

**DIEGO TAKESHI MIYASAKA**

# **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE USINA DE GERAÇÃO DE ENERGIA À BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico, de Pós-Graduação lato sensu, Nível de Especialização, da FGV/IDE como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista.

**Orientador: Andriei José Beber, Dr.**

**CURITIBA – PARANÁ  
2019**

DIEGO TAKESHI MIYASAKA

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE USINA DE GERAÇÃO DE  
ENERGIA À BIOGÁS

Andriei José Beber, Dr.

Orientador

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista TURMA MBASE 1/17.

Curitiba – PR  
2019

---

O Trabalho de Conclusão de Curso

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE USINA DE GERAÇÃO DE  
ENERGIA À BIOGÁS

elaborado por Diego Takeshi Miyasaka e aprovado pela Coordenação Acadêmica foi aceito como pré-requisito para a obtenção Curso de Pós-Graduação lato sensu, Nível de Especialização, do Programa FGV Management, MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico

Data da aprovação: 15 de Outubro de 2019

---

Coordenador Acadêmico  
Prof. Fabiano Simões Coelho, Ph.D.

---

Professor orientador  
Prof. Andriei José Beber, Dr.

---

## TERMO DE COMPROMISSO

O aluno Diego Takeshi Miyasaka, abaixo-assinado, do Curso MBA Executivo em Administração: Setor Elétrico, do Programa FGV Management, realizado nas dependências da instituição conveniada ISAE - Instituto Superior de Administração e Economia, no período de Outubro de 2017 a Junho de 2019, declara que o conteúdo do trabalho de conclusão de curso intitulado Análise de Viabilidade Econômica de Usina de Geração de Energia à Biogás, é autêntico, original, e de sua autoria exclusiva.

Curitiba, 08 de novembro de 2019.

---

Diego Takeshi Miyasaka

---

---

# SUMÁRIO

---

1	INTRODUÇÃO.....	4
1.1	BIOGÁS NO MUNDO .....	5
1.2	BIOGÁS NO BRASIL.....	8
1.3	POTENCIAL DE BIOGÁS NO BRASIL .....	10
1.3.1	SUCROENERGÉTICO .....	11
1.3.2	SANEAMENTO .....	11
1.3.3	AGROPECUÁRIO.....	12
1.4	OBJETIVO .....	13
1.4.1	PONTOS FORTES .....	13
1.4.2	PONTOS FRACOS.....	13
1.4.3	OPORTUNIDADES.....	14
1.4.4	AMEAÇAS .....	14
1.4.5	MATRIZ SWOT.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1	AGRONEGÓCIO .....	16
2.2	BIODIGESTORES .....	17
2.3	BIOGÁS.....	19
2.4	TRATAMENTO DE BIOGÁS .....	20
2.5	TRANSPORTE DE BIOGÁS .....	21
2.6	GERAÇÃO DE ENERGIA.....	22
2.7	MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	23
2.8	ANÁLISE FINANCEIRA.....	24
2.8.1	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE .....	25
2.8.2	CUSTO MÉDIO PONDERADO DO CAPITAL .....	25
2.8.3	CAPITAL ASSET PRICING MODEL – CAPM .....	26
2.8.4	VALOR PRESENTE LÍQUIDO .....	27
2.8.5	TAXA INTERNA DE RETORNO .....	28
2.8.6	PAYBACK .....	28

---

---

2.8.7	ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE.....	29
3	ESTUDO DE CASO.....	30
3.1	CARACTERIZAÇÃO .....	30
3.1.1	ESCOPO .....	31
3.2	POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS .....	31
3.3	BIODIGESTORES .....	35
3.4	TRANSPORTE DO BIOGÁS .....	36
3.5	GERAÇÃO DE ENERGIA.....	36
3.6	DESPESAS DE CAPITAL (CAPEX).....	37
3.6.1	PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	38
3.6.2	GERAÇÃO DE ENERGIA.....	38
3.6.3	TRANSPORTE E TRATAMENTO DO BIOGÁS .....	39
3.6.4	CAPEX TOTAL .....	39
3.7	DESPESAS OPERACIONAIS (OPEX).....	39
3.8	ANÁLISE FINANCEIRA .....	40
3.8.1	TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE.....	40
3.8.2	PREMISSAS ECONÔMICAS .....	41
3.8.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	43
4	RESULTADO.....	48
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	50
6	BIBLIOGRAFIA .....	52
7	ANEXO.....	54

---

---

## RESUMO

A geração de energia através de fontes renováveis está em constante crescimento nos últimos anos, e o biogás se apresenta com uma fonte de geração de energia a ser explorada. O biogás pode ser produzido através do processo de biodigestão de algumas matérias orgânicas, dentre elas resíduos de atividade pecuária. A região dos Campos Gerais, no Paraná, se destaca por uma grande quantidade de propriedades rurais com atividade de bovinocultura e suinocultura, as quais geram diariamente grande quantidade de resíduos que necessitam de tratamento para evitar a contaminação do meio ambiente. Neste contexto, realizou-se um estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de geração de energia através do biogás produzido em propriedades rurais, sendo ele transportado, através de gasodutos, até uma central de geração de energia. Neste estudo foram consideradas as possibilidades de comercialização da energia no ambiente de mercado livre e através dos mecanismos de geração distribuída. A taxa mínima de atratividade foi determinada através dos modelos de *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) e Custo Médio Ponderado de Capital (WACC), sendo que os resultados dos indicadores financeiros apresentaram viabilidade econômica na instalação da usina de geração de energia à biogás utilizando os mecanismos de geração distribuída.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás; Viabilidade econômica; Geração distribuída.

---

# 1 INTRODUÇÃO

A geração de energia a partir de fontes renováveis está crescendo nos últimos anos, muito devido ao desenvolvimento tecnológico destas fontes, mas também pelo aumento na demanda mundial de energia e pela necessidade de uma matriz energética mais sustentável, ou seja, menos dependente das fontes fósseis, as quais são finitas e altamente poluentes ao meio ambiente.

O Brasil vem se destacando, no cenário mundial, na produção de energias renováveis. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2017, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, atingindo 42,9% de participação. Referindo-se a matriz elétrica brasileira, o percentual de participação das energias renováveis aumenta para 80,4%.

Neste cenário de geração de energias renováveis, o biogás vem se apresentando como um produto de grande poder energético, servindo como matéria-prima tanto para geração de energia elétrica como térmica e veicular. Além disso, trata-se de uma tecnologia capaz de se adaptar a diferentes escalas produtivas e ambientes geográficos.

Diferentemente dos derivados de petróleo, o biogás pode ser gerado a partir de fontes diversificadas e renováveis de biomassa, por exemplo, resíduos agropecuários, industriais e urbanos. Sendo assim, o biogás é um importante instrumento para a busca da sustentabilidade ambiental, social e econômica, pois atua no combate à poluição, promove a distribuição de energia descentralizada e representa um produto de valor agregado.

Segundo Coelho (2006), o biogás é composto por grande parcela de gás metano (CH<sub>4</sub>), que quando lançado na atmosfera possui potencial poluidor 21 vezes superior ao dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em relação ao efeito estufa, sendo que sua utilização para geração de energia promove a redução deste potencial de poluição ambiental.

---

## 1.1 BIOGÁS NO MUNDO

De acordo com a IEA (International Energy Agency), o biogás ainda representa uma pequena parcela da geração de energia no mundo. Em 2015, menos de 0,3% da energia total produzida teve origem em biogases.

Por outro lado, conforme demonstrado no gráfico 01, elaborado pela IEA, o biogás foi a terceira fonte de energia renovável com maior taxa de crescimento anual no período de 1990-2015, aumentando 12,8% a.a. e ficando atrás apenas da energia solar fotovoltaica e da eólica.

