biogás em energia elétrica pode ser realizada por meio de microturbinas, turbinas a gás e motores de combustão interna (motores ciclo Otto). No Brasil, vem sendo utilizados grupos geradores de combustão interna convertidos para biogás (BIOGAS MOTORES, 2021).

Para determinar as características do conjunto moto-gerador, considera-se o tipo de carga, período da operação, forma de utilização e local de armazenamento são os principais pontos para serem analisados ao elaborar o dimensionamento dos geradores de energia elétrica. Além dessas características, é necessário também calcular a potência do grupo gerador (SAMPAIO MODERNO, 2023).

2.3. MODALIDADES TARIFÁRIAS

A estrutura tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento. Essa estrutura envolve diversos fatores como horários de consumo, carga instalada, encargos setoriais entre outros, como a separação dos consumidores em grupos, grupo A e grupo B (FISHER, 2021).

Os grupos tarifários são classificações dadas às unidades consumidoras para separar e organizar os consumidores, levando em consideração a tensão elétrica em que são atendidos pelas distribuidoras de energia. Essa configuração coopera para um melhor ajuste de tarifas baseado nos perfis de consumo dos contratantes (ANEEL, 2021). Essa divisão consiste em dois grupos: grupo A e grupo B, que dividem os

consumidores a partir da tensão de fornecimento e oferecem tarifas moldadas para cada classificação (ANEEL, 2021).

O grupo A contempla as unidades consumidoras que recebem energia elétrica em tensão igual ou superior a 2,3 kV, já consumidores atendidos em tensões inferiores a esta, são enquadrados no grupo B (ANEEL, 2021).

2.3.1. Demanda contratada

A demanda de energia elétrica refere-se à quantidade de potência necessária, medida em quilowatt (kW) ou megawatt (MW), para atender todas as cargas de uma unidade durante um determinado período. Nesse sentido, a demanda de energia de uma empresa é a quantidade de potência em kW que o local precisa para que funcionem todos os seus componentes, equipamentos, máquinas, iluminação etc. (ANEEL, 2021).

A demanda contratada é um importante balizador para as concessionárias e os agentes de transmissão, permitindo o planejamento, construção e ajustes das redes elétricas para atender adequadamente às necessidades dos consumidores e empresas, evitando o risco de déficit energético em caso de sobrecarga no sistema.

O contrato entre distribuidora e consumidor estipula o quanto de demanda de energia a distribuidora irá disponibilizar de forma contínua. O consumidor obrigatoriamente deverá pagar pela demanda total, independente se utilizar ou não toda a demanda disponibilizada. Basicamente o consumidor paga para garantir a disponibilização de uma quantidade de demanda de energia pré-determinada. Assim, a operação da empresa fica garantida em termos de energia (ANEEL, 2021).

2.3.2. Postos tarifários Ponta e Fora Ponta

O faturamento de unidades enquadradas no grupo B acontece por tarifa monômnia, em que apenas o consumo da energia é cobrado e tem um valor fixo (em R\$/kWh) em qualquer dia e horário (ANEEL, 2020).

Nas modalidades tarifárias do grupo A, existe uma distinção no valor tarifa para 2 postos tarifários: Ponta e Fora Ponta, aplicados apenas nos dias úteis.

Os horários que compreendem os dois postos tarifários, são estabelecidos pela ANEEL e podem ser diferentes para cada distribuidora. A Figura 7 apresenta a média

para o horário de ponta, das 18:00 às 21:00, fora ponta, das 22:00 às 17:00, e os horários intermediários. Sábados, domingos e feriados contam com a tarifa fora de ponta nas 24 horas do dia (ANEEL, 2020).



Figura 7: Postos tarifários
Fonte: Adaptado (ANEEL, 2020).

2.4. AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA

As principais normas regulamentares estabelecem dois ambientes de contratação: o regulado, onde todas as empresas de distribuição (responsáveis pelo abastecimento de consumidores residenciais) devem adquirir contratos de médio ou longo prazo, e os mercados de contratação livre, onde as empresas de geração e comercialização podem negociar livremente os contratos com os consumidores (RIBEIRO et al., 2023).

2.4.1. Ambiente de Contratação Regulado - ACR

No ambiente de contratação regulado, condição também denominada de mercado cativo, os consumidores estão sujeitos a compra de energia elétrica diretamente da concessionária ou permissionária que atua em sua localidade.

Essas empresas possuem a concessão para fazer o serviço de distribuição através de leilões regulados pela ANEEL e contratos regidos por procedimentos de comercialização (CCEE, 2017).

A contratação de energia no ACR deve ser realizada através da assinatura dos contratos de uso do sistema de distribuição (CUSD), regulamentado pela Resolução Normativa nº 205 de 22 de Dezembro de 2005, que estabelece os procedimentos e as condições gerais para contratação e uso do sistema de permissionárias (ANEEL, 2005), e o contrato de compra de energia regulada (CCER) que trata dos contratos de venda de energia no ambiente de contratação regulada (ANEEL, 2010). Neste ambiente, portanto, os consumidores não possuem a possibilidade de negociação do preço da energia, estando sujeitos às tarifas estabelecidas pela ANEEL (COMERC, 2017).

Além dos preços regulados, no ACR os consumidores não conseguem negociar condições de contratação e ficam sujeitos à imprevisibilidade da variação anual das tarifas das Distribuidoras (ENGIE, 2017). Com isso, para simplificar os valores referentes ao ambiente regulado, o consumidor cativo, atendido diretamente pela distribuidora de sua região, paga em sua fatura as seguintes parcelas:

- Tarifa de Energia – TE: equivalente ao custo médio dos contratos de compra e geração de energia que a distribuidora possui (ENGIE, 2017) celebrados no CCER.
- Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição – TUSD: custo pago às transmissoras para receber em sua rede de distribuição a energia produzida nas usinas e aos custos de operação e investimentos feitos na manutenção da linha (ENGIE, 2017) celebrados no CUSD.
- Outros custos: considerados por perdas técnicas e comerciais, encargos do setor e impostos e tributos (ENGIE, 2017).

Apesar da maior parte dos subsídios ser transferida para as tarifas do mercado regulado, criando uma pressão significativa para que os consumidores de alta tensão migrem para o mercado livre, o mercado regulado desempenhou um papel muito relevante na expansão da produção desde 2004 até à crise da COVID. A crise da COVID-19 demonstrou a inadequação do mercado regulado, exigindo que este se adaptasse e fizesse ajustes para possíveis a crises do mercado (RIBEIRO et al., 2023).

2.4.1.1. Geração distribuída - GD

A geração distribuída é definida pela instalação de geradores de pequeno porte provenientes, em sua maioria, de fontes renováveis. São situados em regiões mais próximas de centros de consumo de energia elétrica. A localização dos geradores pode trazer inúmeros benefícios ao sistema elétrico, como a diversificação da matriz energética, impacto ambiental baixo, facilidade no investimento da expansão nos sistemas de distribuição e transmissão. Ao mesmo tempo, com o crescimento do número de pequenos geradores presentes na rede de distribuição, algumas dificuldades acompanham este processo, tais como a maior complexidade de operação da rede e na tarifação, entre outros fatores (ANEEL, 2016).

Em contrapartida, os investimentos em GD, além de proporcionar benefícios financeiros, representam uma interessante alternativa para estimular a diversificação da matriz elétrica brasileira, incentivando a implementação de fontes renováveis de energia (BERNANDES et. Al, 2022).