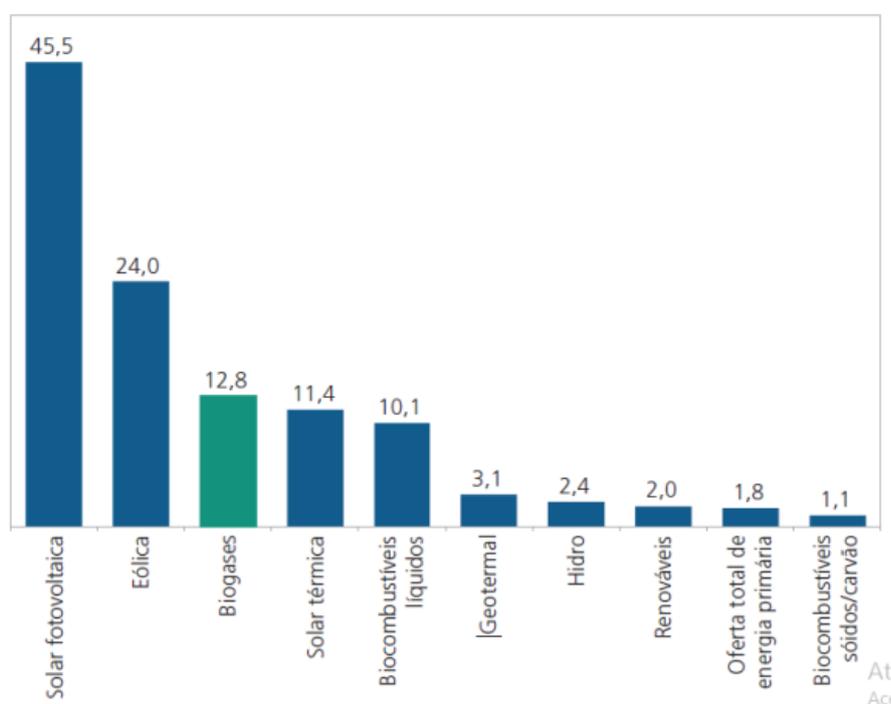


Figura 1: Taxas de crescimento mundiais anuais médias da oferta de renováveis - 1990-2015 (%). Fonte: IEA - International Energy Agency

O modelo internacional, principalmente europeu, consiste em usinas de biogás onde se concentram os resíduos de várias fontes e origens em um único biodigestor de alta tecnologia, proporcionando ganho de escala e um sistema mais eficiente e monitorado, sendo esta uma forma de compensar as baixas temperaturas da região. Além disso, a estrutura fundiária nestes países promove grande proximidade entre as propriedades geradoras de biomassa, favorecendo a logística de transporte dos materiais a serem utilizados no biodigestor, bem como do digestato que posteriormente é utilizado como fertilizante orgânico.

A Europa tem se destacado na produção de biogás, de acordo com a EBA (European Biogas Association), entre 2009 e 2015 o número de plantas cresceu de 6 mil para aproximadamente 17 mil. Apesar do expressivo crescimento, o biogás corresponde por apenas 1,9% do total de geração elétrica da União Europeia, e apenas uma pequena quantidade das plantas foram aperfeiçoadas para produção de biometano, representando 0,3% do consumo de gás europeu.

Uma das principais estratégias para incentivo de projetos de geração de biogás utilizada na Europa foi a implantação da tarifa feed-in (FiT) por kWh, uma taxa prêmio paga pela energia elétrica injetada na rede a partir de fontes renováveis. Atualmente, esse mecanismo tarifário é adotado em mais de 40 países e é considerado uma das formas mais eficazes de incentivar a geração de energia limpa. A Tabela 03 expõe algumas políticas e estratégias utilizadas em diversos países para inserção do biogás em suas matrizes energéticas.

Tabela 1: Políticas e estratégias definidas em diversos países para inserção do biogás em matrizes energéticas.  
Fonte: Observatórios Sistema FIEP

Alemanha	Emprega a tarifa feed-in como bonificação e é dependente do tipo de substrato e em sistemas de purificação a biometano. Até 2020, as fontes renováveis no país devem atingir 35% de representatividade no setor elétrico e 18% em relação à demanda de energia total.
Áustria	Utiliza tarifa feed-in sujeita a um mínimo de 30% de esterco como substrato para produção de biogás. O objetivo governamental é incluir 20% de biometano no gás natural até 2020.
Dinamarca	Faz uso da tarifa feed-in. Objetiva tornar-se independente de fontes fósseis até 2050.
Finlândia	Aplica tarifa feed-in para instalações acima de 100kVA e não tributa o consumo de biogás. Possui programa de apoio financeiro governamental para construção de plantas de produção.
França	Adepta da tarifa feed-in. Promove ainda o pagamento de bonificação para plantas de purificação a biometano. Até 2030, objetiva produzir 70 TWh a partir de biogás, com destinação de 50% para a rede de gás natural, 30% para a eletricidade e 20% como calor. Pretende instalar 600 plantas produtivas a cada ano
Holanda	Destina benefícios financeiros para eletricidade, calor e gás gerados por meio de fontes renováveis. Deseja aumentar em 14% a quantidade de energia limpa disponível. Até 2020, espera elevar para 6,7 TWh o volume de biometano injetado na

	rede de gás natural. Hoje, esse número está em 1 TWh.
Noruega	Efetua política de incentivo para diminuir a emissão de dióxido de carbono na agricultura e possui sistema de bonificação por tonelada de esterco destinado a biodigestores. Estimula o uso do biogás por isenção de impostos sobre o uso da estrada e pelo investimento em infraestruturas de mobilidade sustentável. Contudo, o preço de transporte do biocombustível ainda é alto e tem limitado a popularização da tecnologia.
Reino Unido	Contempla a tarifa feed-in, bem como incentiva a utilização de biometano. Emite certificados para uso de digestão anaeróbica e mantém fundo financeiro para apoiar a realização do procedimento em pequena escala, além de estudos e projetos relacionados. Até 2020, a Inglaterra deve gerar 3-5 TWh de calor e eletricidade por meio desse tipo de processo. O País de Gales e a Irlanda do Norte, por sua vez, registram subsídios governamentais atrativos para tecnologias de digestão anaeróbica. Já a Escócia proibiu o envio de lixo orgânico para aterros, o que deve estimular a produção de biogás.
Suécia	Estimula o uso de biometano em carros. Pratica isenção de impostos sobre o biogás. Os produtores recebem um certificado para cada MWh de eletricidade produzida a partir de recursos renováveis. Dependendo do consumo de energia, o usuário (pessoa jurídica) é obrigado a adquirir certificados de empresas produtoras. Também possui sistema de pagamento de benefício por kWh produzido a partir de esterco.

Os Estados Unidos é outro exemplo de sucesso na utilização de biogás. Atualmente, o país possui aproximadamente 2.100 plantas de biogás, sendo que, de acordo com o Departamento de Energia (DOE), há um potencial para 13 mil plantas produzirem um total de 40 TWh.

Diferentemente da Europa, que utiliza principalmente resíduos agropecuários, a maioria das plantas de biogás nos Estados Unidos são instaladas em estações de tratamento de água e aterros sanitários. No entanto, da mesma forma que nos países europeus, os EUA também fornecem incentivos por meio de créditos tributários e políticas que buscam aumentar o desenvolvimento do biogás.

Embora a maior parte da produção mundial de biogás se encontre nos EUA e na Europa, ela tem crescido significativamente em outras regiões, como Ásia e África. A Índia e a China são países que também utilizam biogás, porém de forma distinta da Europa e Estados Unidos. Nestes países, as maiorias dos biodigestores são de pequena escala e utiliza-se o biogás para cozinhar alimentos nas residências. A China vem, nos

últimos anos, apresentando um crescimento na quantidade de projetos de engenharia voltados para biogás na agricultura. Em contraste, a Índia apresenta alguns entraves para desenvolvimento de projetos maiores, como por exemplo, inconsistência no fornecimento de matérias-primas e dificuldades financeiras para implantação de biodigestores.

## **1.2 BIOGÁS NO BRASIL**

O Brasil já teve alguns períodos onde houve iniciativas para produção e utilização do biogás. Entretanto, ao contrário de outras tecnologias, o biogás não prosperou. Dentre as razões para este insucesso está o atrelamento do biogás aos preços do petróleo, o mau manejo das biomassas e até mesmo a utilização de componentes de ferro nos biodigestores que acabaram corroídos pelo gás.

No entanto, atualmente, podem ser observados novos movimentos para utilização do biogás como fonte energética. Algumas normativas e políticas estão sendo aplicadas nos últimos anos e vem posicionando o biogás como um combustível efetivamente importante na matriz energética brasileira.

No Brasil, as principais fontes de produção de biogás são: resíduos sólidos urbanos (RSU); rejeitos da produção de açúcar e etanol de cana e dejetos da atividade pecuária. Em menor escala, também são utilizados: resíduos da produção de alimentos em geral descarte de restaurantes e efluentes sanitários.

O biogás ainda se apresenta de modo embrionário na oferta de energia do Brasil. Na matriz energética brasileira, em geral, a participação do biogás em produção efetiva passou de 0,01%, em 2010 (15 mil tep<sup>14</sup> de um total de 269 milhões tep), para 0,05%, em 2016 (137 mil tep de um total de 288 milhões tep). Observa-se um crescimento significativo em relação à capacidade instalada de biogás para geração de energia elétrica, conforme o Gráfico 02 houve um aumento de 20 MW em 2007 para 135 MW em 2017.

---

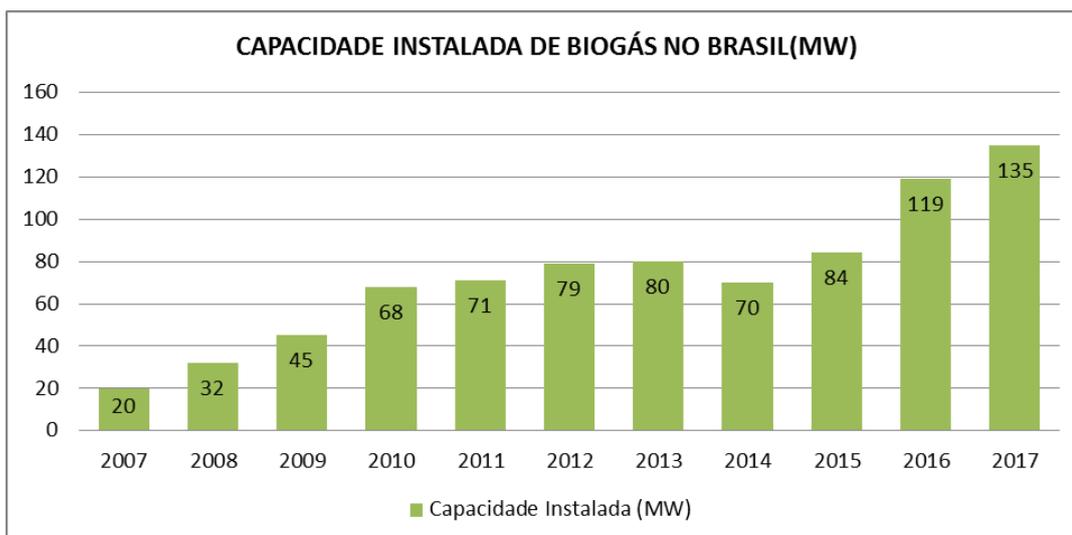


Figura 2: Gráfico 02: Capacidade Instalada de Biogás no Brasil (MW). Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética

Apesar dos números embrionários que representam o biogás na matriz energética brasileira, há boas perspectivas para os próximos anos. Pode-se perceber pela quantidade de projetos de biogás cadastrados nos últimos leilões de energia, 14 projetos, sendo que um deles foi habilitado e outro já está comercializando energia.

O Estado do Paraná deu um importante passo para a produção de biogás com a lei 19500/18 que facilita e incentiva sua produção, bem como seu transporte, deixando livre o transporte do biogás, sem precisar de autorização do monopólio estatal de canalização de Gás. Com isso, produtores de biogás tem mais facilidade para poder transportar seu produto, podendo concentrar em um local apenas, facilitando assim que com maiores quantidades, se torne viável a transformação da molécula em Energia elétrica.

O Estado tem alguns casos pioneiros do uso biogás oriundos do lodo de esgoto juntamente com resíduos sólidos urbanos, como é o caso da empresa CS Bioenergia, localizada em São José dos Pinhais, que a partir disso, transforma o biogás gerado na decomposição em energia elétrica, que é usada dentro da própria planta novamente.

Nota-se no Estado um empenho também de cooperativas em poder usar seus resíduos, independente da fonte, em energia elétrica, como é feito em vários países da Europa, visto que há a possibilidade de se gerar a energia perto da unidade consumidora, o que evita perdas e custos com transmissão.

### 1.3 POTENCIAL DE BIOGÁS NO BRASIL

Segundo a Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás), estima-se que o atual potencial brasileiro de produção de biogás é da ordem de 82 bilhões de metros cúbicos por ano, considerando resíduos dos setores Sucroenergético, Agropecuário e Saneamento, sendo 41 bilhões do setor sucroenergético, 37 bilhões do setor agropecuário e 3 bilhões do setor de saneamento ambiental. Se considerado em biometano, o Brasil desperdiça mais de 45 bilhões de metros cúbicos de biometano por ano.

Este biogás pode aplicado em geração de energia elétrica, térmica e abastecimento de frotas veiculares por meio de sua purificação para biometano. Considerando que todo este volume fosse aplicado na geração de energia elétrica, segundo dados da EPE, o Brasil seria capaz de suprir 36% da sua atual demanda. Logo, se todo o biogás fosse utilizado na produção de biometano, segundo dados da ANP, seria possível suprir 70% da demanda interna de diesel do país.

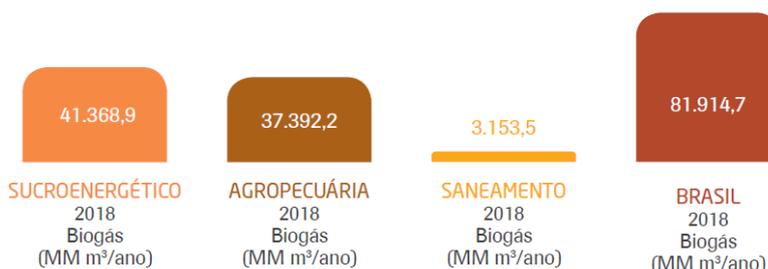


Figura 3: Potencial Brasileiro de Biogás. Fonte: ABiogás

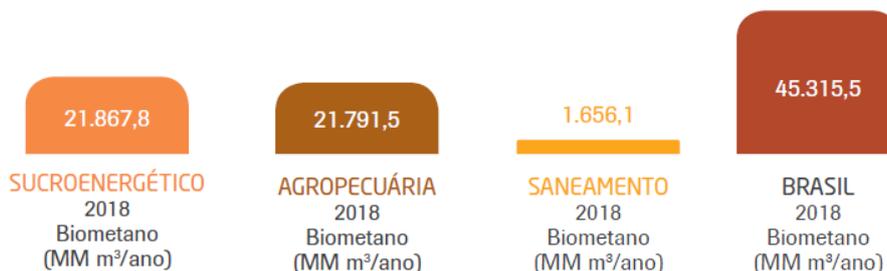


Figura 4: Potencial Brasileiro de Biometano. Fonte: ABiogás

---

### **1.3.1 SUCROENERGÉTICO**

Para a geração de biogás do setor sucroenergético considera-se a cana-de-açúcar e seus resíduos orgânicos como bagaço, palha, torta de filtro e vinhaça, recursos que são abundantes em nosso país visto que a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção de álcool e açúcar, e o Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial, seguido de longe pela Índia. Segundo Conab, na safra 2016-2017, foram produzidos no Brasil 657 milhões de toneladas de cana, o que gerou 28 bilhões de litros de etanol e 39 milhões de toneladas de açúcar.