Segundo a definição da ANEEL (2021a) através da Resolução Normativa nº 482/2012 e suas alterações, devido a potência da GD ser limitada a 5 MW, de qualquer tipo de fonte geradora renovável, as usinas são conectadas na rede de distribuição, nos níveis de tensão de 220 V e 15 kV. Em raras exceções, devido às condições de carregamento e sobretensão do sistema de distribuição, as usinas então são interligadas em 25 kV ou 34,5 kV. Em suma, as usinas GD vêm para trazer mais opções de fontes de geração de energia renovável, viabilizando a produção de energia elétrica em locais onde grandes empreendimentos seriam inviáveis, assim como gerar mais energia com menores impactos ao meio ambiente.

Atualmente, a geração distribuída pode ser realizada das seguintes maneiras:

- geração na própria unidade consumidora: forma mais comum de GD no mercado brasileiro hoje, principalmente devido à propagação de instalação de painéis solares (fotovoltaicos) em telhados nas residências e comércios de pequeno porte;
- múltiplas unidades consumidoras: a energia elétrica é utilizada de modo independente, em que cada fração com uso individualizado constitui-se como uma unidade consumidora, enquanto as instalações para atendimento das áreas de uso comum constitui-se como uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da

administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento (REN 1.000/2021, art. 2º, inc. XIV-A, na redação dada pela REN 1.059/2023);

- geração compartilhada: consumidores localizados dentro de uma mesma área de concessão ou permissão reúnem-se por meio de consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação instituída para esse fim, composta por pessoas físicas ou jurídicas que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída (REN 1.000/2021, art. 2º, inc. XXII-A, na redação dada pela REN 1.059/2023); e
- autoconsumo remoto: unidades consumidoras pertencentes a uma mesma pessoa, seja física ou jurídica (matriz e filial), que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada (REN 1.000/2021, art. 2º, inc. XIV-A, na redação dada pela REN 1.059/2023).

O Brasil possui a REN 482/2012 que instituiu um sistema de compensação de energia elétrica para sistemas de GD (microgeração até 100 kW e minigeração até 5 MW) instalados em propriedades de qualquer natureza (rural, residencial, comercial e industrial).

A Lei 14300/2022 conhecida como marco legal da GD trouxe importantes mudanças no sistema de compensação de energia elétrica e a principal delas é a transição para a cobrança de tarifas de uso dos sistemas de distribuição por parte de micro e minigeradores. Até 2045, micro e minigeradores existentes pagarão os componentes da tarifa somente sobre a diferença — se esta for positiva — entre o consumido e o gerado e injetado na rede de distribuição, como já ocorre hoje.

2.4.2. Ambiente de Contratação Livre - ACL

No ambiente de contratação livre, também denominado mercado livre, os consumidores podem escolher seu fornecedor de energia, deste modo as contratações de energia são provenientes de negociações bilaterais entre os consumidores e os agentes comercializadores de energia. (CCEE, 2017).

Por isso, os contratos efetuados no ACL têm suas condições de atendimento, preços e particularidades livremente negociadas entre as partes e são denominados contratos de comercialização de energia no ambiente livre (CCEAL) que devem ser registrados no sistema de contabilização e liquidação (SCL) inserindo as partes envolvidas, a vigência do contrato, a modulação (quando houver), o submercado e os demais parâmetros constados no contrato (CCEE, 2017).

Para realizar contratações de energia nessa modalidade, o consumidor deve se enquadrar nas seguintes condições (ABRACEEL, 2016):

- Demanda contratada igual ou superior a 0,5 MW;
- Tensão de contratação igual ou superior a 2,3 kV.

Dentro do mercado livre existe ainda a possibilidade de comunhão de cargas para obtenção dos requisitos mínimos do ACL, isto é, consumidores com o mesmo CNPJ ou em área contíguas podem unir as demandas atingindo 0,5 MW possibilitando a migração (ANEEL, 2010; ABRACEEL, 2016).

No ambiente de contratação livre, o consumidor, embora tenha adquirido energia livremente de outro agente, ainda possui a necessidade de efetivar o CUSD com a permissionária de sua região. Porém, com o intuito de promover o desenvolvimento de fontes alternativas no processo de produção de energia elétrica, a legislação brasileira criou incentivos para estimular empreendedores e consumidores a investirem nesse segmento do mercado de energia aprovando então a Lei nº 9.427 (BRASIL, 1996) que estabelece que os empreendimentos que geram energia de fontes renováveis, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), hidrelétricas com potencial igual ou inferior a 1000 kW e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada podem, em sua comercialização, abater até 50% do valor da TUSD aplicada à unidade geradora e consumidora (CCEE, 2006).

2.4.2.1. Autoprodução de energia

De acordo com o Decreto Nº 5.163/04, o autoprodutor de energia elétrica é a pessoa física ou jurídica, inclusive empresas reunidas em consórcio, que produz energia elétrica destinada para seu próprio consumo (BRASIL, 2004).

Para tornar-se autoprodutor, mediante a implantação de usinas com potência acima de 5MW, o interessado deve obter uma autorização da ANEEL, nos termos das Leis 9.074/9553 e 9.427/9654, bem como do Decreto nº 5.163/04.

A referida autorização aplica-se para termelétricas e para projetos de geração de energia elétrica com fontes renováveis, como solar, eólica, hidráulica e biomassa. No caso das chamadas Centrais Geradoras com capacidade instalada reduzida, assim entendida a instalação de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis com potência instalada igual ou inferior a 5.000 kW, não há necessidade de obtenção de prévia autorização, mas apenas comunicação à ANEEL (ANEEL, 2023).

Além de não ser necessário obter prévia autorização da ANEEL para sua implantação, as Centrais Geradoras com capacidade instalada reduzida também podem comercializar o excedente de energia elétrica (ANEEL, 2023).

Essa autorização para que os autoprodutores possam comercializar o excedente de energia elétrica também é reconhecida pela ANEEL em razão da impossibilidade de haver distinção entre as autorizações de autoprodutor ou produtor independente de energia - PIE para enquadramento de projetos de geração de energia elétrica, já que os PIE também podem alocar energia para o seu consumo próprio (ANEEL, 2023).

2.5. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A análise financeira é indispensável para o entendimento competitivo de um empreendimento, a qual busca compreender a melhor alocação de recursos, para que se maximize os resultados de tal empreendimento. Na análise financeira, deve-se considerar os riscos que devem ser mitigados, bem como, os custos, a relação com o macroambiente e o contexto no qual o empreendimento está inserido (SCHERER, 2017). Segundo Machado (2021), para uma análise de projetos de investimento ideal, faz-se necessário o uso de um conjunto de técnicas (quantitativas, analíticas e

estatísticas), bem como a composição de cenários presentes e futuros, além de fatores financeiros que possam interferir nos resultados do projeto.

As ferramentas de decisões econômicas mais utilizadas em uma análise de viabilidade econômica são: o *payback*, que é o tempo de recuperação do investimento realizado; o VPL, que é o valor presente líquido e a TIR, que é a taxa interna de retorno (VIEIRA, 2019).

O *payback*, que tem como objetivo julgar a atratividade relativa das opções de investimento, é necessário um período para que as entradas de caixa se igualem ao valor que foi investido. Dentro disso, o *payback* descontado tem o objetivo de determinar quanto tempo será necessário para se obter um retorno, avaliando sempre os fluxos de caixa descontados, sendo possível estimar o valor de um projeto através do custo de capital.