No entanto, leva-se em conta que os resíduos deste setor não são utilizados em sua totalidade para geração de biogás, uma vez que podem, em parte, ser reaproveitados no plantio da cana em novas safras. Sendo assim, para o cálculo do potencial de geração foi considerado o aproveitamento de 50% da palha, 50% do bagaço, 85% da vinhaça e 100% da torta de filtro.

Neste cenário, estima-se que o Brasil possui um potencial de produção de biogás neste setor de aproximadamente 41 bilhões de metros cúbicos por ano, ou seja, o país desperdiça em torno de 88 TWh de energia elétrica anualmente, que seria equivalente a 15% da geração total de energia elétrica do país, de acordo com dados da EPE.

### **1.3.2 SANEAMENTO**

O setor de saneamento compreende os resíduos de esgoto sanitário e os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). O Brasil possui cerca de 208 milhões de habitantes, os quais geram, anualmente, aproximadamente 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Estes resíduos podem se tornar uma fonte abundante de biogás uma vez que separados os resíduos orgânicos dos inorgânicos, sendo este o maior desafio deste setor.

Com relação à utilização de esgoto sanitário para geração de biogás, ainda está sendo muito pouco explorado no Brasil, em comparação a outros países. O primeiro projeto no país de produção em escala de biogás a partir de esgoto sanitário teve início em 2017 na cidade de Curitiba.

Estima-se que o potencial de produção de biogás no setor de saneamento é de aproximadamente 3 bilhões de metros cúbicos por ano, ou seja, o país desperdiça em

---

---

torno de 6,3 TWh de energia elétrica anualmente, equivalente a 1,32% da geração total de energia elétrica do país, conforme dados da EPE.

### **1.3.3 AGROPECUÁRIO**

Apesar de o Brasil ter se tornado o um dos maiores produtores mundiais de gado bovino, suíno e de frango, sua contribuição para geração de biogás através dos resíduos e dejetos gerados nestas atividades ainda é relativamente pequena, principalmente se tratando de gado bovino e frango.

Estima-se que o plantel brasileiro de gado bovino é de aproximadamente 219 milhões de cabeças (USDA, 2017), o que gera em torno de cerca de 1.512.560 milhões de t/ano de resíduos. No entanto, a criação do gado bovino no Brasil é, em sua grande maioria, de forma extensiva, o que dificulta a coleta dos resíduos.

Na avicultura, estima-se que o Brasil possui um plantel estimado em 1,3 bilhão de animais (IBGE, 2016), sendo a segunda maior produção de frangos do mundo. No entanto, o principal resíduo gerado nesta atividade, cama de frango, não possui umidade suficiente para o aproveitamento na geração de biogás, além disso, este material tem um alto valor agregado em outros mercados, como por exemplo, para fabricação de fertilizante e aplicação em lavoura.

Encontra-se na suinocultura praticamente toda a produção de biogás de origem pecuária no Brasil. Trata-se de uma atividade com uso intensivo de água, o que facilita a coleta dos resíduos e conseqüentemente a produção de biogás. Estima-se que o Brasil possui um plantel de cerca de 39 milhões de cabeças (USDA, 2017) e produção de dejetos estimada em 900 milhões t/ano, que produziu, em 2015, 196 mil Nm<sup>3</sup>/dia de biogás.

Enquadram-se nesta categoria também os resíduos oriundos da indústria de laticínios, abatedouros, milho, mandioca e soja. Considerando todo o setor agropecuário, o potencial de produção de biogás é de 37 bilhões de metros cúbicos por ano, ou seja, o país desperdiça em torno de 80 TWh de energia elétrica anualmente, equivalente a 14% da geração total de energia elétrica do país, conforme dados da EPE.

---

## **1.4 OBJETIVO**

Considerando este cenário apresentado sobre o biogás, o objetivo deste trabalho será analisar a viabilidade da instalação de uma usina de geração de energia elétrica a partir de biogás gerado em propriedades rurais, com atividade de suinocultura e bovinocultura de leite, localizadas na região de Carambeí, Paraná.

Com a finalidade de analisar o ambiente desta proposta, bem como diagnosticar seus pontos fortes e fracos, e as oportunidades e ameaças deste negócio, realizou-se uma análise SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats).

### **1.4.1 PONTOS FORTES**

- a) Geração de energia a partir de resíduos: a utilização de resíduos agropecuários (dejetos) para geração de energia elétrica consiste em agregar valor em um produto atualmente subutilizado;
- b) Melhores condições ambientais nas atividades pecuárias: a instalação de biodigestores nas propriedades rurais reduzirá os impactos ambientais causados pelas atividades pecuárias, visto que esta tecnologia reduz a emissão de gases de efeito estufa, além de reduzir as possibilidades de contaminação do solo e água da região;
- c) Diversificação da atividade da região: a geração e comercialização de energia elétrica serão mais uma atividade a ser explorada na região, sendo esta uma maneira de fomentar a economia local;
- d) Presença de Cooperativa local: todos os produtores rurais envolvidos neste projeto são associados a uma Cooperativa com forte influência na região, sendo que ela seria a responsável pela viabilidade e execução do projeto;
- e) Ganho de escala: a instalação de diversos biodigestores na região poderá reduzir os custos de instalação do projeto, visto que haverá ganho de escala nas negociações junto aos fornecedores.

### **1.4.2 PONTOS FRACOS**

- a) Distância entre propriedades rurais: a distância entre as propriedades rurais poderá elevar os custos do projeto, visto que haverá a necessidade de centralizar todo o biogás em uma única usina de geração de energia;
-

- b) Custos em transporte de biogás: o transporte de biogás entre propriedades rurais foi recentemente autorizado, portanto, seus custos de instalação ainda são relativamente altos, o que poderá afetar na viabilidade do projeto.
- c) Alto investimento: a concretização deste projeto dependerá de grande aporte financeiro, e com a possibilidade de extenso tempo de retorno dos investimentos, o que pode reduzir a atratividade da implantação do negócio.

### **1.4.3 OPORTUNIDADES**

- a) Redução de passivo ambiental: as legislações ambientais relacionadas à suinocultura e bovinocultura estão cada vez mais restritas, com a instalação de biodigestores nas propriedades rurais haverá a redução do passivo ambiental destas atividades, reduzindo a possibilidade de notificações dos órgãos ambientais;
- b) Aumento da disponibilidade de matéria prima: os produtores rurais da região estão constantemente buscando o crescimento do seu plantel e aumento de produção como forma de rentabilizar ainda mais seu negócio, o que causará o aumento da disponibilidade de dejetos para geração de energia elétrica;
- c) Outras aplicações ao biogás: a geração de energia elétrica não é a única forma de aplicação do biogás, ele também pode ser utilizado no abastecimento de veículos, portanto, a purificação do biogás para utilização em máquinas e veículos agrícolas seria uma outra possibilidade de viabilizar o projeto;
- d) Replicar o modelo de negócio: a região é composta por diversas propriedades rurais com a atividade de suinocultura e bovinocultura, sendo assim, haveria a possibilidade de replicar este modelo de negócio para outras áreas.

### **1.4.4 AMEAÇAS**

- a) Outras fontes renováveis no mercado: a disponibilidade de outras fontes renováveis na região poderia caracterizar uma ameaça ao projeto, por se tratar de fontes já consolidadas e, possivelmente, economicamente mais interessantes;
  - b) Redução das atividades pecuárias: eventuais crises econômicas podem afetar o país, e conseqüentemente sua economia, gerando uma instabilidade financeira em todos os setores, incluindo o agronegócio, e por conseqüência, ocasionariam também em reduções nas atividades agropecuárias. Portanto, deve-se considerar
-

a possibilidade de redução da atividade pecuária na região e, conseqüentemente, a indisponibilidade de matéria prima (dejeito) para continuidade do projeto.

- c) Inviabilidade financeira: caso o projeto apresente inviabilidade financeira, ou elevados tempos de retorno do investimento, há a possibilidade de que o projeto não seja levado adiante.
- d) Riscos regulatórios: o mercado de energia elétrica é um mercado regulado e constantemente passa por mudanças, sendo assim, devem-se considerar os riscos regulatórios que podem afetar a viabilidade e execução do projeto.

### 1.4.5 MATRIZ SWOT

Com base nos pontos fortes e fracos, e oportunidade e ameaças listadas acima, elaborou-se uma matriz SWOT para este projeto:

<b>FATORES INTERNOS</b>	<b>FORÇAS</b>	<b>FRAQUEZAS</b>
	Geração de energia a partir de resíduos; Melhor condições ambientais nas atividades pecuárias; Diversificação da atividade da região; Presença de Cooperativa local; Ganho de escala;	Distância entre propriedades rurais; Custos em transporte de biogás; Alto investimento;
<b>FATORES EXTERNOS</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMEAÇAS</b>
	Redução de passivo ambiental; Aumento da disponibilidade de matéria prima; Outras aplicações ao biogás; Replicar o projeto;	Outras fontes renováveis no mercado; Redução das atividades pecuárias; Inviabilidade financeira; Riscos regulatórios;

Figura 5: Matriz SWOT

Através da análise SWOT conclui-se que se trata de um projeto estratégico, principalmente pela utilização de uma matéria prima subutilizada, que são os dejetos suínos e bovinos, e pelos benefícios ambientais que serão originados pelo projeto. No entanto, no desenvolvimento do negócio, é necessário ter alguns cuidados nos aspectos financeiros e regulatórios do projeto.

---

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 AGRONEGÓCIO

O Agronegócio é considerado um vetor crucial no crescimento econômico do Brasil, visto que nos últimos anos ele tem se desenvolvido de forma a tornar o país no grande fornecedor de alimentos do mundo. Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), a agricultura e o agronegócio brasileiro representaram 23,5% do Produto Interno Bruto (PIB) do país em 2017. Ou seja, o agronegócio brasileiro está produzindo cada vez mais, através de produtores rurais conscientes de suas responsabilidades com o meio ambiente aliadas à produção de alimentos.

Um dos grandes destaques do agronegócio brasileiro é a suinocultura. Em 2017, o Brasil foi o quarto maior produtor mundial de carne suína, produziu pouco mais de 3,7 milhões de toneladas, representando cerca de 3,3% do total mundial (USDA/ABPA, 2018). O Brasil é destaque também na atividade de bovinocultura de leite, sendo responsável por cerca de 7% do leite produzido no mundo e é o quinto maior produtor mundial (CONAB, 2018). Segundo a Embrapa, o Paraná está entre os principais estados brasileiros na produção de leite e carne suína.

No entanto, apesar dos benefícios econômicos e sociais que as atividades de bovinocultura e suinocultura proporcionam, vale ressaltar que estão atreladas a elas a geração de grande quantidade de resíduos altamente poluentes. Desta forma, há a necessidade de questionar as questões ambientais relacionadas à estas atividades (Resende et al., 2015).

De acordo com a metodologia aplicada na Rede Biogásfert, em trabalho realizado pelo Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás) e a Fundação Parque Tecnológico de Itaipu (FPTI), a produção de dejetos suínos e bovinos podem ser estimados conforme tabelas abaixo.

---

Tabela 2: Valores de produção de efluentes adotados na Rede BiogásFert.  
Fonte: Mito, 2018

SUINOCULTURA	PRODUÇÃO DE EFLUENTE (L/animal/dia)
Leitão creche	1,4
Crescimento e terminação	7
Matriz (macho)	9
Matriz (fêmea)	16
Maternidade	27

BOVINOCULTURA	PRODUÇÃO DE EFLUENTE (L/animal/dia)
Bovino de corte	43,9
Bovino de leite	93,7

Neste sentido, a aplicação da biodigestão anaeróbia se apresenta como uma forma bastante eficiente no tratamento dos resíduos gerados pelas atividades de suinocultura e bovinocultura. Este processo transforma os resíduos orgânicos em biogás, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa e possibilitando a geração de energia através do biogás (Powers et al., 2014)

## 2.2 BIODIGESTORES

A digestão anaeróbica é um dos principais processos utilizados para tratamento de resíduos e efluentes orgânicos, sendo que sua principal forma é através de biodigestores, que são câmaras fechadas onde ocorrem a digestão anaeróbica, ou seja, transformação da matéria orgânica em biogás. Existem diversos modelos de biodigestores sendo que os principais são modelo chinês, indiano, canadense, lagoa coberta, mistura completa, entre outros modelos. Eles podem variar também quanto ao modelo (vertical ou horizontal), ao material utilizado (concreto, alvenaria, lona ou plástico) e com relação ao seu formato (retangular ou circular) (BIASI, 2018).

Ainda de acordo com Biasi (2018), o fator tecnológico utilizado nos biodigestores apresenta variações nos potenciais de produção de biogás, quanto maior a eficiência do biodigestor, maior será a produção de biogás. Segundo Kunz (2005), o biodigestor do modelo canadense é o mais utilizado para resíduos da atividade pecuária, visto que ele possui algumas vantagens como baixo custo, facilidade e rapidez de implantação.

Outro aspecto que influencia a produção do biogás na digestão anaeróbica é a presença de sólidos voláteis na biomassa utilizada. Os sólidos voláteis referem-se à fração orgânica que será volatilizada dentro do biodigestor e transformada em biogás, sendo assim, este é um dos parâmetros mais relevantes para estimar a produção de biogás. Portanto, quanto maior for a concentração de sólidos voláteis na biomassa, maior será a produção de biogás. A Rede BiogásFert adota os seguintes valores para concentração de sólidos voláteis em efluentes suínos e bovinos:

Tabela 3: Parâmetros adotados na Rede BiogásFert para concentração de sólidos voláteis em efluente suíno e bovino. Fonte: Mito, 2018

ATIVIDADE	SÓLIDOS VOLÁTEIS (g/L)
Bovino de corte	80,19
Bovino de leite	68,59
Suinocultura	35,38

O tempo de retenção hidráulica (TRH) é mais uma importante variável que influencia diretamente no bom funcionamento e eficiência dos biodigestores. Ela representa o tempo que o efluente permanece dentro do biodigestor, sendo ela em função do volume do biodigestor (V) e da vazão de alimentação do biodigestor (Q):

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

No entanto, o TRH é bastante utilizado em função de sua praticidade, visto que não há necessidade de análises laboratoriais para dimensionamento do volume de biodigestores. Sendo assim, a EMBRAPA recomenda a aplicação de TRH de 20 a 40 dias para biodigestores de baixa carga e de 10 a 20 dias para biodigestores de alta carga (PALHARES, 2014).

Outro fator de grande relevância no dimensionamento dos biodigestores é a carga orgânica volumétrica (COV), que representa a quantidade de matéria orgânica, considerando como principal parâmetro os sólidos voláteis, que poderá ser aplicado no biodigestor. Ela pode ser representada de duas formas, sendo em função da concentração de sólidos voláteis (SV) e tempo de retenção hidráulica (TRH) ou em função da vazão do efluente (Q) e do volume do reator (V):

$$COV = \frac{SV}{TRH} = \frac{SV \times Q}{V}$$

Um valor de COV muito baixo pode representar uma baixa relação entre alimentos e microrganismo da biodigestão, o que resulta em baixa atividade biológica. Enquanto elevadas COVs podem apresentar elevada relação alimento e microrganismo, podendo levar ao acúmulo de ácidos orgânicos voláteis e falência do processo. A COV ideal é relacionada ao modelo de biodigestor, tecnologia aplicada e ao tipo de substrato (KUNZ, 2019).