O VPL tem como definição a soma algébrica de todos os fluxos de caixa descontados no período inicial (zero) a uma taxa definida no momento que for fazer o investimento. O VPL consiste em trazer presente todos os fluxos de caixa de um projeto de investimento somando-o ao montante inicial (KRUGER et al., 2023).

O método do VPL segundo Kruger et al. (2023), é utilizado para análise e investimento isolados que envolva um curto período. Esse método utilizado isoladamente, tem pouco significado na tomada de decisão, mas quando analisado juntamente com outros indicadores ele passa a ter uma importância maior.

De acordo com Filho e Kopitke (2010), o método do valor anual equivalente (VAUE), consiste em achar uma série uniforme anual equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos considerando a taxa mínima de atratividade (TMA), caso tenha mais de um projeto, verificar qual é o melhor projeto, para isso, é necessário verificar aquele que obtiver um saldo positivo maior.

Por fim, a taxa interna de retorno (TIR), a qual é usada para igualar o VPL de um projeto a zero. O método da TIR diz que o cálculo da taxa zera o valor presente nos fluxos de caixa, dessa forma, os investimentos com uma TIR maior que a TMA nos dão uma rentabilidade, podendo assim ser analisados. Ainda sobre a TIR, nem sempre deve-se chegar à conclusão de que tal projeto é o ideal apenas observando a taxa maior, deve-se analisar outros indicadores para chegar em uma conclusão, pois somente analisando a TIR não significa que o projeto é o melhor (KRUGER et al., 2023).

A Tabela 1 apresenta os critérios de decisão para uso das ferramentas:

Tabela 1: Ferramentas de análise financeira

| Técnicas | CrITÉrios de Decisão |
|--------------------------------------|---|
| <i>Payback</i> Descontado | Quanto menor o tempo de recuperação do investimento, melhor |
| Valor Presente Líquido - VPL | O ndice sendo maior que zero, o projeto  lucrativo. Quanto maior o VPL, melhor. |
| Taxa Interna de Retorno - TIR | Se a TIR for maior que a taxa mínima de atratividade (TMA) ¹ , o projeto  viável. Quanto maior a TIR, melhor. |

Fonte: Adaptado de do Pilar Machado *et al.*, (2023)

Outras variáveis relevantes para análise de viabilidade financeira, estão relacionadas às receitas e aos custos do projeto. Tais variáveis são: *Capital Expenditure* - CAPEX e *Operational Expenditure* - OPEX. O CAPEX envolve todos os custos relacionados à aquisição de equipamentos e instalações que visam a melhoria de um produto, servio ou da empresa em si. O OPEX são os gastos cotidianos, como por exemplo despesas com funcionários, combustível, comercial, manutenção de equipamentos e com servios terceirizados (DO PILAR MACHADO *et al.*, 2023).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO ESTUDO

Para o estudo, é considerada uma usina hipotética de biogás implementada em uma propriedade rural que desenvolve duas atividades distintas (Figura 8): UPL (Unidade de Produção de Leitões) com 4300 matrizes e creche; UPBN (Unidade de Produção de Bezerras e Novilhas) com 2000 cabeças. Para fins desse estudo, essa é denominada como Unidade 1 (U1).

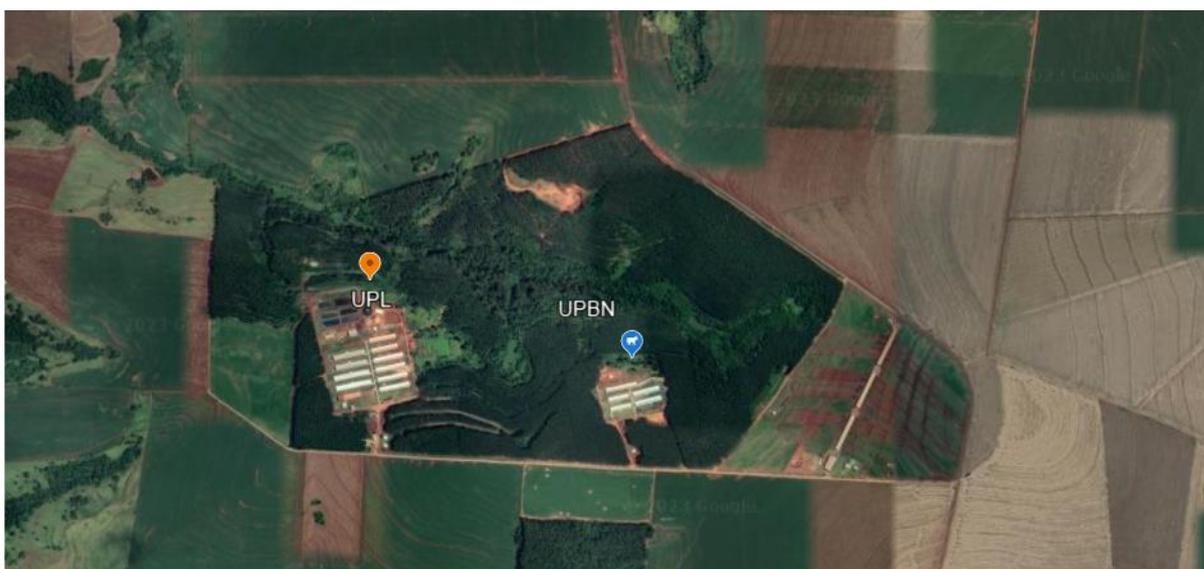


Figura 8: Localização da usina de biogás
Fonte: Google earth (2023)

A usina de energia é instalada junto à carga da U1 e a energia gerada atende inicialmente ao consumo desta. A energia sobressalente é utilizada para abater parte do consumo de uma segunda unidade, um centro de distribuição de produtos e é denominada como U2. Os dados técnicos de consumo de ambas as unidades, são detalhados na seção: “unidades consumidoras”.

3.2. SUBSTRATOS UTILIZADOS

3.2.1. Dejetos suínos

Os dejetos suínos serão provenientes de uma unidade produtora de leitões (UPL) com 4300 matrizes e creche incorporada. Como o sistema de tratamento será implementado na mesma propriedade de geração dos dejetos suínos, estes são

transportados através de galerias. O processo produtivo na UPL acontece conforme o Figura 9 abaixo.



Figura 9: Fluxograma UPL
Fonte: Autor (2023)

- **Gestação:** as matrizes prenhes, uma semana antes do parto são transferidas para instalações de maternidade.
- **Maternidade:** após desmamar os leitões, as matrizes voltam para os galpões de gestação para iniciar um novo ciclo de produção.
- **Desmama:** os leitões desmamados são transferidos para instalações de creche.

O período que o leitão fica na UPL depois de nascer ocorre entre 21 até 28 dias.

3.2.2. Dejetos bovinos

Os dejetos bovinos a serem utilizados na codigestão, são gerados na mesma propriedade, porém em uma área onde se desenvolve a produção de bezerras e novilhas (UPBN) e fazendo uso da gravidade e galerias, o dejetos será levado até a central de tratamento. O processo produtivo na UPBN acontece conforme o Figura 10.



Figura 10: Fluxograma UPBN
Fonte: Autor (2023)

- **Maternidade:** Período compreende vaca próxima da parição até 45 dias de vida do bezerro.
- **Aleitamento:** Fase que compreende bezerro com 45 dias até a desmama quando saem do pasto maternidade junto das mães para outro pasto.
- **Desmama:** é definido como a separação definitiva da cria de sua mãe e tem como objetivo principal a interrupção da amamentação, de modo a estimular o desenvolvimento ruminal dos bezerros e eliminar o estresse da lactação das fêmeas.
- **Recria:** Os bezerros desmamados são transferidos para instalações de creche.
- **Seleção para abate:** Após a separação dos animais nos currais de chegada e seleção, os animais passem por uma limpeza inicial para diminuir o estresse e iniciar a limpeza dos animais, que será concluída nos chuveiros de aspersão antes da sala de matança.
- **Seleção para reprodução:** A seleção de bovinos para reprodução é determinada pelo pecuarista, que seleciona vacas e touros com os melhores atributos reprodutivos, para um maior número de progênes com boa carga genética.

3.2.3. Carcaças de suínos

As carcaças são provenientes do processo produtivo da UPL, onde eventualmente podem ocorrer mortalidades dos animais. Os animais mortos são triturados em equipamento específico e após esse processo, o material triturado é aquecido em desidratador térmico para eliminação de possíveis patógenos.

3.2.4. Lodo flotado de abatedouro de aves

O lodo flotado a ser utilizado no sistema de geração de biogás será proveniente de duas plantas de abatedouros de aves, a primeira planta a 21,70 km e a segunda a 66,10 km de distância da planta na qual será implementada a usina de biogás e serão transportados em caminhões. A Figura 11 representa a distância dos abatedouros e a localização da usina de biogás.

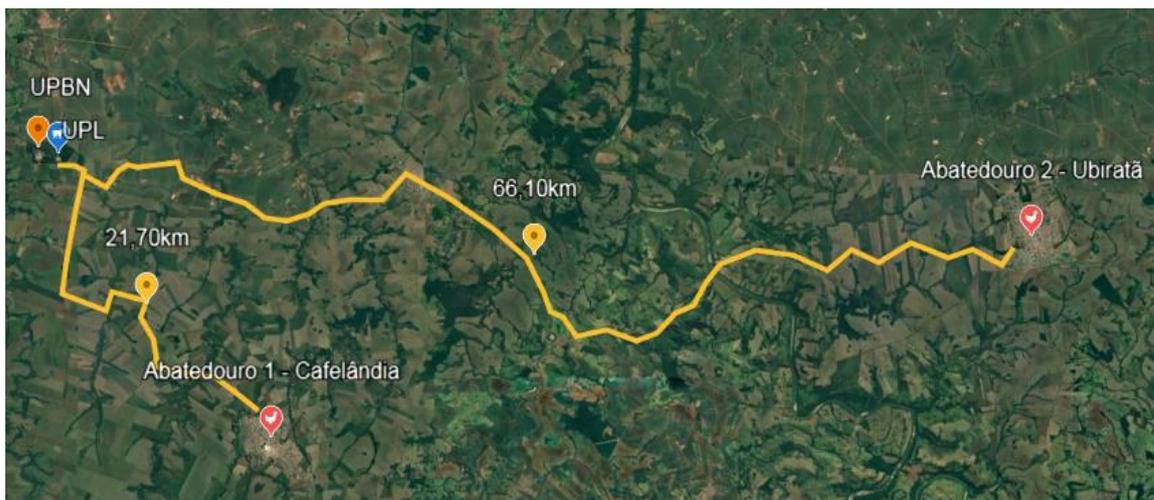


Figura 11: Distância dos abatedouros e a localização da usina de biogás

Fonte: Google earth (2023)

Para a coleta do substrato a base do estudo é da utilização de caçambas *roll on* (Figura 12), também conhecida como caçamba container com capacidade de 25 toneladas cada.



Figura 12: Caçamba roll on
Fonte: Google (2023)

Para análise dos custos com o transporte desse substrato, considerou-se os dados relacionados a quantidade de lodo gerado nos abatedouros, a frequência de cargas coletadas por dia, a distância e o valor do km rodado. Tais dados seguem na Tabela 2.

Tabela 2: Custo do transporte de lodo flotado

| Origem | Volume Anual (t) | Cargas no ano | Distância por carga (km) | Custo do transporte (R\$/km) | Custo anual (R\$) |
|---------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Abatedouro 1 - Cafelândia | 6.683,84 | 365 | 43,4 | 3,08 | 48.790,28 |
| Abatedouro 2 - Ubiratã | 7.319,48 | 365 | 132,2 | 3,08 | 148.619,24 |

Fonte: Autor (2023)

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

As amostras foram coletadas *in loco* utilizando o material bem como as instruções para coleta, armazenamento e transporte do CIBiogás.

A amostra de dejetos suíno fresco foi coletada e consistia em uma mistura de esterco e urina. A amostra de dejetos bovino fresco foi coletada na sala de espera, consistindo em uma mistura de esterco e urina.

As carcaças de suínos foram coletadas conforme a mortalidade que houve na granja, e foram previamente tratadas para evitar contaminação de patógenos. A

amostra de lodo flotado de abatedouro de aves foi coletada na estação de tratamento de efluentes – ETE no tratamento primário.

Os ensaios executados seguiram critérios técnicos de suas respectivas metodologias, assim como critérios de qualidade executados pelo Laboratório do CIBiogás. Para a caracterização dos resíduos foram realizadas as análises físico-química, com ensaios de Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.

3.4. SISTEMA DE CODIGESTÃO

3.4.1. Implantação dos biorreatores

A usina trabalha com um sistema de codigestão que utiliza dois biorreatores anaeróbios com alimentação contínua (CSTR) e um biorreator de lagoa coberta. Além de contar com um sistema de dessulfurização que permite filtrar sulfeto de hidrogênio (H_2S) (Figura 13).



Figura 13: Biorreatores CSTR e lagoa coberta
Fonte: Autor (2023)

O sistema de codigestão conta também com um triturador para as carcaças de suínos e equipamento de pasteurização, após esses processos, o substrato é encaminhado para os biorreatores. Os demais substratos: dejetos suínos, lodo flotado e dejetos de bovinos irão diretamente para os biorreatores.

Considerando que o foco do estudo é análise de viabilidade financeira comparando os modelos de contratação ACR e ACL, o dimensionamento do projeto de biodigestão foi realizada por empresa terceirizada e especialista no assunto.

3.4.2. Estimativa de produção de biogás

Para a realização do teste de batelada do Potencial Bioquímico de Metano– PBM as amostras dos resíduos foram incubadas em triplicata, visando garantir a qualidade do ensaio realizado. No digestor foi realizada a pesagem da amostra a ser ensaiada e do inóculo adicionado. O digestor permaneceu em banho-maria com temperatura que variou de $(37,0 \pm 2,0)$ °C durante todo o experimento. A Figura 14 apresenta o instrumento eudiômetro utilizado para medir a variação do volume dos gases.



Figura 14: Eudiômetro utilizado para medir o volume dos gases
Fonte: CIBiogás (2023)

Os resultados da produção de biogás e metano foram obtidos por meio de um sistema de biodigestão de bancada, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP). A Tabela 3 apresenta o resultado das análises realizadas para caracterização dos substratos e os valores de biogás e metano por tonelada de substrato digerido.