A COV pode variar de 0,5 a 1,5 kg de SV/m<sup>3</sup>/dia para biodigestores de baixa carga e de 1,5 a 3,5 kg de SV/m<sup>3</sup>/dia para biodigestores de alta carga (PALHARES, 2014).

## 2.3 BIOGÁS

A decomposição anaeróbica de matéria orgânica nos biodigestores dá origem ao biogás, ele pode ser utilizado de diversas maneiras, como por exemplo, na geração de energia térmica (geração de vapor, cocção de alimentos, secagem de grãos), substituindo a lenha, diesel ou outro combustível, na geração de energia elétrica através da queima em moto gerador ou turbinas, e pode ser utilizado também na forma de biometano, substituído o gás natural em veículos automotores (BIASI, 2018).

A concentração de metano no biogás é o que determina seu poder calorífico, ou seja, seu potencial energético. Segundo Schnürer & Jarvis, (2009), a composição do biogás varia de acordo com o tipo e composição do substrato utilizado no biodigestor. Quanto maior a concentração de metano no biogás, melhor será sua qualidade nas suas diversas aplicações.

Sendo assim, uma importante variável nas aplicações de biogás é a capacidade de produção de metano ( $B_0$ ). Ela compreende a máxima produção de metano possível a partir de uma biomassa específica, e ela é obtida através de análises laboratoriais, com base na quantidade de sólidos voláteis presente na biomassa. A Rede BiogásFert adota os seguintes valores para resíduos de suinocultura e bovinocultura:

---

Tabela 4: Capacidade de produção de metano de substratos de suinocultura e bovinocultura.  
Fonte: Mito, 2018

BIOMASSA	$B_0$ ( $M^3 CH_4 / KG SV$ )
Bovino de corte	0,23
Bovino de leite	0,21
Suíno	0,32

No entanto, o biogás não é composto somente por metano ( $CH_4$ ), nele há ainda a presença de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), e há também, em menores quantidades, hidrogênio ( $H_2$ ), amônia ( $NH_3$ ), sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), entre outros gases (BIASI, 2018). A tabela abaixo mostra a composição do biogás para diferentes tipos de biomassas.

Tabela 5: Composição do biogás para diferentes tipos de biomassa.  
Fonte: Lins, 2015

BIOMASSA	METANO $CH_4$ - %	DIÓXIDO DE CARBONO $CO_2$ - %	SULFETO DE HIDROGÊNIO $H_2S$ - ppm
Amidonaria (mandioca)	54,30	44,90	97,00
Bovinocultura leiteira	59,60	39,10	329,30
Misto (aves de postura + bovino de corte)	69,20	29,80	64,10
Abatedouro de aves	68,20	29,60	1.897,10
Suinocultura - terminação	62,00	37,00	2.782,30
Suinocultura - produção de leitões	68,40	30,60	1.309,10

## 2.4 TRATAMENTO DE BIOGÁS

O biogás é composto por outros gases além do metano, e alguns deles podem ser prejudiciais nas suas aplicações. Sendo assim, é necessária a utilização de tecnologias de tratamento do biogás para a geração de um combustível de qualidade que possa ser eficientemente convertido em energia térmica, elétrica ou mecânica (KUNZ, 2019).

Os principais elementos a serem removidos são dependentes de sua aplicação, sendo os principais: sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e umidade, e quando a aplicação for à forma de combustível veicular (biometano), é necessária a remoção de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) (CIBIOGÁS, 2019).

O sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) é o componente mais danoso presente no biogás, ele confere mau odor, além de ser corrosivo e tóxico. Ele é responsável pela corrosão nos

---

tanques de armazenamento, tubulações metálicas e motores de combustão, e na deterioração da infraestrutura de produção do biogás. Além disso, o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) também é prejudicial à saúde humana, ocasionando dores de cabeça, tonturas e náusea, quando em pequenas concentrações; e em grandes concentrações pode resultar em parada respiratória e morte (KUNZ, 2019).

O processo de remoção de sulfeto de hidrogênio é essencial no tratamento de biogás. Este processo pode ocorrer na forma biológica, química e física, podendo ela ser classificada como dessulfurização fina ou grosseira. O processo ou a combinação de processos são selecionados pela aplicação subsequente do biogás. Alguns dos principais processos de remoção de sulfeto de hidrogênio do biogás são: dessulfurização biológica, adsorção em carvão ativado e absorção com reação química (CIBIOGÁS, 2019).

É de grande importância também a remoção da umidade do biogás, sua remoção deve ocorrer na primeira etapa de filtragem do biogás para prevenir a corrosão de compressores e tubulações. Os processos de remoção de umidade do biogás, normalmente, realizam de forma simultânea a remoção de impurezas, como o material particulado. Dentre os métodos mais utilizados estão a separação física da água por condensação ou a secagem do biogás (KUNZ, 2019).

Além do nível de purificação necessário do biogás para sua aplicação, a escolha da melhor tecnologia de tratamento de biogás deve levar em consideração outros fatores como: os custos de implantação e manutenção, o grau de complexidade do sistema e a disponibilidade de peças e assistência técnica (KUNZ, 2019).

## **2.5 TRANSPORTE DE BIOGÁS**

O transporte do biogás representa um aspecto muito importante na cadeia produtiva rural, visto que ele permite sua utilização em locais afastados do ponto de geração do biogás, viabilizando seu uso de forma centralizada. Sem o transporte, cada propriedade rural necessitaria de um sistema de tratamento e aproveitamento do biogás individualizado, acarretando o aumento de custos (CIBIOGÁS, 2019).

Atualmente, a única maneira conhecida de transportar o biogás em sua forma bruta, ou seja, sem tratamento, é através de tubulações, técnica semelhante à utilizada em gasodutos de gás natural. O material mais indicado para utilização em gasodutos de biogás é o polietileno de alta densidade (PEAD), pois ele é inerte aos compostos do

---

---

biogás, o que não ocorre com materiais metálicos devido ação de corrosão (CIBIOGÁS, 2019).

O material PEAD possui alta rigidez e resistência a fluência, abrasão, impacto e fissuramento. Além disso, ele possui flexibilidade, permitindo a realização de curvas ao longo do gasoduto, e são fabricados para possuir uma vida útil superior a 50 anos (MARCONDES, 2016).

Mais uma vantagem deste material é que suas interligações podem ser feitas através de métodos de termofusão e eletrofusão, reduzindo o tempo e complexidade em sua instalação (CIBIOGÁS, 2019).

Alguns aspectos devem ser considerados na definição do arranjo do transporte de biogás, por exemplo, locais permitidos, condições do terreno, consulta à concessionária de distribuição de gás, interferência com redes existentes, entre outros aspectos. Vale ressaltar ainda que além das tubulações de PEAD, o sistema de transporte consiste ainda em equipamentos de compressão, válvulas de retenção e gasômetros, sendo assim, é importante ter um plano de monitoramento e manutenção deste sistema (CIBIOGÁS, 2019).

## 2.6 GERAÇÃO DE ENERGIA

Existem diversas maneiras de realizar a conversão energética do biogás. No caso da transformação em energia elétrica, a energia química presente nas moléculas do biogás é convertida em energia mecânica através de um processo de combustão controlada, e esta energia mecânica será transformada em energia elétrica por meio de um gerador (COSTA, 2006).

Existem diversos tipos de geradores e diferentes ciclos térmicos, no caso dos geradores a biogás, ele funciona com um ciclo de combustão interna do tipo Otto. O ciclo Otto aciona o motor de combustão através da ignição por centelha, onde o biogás é queimado para gerar energia mecânica e, conseqüentemente, energia elétrica (CHP Brasil, 2018).