Tabela 3: Resultados da caracterização dos substratos

| Substrato | ST (g/kg) | SV ¹ (g/kg) | SF ¹ (g/kg) | Biogás (LN/kgsv) | Metano (LN/kgsv) | Biogás (m ³ /t de substrato) | Metano (m ³ /t de substrato) | Concentração de metano (%) |
|--------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|---|---|----------------------------------|
| Dejetos Suínos | 38,9 | 652,3 | 347,7 | 534 | 385 | 13,55 | 9,77 | 72,1 |
| Carcaça de Suínos | 215,3 | 949,8 | 50,2 | 565 | 388 | 115,54 | 79,34 | 68,7 |
| Dejetos de Bovinos | 76,6 | 546,3 | 453,7 | 293 | 197 | 12,26 | 8,24 | 67,2 |
| Lodo ETE | 327,7 | 867,7 | 132,3 | 606 | 416 | 172,31 | 118,29 | 68,6 |

¹ Resultados Expressos em base seca. Onde: ST: Sólidos Totais; SV: Sólidos Voláteis; SF: Sólidos Fixos

Fonte: Autor (2023)

Por meio dos resultados obtidos pelas análises laboratoriais e a quantidade de geração dos substratos estudados, foi possível calcular a quantidade de biogás gerado pelo sistema. Conforme Tabela 4.

Tabela 4: Quantidade de biogás gerado pelo sistema

| Substrato | Volume anual (t) | Produção de biogás (m ³ /ton de resíduo) | Volume anual de biogás (m ³) |
|---------------|---------------------|--|--|
| Dejeto Suíno | 109.500,00 | 13,55 | 1.483.725,00 |
| Dejeto Bovino | 10.400,00 | 12,26 | 127.504,00 |
| Carcaça Suíno | 318,00 | 115,54 | 36.741,72 |
| Lodo ETE | 14.003,00 | 172,31 | 2.412.856,93 |
| Total | | | 4.060.827,65 |

Fonte: Autor (2023)

3.5. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA

Por meio dos valores do potencial de produção de biogás e os dados técnicos do grupo motogerador (GMG) é possível dimensionar a quantidade de equipamentos para geração de energia. Um GMG com potência de 260 kW consome a quantidade de biogás (m³/h) conforme a porcentagem de metano na sua composição. Essa porcentagem é apresentada abaixo:

- Metano 65% - consumo de 118 (m³/h) de biogás;
- Metano 70% - consumo de 109 (m³/h) de biogás;
- Metano 95% - consumo de 76 (m³/h) de biogás;

Para o dimensionamento supracitado, foi levado em conta a quantidade de biogás disponível por hora e o consumo específico do GMG. Com isso, o volume horário do biogás é de 463,56 m³. Já, o consumo do GMG é de 118 m³/h, serão necessários 3,93 GMG.

A quantidade de energia elétrica ativa produzida por mês foi obtida por meio da equação (1).

$$E = PC * 30 * \frac{V_B}{C} \quad (1)$$

Sendo que:

E: Energia Elétrica Ativa (*kWh/mês*)

V_B: Volume diário de biogás (*m³*)

PC: Potência do Gerador em regime de operação contínua (260 kW)

C: Consumo do GMG (*m³/h*)

3.6. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

3.6.1. Tarifas de energia

Após a determinação da quantidade de energia elétrica gerada pela usina de biogás, a análise econômica se concentrará na comparação dos modelos de geração de energia nos ambientes de Contratação Regulada – ACR (Geração Distribuída) e Contratação Livre – ACL (Autoprodução).

Neste trabalho, foram adotadas as tarifas vigentes da Copel, definidas na Resolução Homologatória nº 3.209, de 20 de junho de 2023, conforme a Tabela 3.

No ACR as tarifas são totalmente reguladas e serão utilizados os valores da Tabela 5.

No ACL, os valores das tarifas serão os mesmos, contudo a TE (Tarifa de Energia) passa a ser negociada bilateralmente com fornecedores terceiros, portanto para esta componente será usado preço médio de mercado de R\$ 200,00.

Tabela 5: Tarifas de energia

| Tarifa | Valor |
|--------------------|-----------------|
| Demanda | 22,46 R\$/kW |
| TUSD Ponta | 1168,19 R\$/MWh |
| TUSD Fora Ponta | 98,56 R\$/MWh |
| TE Ponta | 450,99 R\$/MWh |
| TE Fora Ponta | 287,36 R\$/MWh |
| Benefício TUSD APE | 81,75 R\$/MWh |

Fonte: ANEEL (2023)

3.6.2. Desconto TUSD

Ressalta-se que a usina de biogás supre toda a demanda de energia da U1, por isso as componentes energia e TUSD são zerados em ambos os cenários. Com relação às componentes de demanda contratada, no ACL, a U1 tem o benefício de desconto da energia incentivada, igual a 100%, por isso os custos são zerados.

A U2 consome parte da energia proveniente da usina de biogás (com desconto de 100% na TUSD) e parte da energia proveniente de contratos do ACL (com desconto de 50% na TUSD). Portanto, o desconto líquido que a U2 terá na TUSD é obtido por meio da média ponderada das variáveis supracitadas conforme Equação 2.

$$Desconto\ TUSD = \frac{C_{i100} * 100\% + C_{i50} * 50\%}{C_{total}} \quad (2)$$

Sendo que:

C_{i100} : 523,32 (Energia consumida proveniente da usina de biogás);

C_{i50} : 136,68 (Energia consumida adquirida no ACL).

3.6.3. Unidades consumidoras

Para realização da viabilidade econômica foram consideradas duas unidades consumidoras:

- 1. Primeira unidade (U1):** é a UPL e UPBN, onde está instalada a usina de biogás, que possui a geração conectada a sua carga e as características de consumo são conforme Tabela 6.
- 2. A segunda unidade (U2):** é um centro de distribuição de produtos que possui um consumo de energia conforme Tabela 6.

Tabela 6: Consumo U1 e U2

| Componente | Valor (U1) | Valor (U2) |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| Fora de Ponta (MWh) | 100,80 | 600 |
| Ponta (MWh) | 11,2 | 60 |
| Demanda (kW) | 170 | 1700 |

Fonte: Autor (2023)

Adotaram-se essas unidades considerando que, a U1 desenvolve um processo produtivo que demanda de sistema de tratamento dos resíduos gerados, viabilizando a implantação da usina de biogás. A U2 possui um consumo energético expressivo e conseqüentemente tem um custo elevado para a empresa, necessitando de alternativas para otimização desse custo.

3.6.4. Análise de viabilidade

Para a análise de viabilidade econômica, considerou-se o CAPEX e OPEX da implantação da usina de biogás. Os dados foram obtidos por meio de contato com empresas especializadas e, posteriormente os valores obtidos foram tabulados em planilha do Microsoft Excel.

A receita do projeto foi considerada como “custo evitado”, pois a energia elétrica produzida na usina de biogás não será comercializada, mas sim, serão utilizados métodos de compensação que permitirá abater as faturas de energia da U1 e U2. As tarifas de energia utilizadas para esse cálculo estão na Tabela 5.

Para se realizar as projeções, todas as receitas e os custos operacionais da usina de biogás sofreram variações anuais. As tarifas de energia reguladas, que

impactam os custos da distribuidora não acompanham a inflação, por isso foi considerado a média dos últimos 5 anos da Copel, de 5,82%.

Para as variáveis custo O&M, transporte e energia ACL foi considerado IPCA de 3,86 % a.a., obtido pela média dos IPCAs projetados pelo Boletim Focus no período de 2023 a 2026.

Após a tabulação dos dados do CAPEX, OPEX e receitas do projeto, obteve-se os resultados das ferramentas de análise de viabilidade (VPL, TIR e *PAYBACK*). A análise do VPL foi realizada para um horizonte de 20 anos e utilizou-se a taxa SELIC de 2023 como 11,75%, conforme Boletim Focus emitido em 04/12/2023.

A Tabela 7 apresenta os custos para a aquisição dos equipamentos, instalação do sistema de biodigestão, e demais valores para a análise de investimentos. Juntamente, apresenta-se o OPEX mensal, que inclui o custo operacional e manutenção do biodigestor e dos caminhões utilizados no transporte do substrato.

Tabela 7: Cálculo de viabilidade

| CAPEX | | OPEX | |
|-----------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Descrição | Valor (R\$) | Descrição | Custo anual (R\$) |
| Equipamentos | 8.983.000,00 | Mão de obra | 245.109,00 |
| Civil | 2.480.000,00 | Manutenção dos equipamentos | 345.342,96 |
| Instalações elétricas | 3.700.000,00 | Transporte dos substratos | 197.409,48 |
| TOTAL | 15.163.000,00 | TOTAL | 787.861,52 |

Fonte: Autor (2023)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CUSTOS ATUAIS DAS UNIDADES

Para sintetizar os resultados obtidos no estudo, considerou-se os custos atuais de energia para a U1 e U2. Os valores são corrigidos anualmente, portanto, a Tabela 8 abaixo elucida os custos do ano 1.

Tabela 8: Custos atuais de energia

| Unidade | Componente | Custo |
|----------------|--------------------|-------------------------|
| U1 | TUSD Ponta | R\$ 168.219,36 |
| | TUSD Fora Ponta | R\$ 130.099,20 |
| | Demanda contratada | R\$ 35.037,60 |
| | Energia Ponta | R\$ 64.942,56 |
| | Energia Fora Ponta | R\$ 379.328,40 |
| | Subtotal | R\$ 777.627,12 |
| U2 | TUSD Ponta | R\$ 841.096,80 |
| | TUSD Fora Ponta | R\$ 709.632,00 |
| | Demanda contratada | R\$ 458.184,00 |
| | Energia Ponta | R\$ 324.712,80 |
| | Energia Fora Ponta | R\$ 2.069.064,00 |
| | Subtotal | R\$ 4.402.689,60 |
| TOTAL | | R\$ 5.180.316,72 |

Fonte: Autor (2023)

Para calcular o custo de cada componente tarifária, tomou-se como base os dados elétricos de cada unidade e os valores de tarifa de energia reguladas.

Observou-se na Tabela 8 que o custo da U2 representa aproximadamente 85% do custo global, sendo coerente com as proporções de consumo das unidades.

4.2. CUSTOS DE ACR E ACL

Para a análise da viabilidade, foi necessário calcular os custos dos cenários ACR e ACL, considerando a usina de biogás em operação, para então obter os custos evitados e conseqüentemente a receita do projeto.

Os custos dos cenários ACR e ACL estão apresentados na Tabela 9, como os valores são corrigidos anualmente, a Tabela abaixo elucida os custos do ano 1.

Tabela 9: Custos do ACR e ACL

| Unidade | Componente | Custo ACR | Custo ACL |
|----------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 | TUSD Ponta | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| | TUSD Fora Ponta | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| | Demanda contratada | R\$ 35.037,60 | R\$ 0,00 |
| | Energia Ponta | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| | Energia Fora Ponta | R\$ 0,00 | R\$ 0,00 |
| | Demanda geração | R\$ 73.491,60 | R\$ 0,00 |
| | Subtotal | R\$ 108.529,20 | R\$ 0,00 |
| 2 | TUSD Ponta | R\$ 20.031,89 | R\$ 150.707,03 |
| | TUSD Fora Ponta | R\$ 11.781,09 | R\$ 709.632,00 |
| | Demanda contratada | R\$ 458.184,00 | R\$ 47.442,87 |
| | Energia Ponta | R\$ 92.801,84 | R\$ 41.154,72 |
| | Energia Fora Ponta | R\$ 412.199,62 | R\$ 286.877,28 |
| | TUSD Fio B Energia Injetada | R\$ 4.963,44 | R\$ 0,00 |
| | Benefício APE | R\$ 0,00 | -R\$ 513.376,92 |
| | Encargos setoriais | R\$ 0,00 | R\$ 49.204,80 |
| | Encargos CDE Covid | R\$ 0,00 | R\$ 106.920,00 |
| | Custo fixo de gestão | R\$ 0,00 | R\$ 30.000,00 |
| | Subtotal | R\$ 999.961,88 | R\$ 908.561,78 |
| TOTAL | | R\$ 1.108.491,08 | R\$ 908.561,78 |

Fonte: Autor (2023)

Avaliando a Tabela 9, percebe-se que o custo no ano 1 sofre uma redução bastante expressiva frente aos custos atuais, reduzindo R\$ 4.071.825,64 e R\$ 4.271.754,94, no ACR e ACL respectivamente. Cabe frisar, que os valores citados não consideram os custos operacionais da usina, estes são contabilizados na análise de viabilidade. É possível observar também, que os custos totais evidenciam que o ACL traz maior economia quando comparado com o ACR.

4.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Levando em consideração os dados expostos, realizou-se a análise de viabilidade econômica. A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos segundo as ferramentas de viabilidade econômica.

Tabela 10: Resumo dos resultados da análise de viabilidade econômica

| FERRAMENTA | ACR | ACL |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| VPL (20 ANOS) | R\$ 22.512.986,42 | R\$ 25.686.384,91 |
| TIR | 27,22% | 28,95% |
| PAYBACK | 5,83 anos | 5,39 anos |
| ECONOMIA (20 ANOS) | 65,74% | 71,80% |

Fonte: Autor (2023)

Observa-se na Tabela 10 que, os VPL's foram positivos e há uma diferença de R\$ 3.173.398,49 entre o ACR e ACL. Além disso, as TIR's foram maiores do que a TMA adotada (11,75%). Vale citar que os dados utilizados para o VPL já consideram valores dos custos operacionais da usina.

Silva et al. (2021), analisou o aproveitamento energético proveniente de um sistema de recuperação energética baseado no biogás. Apesar dos substratos estudados terem potencial bioquímico de metano e a energia gerada ser comercializada, o VPL analisado na pesquisa de Silva et al. (2021) apresentou resultados negativos e evidenciou que o projeto não é viável.

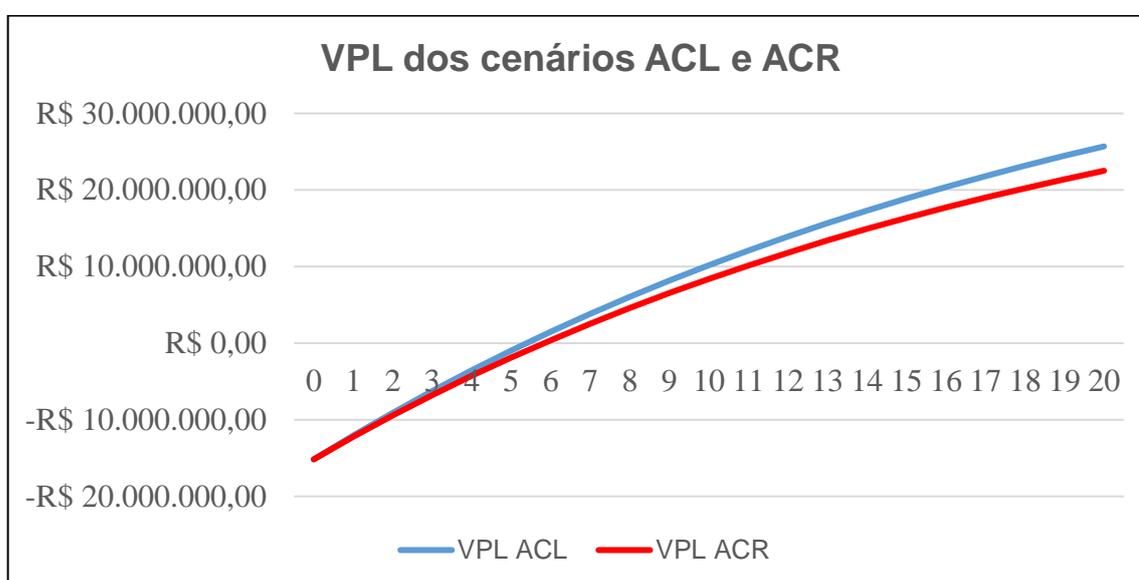
Vale ressaltar que os valores apresentados na Tabela 10 foram obtidos considerando o transporte de alguns substratos para a usina de biogás e mesmo assim, os resultados se mostraram positivos e bastante favoráveis. Contudo, González et al. (2023), obtiveram resultados de viabilidade econômica nulas quando se considerou o transporte dos dejetos agrícolas para atingir eficiência energética do biogás.