De acordo com alguns autores, o poder calorífico inferior (PCI) do biogás está entre 4,95 kWh/m<sup>3</sup>, variando de acordo com a porcentagem de metano presente, entre 50 e 80% respectivamente. Vale destacar a equivalência energética do biogás em comparação com outras fontes de energia, conforme tabela abaixo.

---

Tabela 6: Equivalência energética do biogás com outras fontes.  
Fonte: Coldebella, 2006.

FONTE	FERRAZ e MACIEL (1980)	SGANZERLA (1983)
Gasolina (L)	0,61	0,613
Querosene (L)	0,58	0,579
Diesel (L)	0,55	0,553
GLP (kg)	0,45	0,454
Álcool (L)	-	0,79
Carvão Mineral (kg)	-	0,735
Lenha (kg)	-	1,538
Eletricidade (kWh)	1,43	1,428

Desta forma, pode-se considerar, de acordo com Ferraz e Maciel (1980) e Sganzerla (1983), que o fator de conversão de biogás em energia elétrica é 1,43 kWh por metro cúbico de biogás.

## 2.7 MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com o Decreto 5.163 de 30 de julho de 2004, a comercialização de energia elétrica entre os agentes do setor elétrico brasileiro pode ocorrer em dois ambientes: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

A comercialização de energia no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) é feito por meio de leilões de energia realizados pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica). Nos leilões do ACR, a compra de energia elétrica é feita de forma conjunta pelas distribuidoras, em leilões de menor tarifa. As relações comerciais firmadas nos leilões são formalizadas através de contratos registrados no âmbito ACR.

No Ambiente de Contratação Livre (ACL), os consumidores podem escolher livremente seus fornecedores de energia elétrica. Ou seja, neste ambiente, consumidores e fornecedores de energia negociam entre si as condições de comercialização de energia. No entanto, para participação no Ambiente de Contratação Livre, o agente deve se enquadrar em consumidor livre ou consumidor especial:

Consumidores livres – devem possuir, no mínimo, 2.500 kW de demanda contratada para poder contratar energia proveniente de qualquer fonte de geração.

Consumidores especiais – devem possuir demanda contratada igual ou maior que 500 kW e menor que 2.500 kW. Esses consumidores podem contratar energia proveniente apenas de usinas eólicas, solares, a biomassa, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) ou hidráulica de empreendimentos com potência inferior ou igual a 50.000 kW, as chamadas fontes especiais.

Todos os contratos de compra e venda de energia elétrica, tanto do ACR quanto do ACL devem ser registrados na CCEE, e ela será responsável por contabilizar as diferenças entre o consumido, produzidas e contratadas. As diferenças, seja ela positiva ou negativa, serão liquidadas no Mercado de Curto Prazo valorado ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD).

Além da venda de energia, um agente gerador de energia elétrica pode participar também do mecanismo de Geração Distribuída. Neste caso, é permitido a participação de qualquer fonte renovável, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Se a energia produzida for maior que seu consumo, cria-se um crédito de energia que poderá ser utilizado nos próximos 60 meses em unidades consumidoras da mesma titularidade da unidade geradora (ANEEL).

## **2.8 ANÁLISE FINANCEIRA**

De acordo com Souza e Clemente (1997), tomadas de decisões relacionadas à investimentos são complexas e demandam o desenvolvimento de diversos estudos e análises que irão auxiliar na decisão.

As atividades de qualquer empreendimento visam sempre a obtenção de lucros, ou seja, aumento de riqueza, o qual é alcançado através da apuração de receitas e despesas geradas no empreendimento. Sendo assim, é de fundamental importância que os empreendimentos tenham uma administração financeira que tenha conhecimento da melhor alocação dos seus custos e que vise maximizar seus resultados, utilizando ferramentas financeiras que consideram não somente custos, mas também aspectos relacionados à riscos, mercado e outras relações com o macroambiente (SCHERER, 2017).

---

Existem vários métodos de avaliação econômico-financeira de projetos de investimento, dentre eles estão o Valor Presente Líquido (VLP), Taxa Interna de Retorno (TIR), tempo de retorno do investimento (*Payback*) e Índice de Lucratividade (IL).

### **2.8.1 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE**

Antes de apresentar os métodos acima citados, é necessário abordar-se a taxa mínima de atratividade (TMA), trata-se de um ponto fundamental nas análises de investimentos, pois ela será utilizada como parâmetro para avaliação econômica (NOGUEIRA, 1997).

A taxa mínima de atratividade é um custo de oportunidade de capital, ou seja, ela varia de investidor para investidor. Normalmente, ela é representada sob a forma de taxa de juros aplicada no mercado, ou seja, um investimento se torna atrativo quando sua TMA é equivalente a esta taxa de juros (PAMPLONA, 2006).

No entanto, na determinação da taxa mínima de atratividade não deve ser considerado apenas a taxa de juros equivalente à rentabilidade em aplicações. Segundo Nogueira (1997), alguns aspectos que influenciam na determinação da TMA são: disponibilidade e custos dos recursos financeiros, riscos do negócio e estratégias dos investidores.

Um dos métodos para se encontrar a Taxa Mínima de Atratividade é através do Custo Médio Ponderado do Capital (WACC).

### **2.8.2 CUSTO MÉDIO PONDERADO DO CAPITAL**

O Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) é definido como a taxa de retorno mínima a ser exigida nos investimentos realizados por uma empresa, ou seja, ele representa o retorno que seus ativos devem produzir a determinada estrutura de capital e nível risco. Em outras palavras, o WACC é a taxa mínima de retorno exigida nas decisões de investimento de uma empresa (ASSAF NETO, 2006).

O Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) é obtido através da ponderação entre os custos das diferentes fontes de capitais e recursos utilizados na estrutura de capital da empresa (GITMAN, 2014).

---

Em geral, as estruturas de capitais consistem em capitais próprios e de terceiros. Segundo Bordeuax-Rego (2002), o custo de capital de terceiros é inferior ao custo de capital próprio, visto que o primeiro está exposto à riscos menores, ou seja, a remuneração exigida sobre o capital de terceiros é menor.

De acordo com Damodaran (2008), o Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) é definido como a média dos diversos componentes financeiros utilizados por uma empresa ou projeto, sendo representada pela seguinte fórmula:

$$WACC = k_e \times \frac{E}{E + D} + k_d \times (1 - T) \times \frac{D}{E + D}$$

Onde:

$k_e$  = Custo de Capital Próprio

$k_d$  = Custo de Capital de Terceiros

$D$  = Capital de Terceiros (*Debt*)

$E$  = Capital Próprio (*Equity*)

$T$  = Alíquota de Imposto

Uma das principais variáveis do modelo do Custo Médio Ponderado do Capital (WACC) é o Custo de Capital Próprio, que é a taxa de retorno requerida pelos investidores, ele pode ser encontrado através do modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*).

### 2.8.3 CAPITAL ASSET PRICING MODEL – CAPM

O modelo *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) foi desenvolvido por Sharpe (1964) e Lintner (1965). Neste modelo é considerado que o retorno esperado do capital próprio está diretamente relacionado com o risco do ativo, em outras palavras, os investidores somente irão aplicar valores em ativos em que o retorno compense o seu risco.

O modelo CAPM é definido a partir de uma taxa livre de risco adicionado de um prêmio pelo risco do mercado. Através dele é possível estimar a taxa de retorno que um investidor aceitaria para investir em determinado negócio (GANDRA, 2018).

De acordo com Assaf Neto (2008), o método CAPM considera a existência de uma taxa de juros livre de risco, um prêmio pelo risco de mercado e uma medida de risco da

empresa em relação ao mercado (coeficiente  $\beta$ ), ou seja, ele estabelece uma relação linear entre risco e retorno para todos os ativos e pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$k_e = R_f + \beta \times (k_m - R_f)$$

Onde:

$k_e$  = Retorno exigido para o capital próprio;

$R_f$  = Taxa livre de risco;

$\beta$  = Coeficiente de risco não diversificável ou sistemático;

$k_m$  = Retorno da carteira de mercado.