Ainda observando a Tabela 10, nota-se que no ACL, a economia do sistema de geração de energia é maior do que no ACR, apresentando um valor de 65,74% e 71,80%, respectivamente. Apesar da diferença entre os cenários ser pequena (6,06%), nota-se que o ACL possui uma economia mais atrativa.

No que se refere ao *payback*, nota-se que o retorno do investimento é atingido em 5,83 anos no ACR e 5,39 anos no ACL. Pinto et al. (2022), obteve um *payback* com valor de 17,58 anos, valor mais alto do que o apresentado nesse estudo, entretanto na análise supracitada a simulação foi realizada considerando a comercialização da energia gerada, que devido ao preço de mercado piora a receita do projeto e conseqüentemente o *payback*.

O Gráfico 1 apresenta o comportamento do VPL para ambos os cenários, ACR e ACL, durante os anos.

Gráfico 1: VPL nos dois cenários de contratação



Observando o Gráfico 1, é possível constatar que a análise do VPL indicou que o ACL é mais viável quando comparado com o ACR.

Flesch et al. (2022), constatou em seu estudo que houve uma redução aproximadamente de 82% no custo total com energia elétrica com a migração para o ACL e implementação de usina no formato de autoprodutor de energia. Levando a conclusão de que, este ambiente de contratação se mostra mais atrativo comparado ao dos consumidores cativos.

Por fim, o resultado é que o modelo mais atrativo para implantação da usina a biogás, levando em conta as unidades U1 e U2 é o Ambiente de Contratação Livre - ACL. Vale citar que os resultados podem variar considerando diferentes custos por MWh descritos no processo de contratação, uma vez que se utilizou valores médios para a análise.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente, avaliou-se a geração de biogás por meio da cogeração de substratos da agroindústria e com base nos resultados obtidos, comprovaram-se que os substratos utilizados no estudo possuem potencial bioquímico de metano, permitindo a geração de energia elétrica.

Considerando o sistema de biodigestão, a geração de energia elétrica e a análise de viabilidade econômica (VPL, TIR e *Payback* Descontado), conclui-se que a alternativa de comercialização da energia elétrica gerada que se apresentou mais vantajosa, para o caso aqui estudado, foi o ACL, pois apresenta melhores índices para os indicadores estudados.

O estudo proposto evidenciou uma solução sustentável para a destinação dos substratos gerados nos processos agroindustriais. Além disso, a comparação entre os dois principais modelos de contratação de energia existentes no Brasil, auxilia na tomada de decisão dos investidores e gestores das agroindústrias, de modo a otimizar os custos energéticos do setor.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABIEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. Pecuária Brasileira. Disponível em: http://abiec.com.br/3_pecuaria.asp

ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Relatório Anual 2022. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorio-anual-2022.pdf>

ABRACEEL. Boletim Anual de Mercado. Associação Brasileira de Comercializadores de Energia. Publicado em 20 de dezembro de 2021.

ALBUQUERQUE, Milla Gomes et al. Impactos socioambientais dos dejetos da pecuária no âmbito rural: uma revisão de literatura. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 15, n. 1, p. 517-529, 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2023). Resolução Homologatória nº 3.209, de 20 de junho de 2023.

ARAUJO, G. J. F.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; Analysis of financial and economic feasibility of the use of vinasse for electricity generation in Brazil. **Cad. EBAPE.BR**, v. 18, nº 4, Rio de Janeiro, Oct./Dec. 2020.

BARCHMANN, Tino et al. Expanding the flexibility of biogás plants–substrate management, schedule synthesis and economic assessment. *Landtechnik*, v. 71, n. 6, p. 233-251, 2016.

BERNARDES, P. A. C. S, et al., Net metering and tax incentives for distributed generation in Brazil: Economic impact analysis for swine biogas, *Journal of Cleaner Production*, Volume 375, 2022.

BIOGAS MOTORES. Grupo Gerador a Diesel GGD 80. Disponível em : <https://biogasmotores.com.br/produto/14-grupo-gerador-a-diesel-ggd-80>. Acesso em: 30 nov. 2021.

BORSCHIVER, Suzana; TAVARES, Aline. Economia circular e o setor energético *Boletim Energético - Botafogo* (RJ), jun. 2018.

BRASIL, Decreto 5163 de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.

CAMARGO, R. F. (2016). *CAPEX x OPEX: entenda as principais diferenças e saiba o que levar em consideração na hora de escolher*. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/capex-x-opex/>

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica “Procedimentos de Comercialização” 2017. Disponível em:
<https://www.ccee.org.br/mercado/procedimentos-de-comercializacao>

CIBIOGÁS. (2018). Conceitos básicos e digestão anaeróbia. Curso de Biogás: fundamentos e aplicações do CIBiogás.

CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 001/2021 – Panorama do Biogás no Brasil 2020. Foz do Iguaçu, Março de 2021.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do Agronegócio Brasileiro, 2023. Disponível em:<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>

COLARES, André Luis. Dejetos de bovinocultura de leite na adubação da alface. Maringá – PR, 2023.

COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2006

COMERC. Comerc Energia, 2017. Disponível em:
<https://www.comerc.com.br/mercado-livre-de-energia>

DADRASNIA, A. et al. Sustainable nutrient recovery from animal manure: A review of current best practice technology and the potential for freeze concentration. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdã, v. 315, p. 128106, setembro, 2021.

DO PILAR MACHADO, Luana et al. Modelo de classificação para destinação de dejetos suínos. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v. 14, n. 5, p. 8540-8555, 2023.

DOLMAN, M. A. (2012). Exploring variation in economic, environmental and societal performance among Dutch fattening pig farms. *Livestock Science* , 143-156.

DRUMM, F. C. GERHARDT, A. E. FERNANDES, G. D. CHAGAS, P. SUCOLOTTI, M. S. KEMERICH, P. D. D. C. “Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores”, *Reget*, vol. 18, p.66–78, 2014.

ENGIE. ENGIE Energia, 2017. Disponível em:
<https://www.engie.com.br/solucoes/nossa-expertise/gerenciamento-de-energia/>

EMBRAPA. (2018). Fonte: Atualidades da Suinocultura Brasileira, 2018. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173144/1/final8757.pdf>

EPE, E. d. (2021). Expansão da geração. Disponível em:
<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>

FILHO, Nelson Casarotto; KOPITTKKE, Bruno Hartmut. Análise de investimentos. 11 ed. São Paulo: Atlas S.A, 2010.

FISCHER, Charles. Modalidades tarifárias e suas repercussões no payback de empreendimentos de micro e minigeração geração distribuída fotovoltaica em sistemas Net Metering, 2021.

FERNANDES, Giovanna Loiola et al. Geração de energia usando biogás de aterros sanitários no Brasil: um estudo de potencial energético e viabilidade econômica em função da população. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 67-77, 2022.

FLESCH, C. H. et al. Análise financeira da energia fotovoltaica no mercado livre de energia. **Sociedade Brasileira de Automática**, Vol 2 No 1 (2022): SBSE2022.

GARCIA, Leandro Conti; CARDOSO, Flávia Aparecida Reitz; ARANTES, Eudes José. Biorreatores anaeróbios: uma abordagem técnico-operacional. 2019

GASTARDELO, T. A., & MELZ, L. J. (2014). A suinocultura industrial no mundo e no Brasil. *Revista UNEMAT de Contabilidade*, 72-92.

GONZÁLEZ, Ruben; GARCÍA-CASCALLANA, José; GÓMEZ, Xiomar. Energetic valorization of biogas. A comparison between centralized and decentralized approach. **Renewable Energy**, v. 215, p. 119013, 2023.

GUARES, Simone A.; Modelo de avaliação técnica e econômica do uso de biodigestores na geração de energia elétrica e biofertilizante com dejetos da bovinocultura. 2020. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

GUIMARÃES, D. a. (2017). Suinocultura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES. *Agroindústria/BNDES Setorial* 45 ,85-136.

IBGE – Agência IBGE Notícias. Rio de Janeiro, 2018.

KRUGER, Silvana Dalmutt; ZANELLA, Cleunice; BARICHELLO, Rodrigo. Análise da viabilidade econômico-financeira para implantação de projeto de produção de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v. 14, n. 1, p. 428-445, 2023.

KUNZ, A.; et al. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. 1. ed. Concordia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

MACHADO, P. L. (2021). *Modelo de classificação para destinação de dejetos suínos*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias, Gestão e Sustentabilidade - PPGTGS, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

MACHADO, P.L. et al. Análise da Viabilidade do Pagamento aos Pequenos Produtores pelos Dejetos Suínos para Geração de Energia-Biogás. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2020.

MARTINELLI G, et al. (2020) Assessing the eco-efficiency of different poultry production systems: an approach using life cycle assessment and economic value added. **Sustainable Production and Consumption** 24:181–93.

MARTON, Alessandra Mara da Silva et al. Desenvolvimento de um compósito eco-friendly de ABS reforçado com resíduos proveniente da fibra da palmeira para aplicação em impressão 3D. 2023.

MATHIAS, João Felipe Cury Marinho. BIOGÁS EM PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES: UMA OPÇÃO DE DESENVOLVIMENTO LOCAL SUSTENTÁVEL. In: **10º Congresso Brasileiro de Sistemas**. 2014.

MAURI, G. N. (2017). Startups no agronegócio brasileiro: uma revisão sobre as potencialidades do setor. *Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE* , 107-121.

MEDINA S., Gabriel. Economia do agronegócio no Brasil: participação brasileira na cadeia produtiva da soja entre 2015 e 2020. **Novos cadernos NAEA**, v. 24, n. 1, 2021.

NAMETALA, Ciniro Aparecido Leite; DE FARIA, Wandry Rodrigues; JÚNIOR, Benvindo Rodrigues Pereira. Um Índice de Volatilidade para Leilões de Contratação Bilateral de Energia Elétrica. **IEEE Latin America Transactions**, v. 18, n. 5, p. 938-946, 2020.

NASSIF, A.; BRESSER-PEREIRA, L. C.; FEIJO, C. The case for reindustrialisation in developing countries: towards the connection between the macroeconomic regime and the industrial policy in Brazil. *Cambridge Journal of Economics*, [S. l.], p. 355-381, Feb. 2017.

NISHIMURA, Abner Silva. Avaliação da remoção dos macronutrientes nitrogênio e fósforo de efluente de abatedouro por fitorremediação. 2020.

NOGUEIRA, A. C. (2016). Projeto de unidade de bioenergia e tratamento de resíduos de abatedouros de aves de corte. *Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências*.

PAZMIÑO, M. L.; RAMIREZ, A. D. Life cycle assessment as a methodological framework for the evaluation of the environmental sustainability of pig and pork production in Ecuador. *Sustainability, Switzerland*, v. 13, n. 21, p. 11693, outubro, 2021.

PEREIRA, Flávia E. de A. et al. Anaerobic co-digestion of swine and laying hen waste for biogas generation and digestate quality. **Engenharia Agrícola**, v. 43, p. e20220124, 2023.

PINTO, Juliana de Souza et al. Redução da volatilização de amônia de dejetos líquidos suínos com mecanismos ácidos. 2023.

PINTO, Luane Schiochet et al. An alternative methodology for analyzing the risk and sensitivity of the economic viability for generating electrical energy with biogas from the anaerobic bio-digestion of vinasse. **Renewable Energy**, v. 155, p. 1401-1410, 2020.

RESENDE, M. L. (2017). Dimensionamento de um biodigestor para o tratamento de dejetos bovinos em uma fazenda da zona rural de Lagoa da Prata-MG.

RIBEIRO Luiza, et al., Technical and economical aspects of Whole sale electricity markets: Na international comparison and main contributions for improvements in Brazil, Electric Power Systems Research, Volume 220, 2023.

RIBEIRO, Thiago et al. Avaliação da utilização do biogás em motores a combustão para geração de energia elétrica. 2022.

SAMPAIO MODERNO, L. G. .; SOUZA SANTOS, B. H.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. Geração de energia a partir de biogás proveniente de dejetos animais: estudo de caso em uma pequena propriedade RURAL. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 146–172, 2023.

SENAI. (2016). Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná. Curitiba, PR.

SILVA, Hellen Luisa de Castro et al. Gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos do Consórcio do Maciço de Baturité: Análise técnica e econômica da geração de biogás por aterro sanitário e usina de digestão anaeróbia. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 855-864, 2021.

TAMBONE, Fulvia et al. Measuring the organic amendment properties of the liquid fraction of digestate. **Waste management**, v. 88, p. 21-27, 2019.

VARGAS, R.J. Controle estatístico de qualidade para avaliação de bioindicadores do solo submetido à irrigação com efluente industrial tratado de abatedouro de aves, 2019. Dissertação de Mestrado (Tecnologias Computacionais Para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VENEGAS-VENEGAS, José Apolonio et al. Potencial de biogás, energia elétrica, redução de CO₂eq e rentabilidade do biodigestor-motogerador para fazendas leiteiras no México. **Estudos Sociais. Revista de Alimentação Contemporânea e Desenvolvimento Regional** , 2023.

VERDI, Leonardo et al. Does the use of digestate to replace mineral fertilizers have less emissions of N₂O and NH₃. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 269, p. 112-118, 2019.

VIEIRA, F. P. (2019). Análise de Viabilidade Econômica do Biogás e do Biometano Provenientes de Dejetos Suínos: Um estudo de caso. *Tecnia*, 146-167.

WEIRICH, C. S.; et al. Analysis of the brazilian potential for electricity generation from photovoltaic solar energy sources and biogas in the context of distributed generation. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 8, p. e38711831096, 2022.

ZHANG J.L., Y.-J. Zhang, D.-Z. Li, Z.-F. Tan, and J.-F. Ji, Fore casting day-ahead electricity prices using a new integrated model. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, vol. 105, pp. 541–548, feb 2019.