## 2.8.4 VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O Valor Presente Líquido (VPL) consiste em calcular o valor, no instante presente, de uma série de fluxo de caixa (receitas e despesas), descontadas a uma taxa mínima de atratividade (TMA) (NOGUEIRA, 1997).

O cálculo do Valor Presente Líquido é dado a partir da seguinte fórmula:

$$VPL = -CF_0 + \sum \frac{FC_n}{(1+i)^n}$$

Onde:

$FC_n$  = Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

$FC_0$  = Investimento inicial;

$n$  = períodos no horizonte de planejamento;

$i$  = taxa mínima de atratividade (TMA).

Se o resultado do Valor Presente Líquido (VPL) for positivo, significa que o investimento irá render um valor adicional ao investidor, logo, um VPL negativo significa que o investidor irá perder valor com o investimento. E se o VPL for igual a zero, significa que o rendimento do investimento é exatamente o mesmo da taxa mínima de atratividade (BRASIL, 2004).

## 2.8.5 TAXA INTERNA DE RETORNO

A Taxa Interna de Retorno (TIR) está diretamente ligada ao conceito de Valor Presente Líquido, a TIR é a taxa de desconto que iguala o VPL a zero. Ou seja, ela é a taxa anual de resultados capitalizada obtida através do fluxo de caixa apresentado do investimento em análise (GITMAN, 2001).

O cálculo da Taxa Interna de Retorno é através da mesma fórmula utilizada para o Valor Presente Líquido, no entanto, neste caso, o objetivo é encontrar a variável  $i$ , quando o VPL é igual a zero.

$$CF_0 = \sum \frac{FC_n}{(1+i)^n}$$

Segundo Cassarotto Filho e Kopittke (1996), os investimentos com Taxa Interna de Retorno (TIR) superior à Taxa Mínima de Atratividade são considerados atrativos.

## 2.8.6 PAYBACK

O *Payback* constitui-se no tempo necessário para que o valor de um investimento inicial seja recuperado através do seu fluxo de caixa (ASSAF NETO E LIMA, 2009). De acordo com Souza e Clemente (2008), não se pode esperar por muito tempo para recuperar um capital investido, sob pena de perder novas oportunidades de investimento, visto que o mercado passa por mudanças contínuas e acentuadas. Desta forma, quanto menor for o período de *Payback*, maior é a atratividade do investimento.

Existem duas maneiras de se calcular o *Payback*, sendo elas o *Payback Simples* e o *Payback Descontado*.

### 2.8.6.1 PAYBACK SIMPLES

O *Payback Simples* consiste no tempo exato em que as entradas e saídas do fluxo de caixa se igualam, sem considerar a remuneração sobre o capital investido ao longo do tempo. De acordo com Carmona (2009), o *Payback Simples* pode ser calculado através da seguinte equação:

$$\text{Payback Simples} = \frac{\text{Valor do Investimento}}{\text{Fluxo de Caixa Gerado}}$$

---

### 2.8.6.2 PAYBACK DESCONTADO

O *Payback* Descontado diferencia-se do *Payback* Simples por considerar a remuneração do capital ao longo do tempo, ou seja, este método desconta os fluxos de caixa a uma taxa de juros requerida pelo investidor. De acordo com Assaf Neto e Lima (2009), o *Payback* Descontado traz os fluxos de caixa a valor presente, incorporando o conceito de dinheiro no tempo.

### 2.8.7 ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE

O Índice de Lucratividade é definido pela razão entre o benefício e o custo de um investimento, ou seja, ele é definido pelo quociente entre Valor Presente dos Fluxos de caixa futuros e o investimento inicial. Este índice expressa o resultado que o investidor terá para cada valor aplicado, ou seja, o valor criado por Real investido (BOURSCHEIDT, 2016).

O Índice de Lucratividade é calculado através da seguinte fórmula:

$$IL = \frac{\text{Valor Recebido em Valor Presente}}{\text{Custo do Investimento}} = \frac{PV(CF_j)}{CF_0}$$

Se o Índice de Lucratividade (IL) for maior que 1, significa que o investimento é atrativo. Logo, se o resultado for menor que 1, o projeto não trará retorno ao investidor. E se o Índice de Lucratividade for igual a 1 significa que o investimento não apresenta ganhos ou prejuízos (SOUZA E CLEMENTE, 2008).

---

## 3 ESTUDO DE CASO

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO

O projeto objeto deste estudo está localizado no município de Carambeí, Paraná, situada a aproximadamente a 140 quilômetros da capital do estado, Curitiba, e 20 quilômetros de Ponta Grossa. A economia da cidade está baseada principalmente no cooperativismo, especialmente relacionado ao setor agropecuário. A região é considerada uma das maiores bacias leiteiras do país, além de possuir também um crescente plantel de suínos.



Figura 6: Município de Carambeí. Fonte: Viaje Paraná

Apesar dos benefícios econômicos e sociais que as atividades agropecuárias exercem na região, elas possuem também um grande passivo ambiental devido ao grande volume de dejetos gerados diariamente na região. Sendo assim, este projeto visa, não somente viabilizar a construção de uma usina de geração de energia à biogás, mas também minimizar os impactos ambientais gerados pelas atividades de suinocultura e bovinocultura.

O projeto a ser desenvolvido neste trabalho irá utilizar informações referentes à uma cooperativa agroindustrial da região, que possui faturamento anual de aproximadamente 2,6 bilhões de reais, e é considerada uma das maiores e mais antigas

cooperativas do Paraná. Esta cooperativa será a responsável pelo investimento e execução do projeto.

### **3.1.1 ESCOPO**

Para o desenvolvimento deste projeto foram escolhidas 23 propriedades rurais situadas no município de Carambeí, localizadas próximas umas das outras, em um raio de aproximadamente 8 quilômetros. Vale ressaltar que todas as propriedades selecionadas pertencem a proprietários rurais que fazem parte da Cooperativa local.

O projeto consiste em produzir biogás nas propriedades rurais envolvidas, através de dejetos suínos e bovinos, transportá-lo até uma central onde será gerada energia a partir deste biogás.



Figura 7: Localização das propriedades rurais envolvidas no projeto

## **3.2 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS**

As propriedades rurais selecionadas realizam atividades de suinocultura e bovinocultura, sendo que seus respectivos plantéis estão detalhados nas tabelas abaixo.

As propriedades de bovinocultura são todas voltadas à produção de leite, sendo que a maioria delas utiliza o sistema confinado do tipo *free stall*. Já os suinocultores são em sua maioria do tipo terminação confinados.

Tabela 7: Plantel de suínos e bovinos das propriedades envolvidas no projeto.

SUINOCULTORES	
PRODUTOR	ANIMAIS
PRODUTOR 01	1860
PRODUTOR 02	3108
PRODUTOR 03	1730
PRODUTOR 04	2640
PRODUTOR 05	2640
PRODUTOR 06	1258
PRODUTOR 07	1991
PRODUTOR 08	2840
PRODUTOR 09	3975
PRODUTOR 10	1880
PRODUTOR 14	400
PRODUTOR 17	700

BOVINOCULTORES	
PRODUTOR	ANIMAIS EM LACTAÇÃO
PRODUTOR 11	220
PRODUTOR 12	313
PRODUTOR 13	156
PRODUTOR 14	167
PRODUTOR 15	328
PRODUTOR 16	220
PRODUTOR 17	155
PRODUTOR 18	145
PRODUTOR 19	153
PRODUTOR 20	89
PRODUTOR 21	103
PRODUTOR 22	424
PRODUTOR 23	92

Utilizou-se as informações da Rede BiogásFert, detalhada na Tabela 2, para estimar o volume de dejetos produzido em cada propriedade. Ressalta-se que nesta estimativa foi considerado o tipo de sistema de produção de cada propriedade.

Na tabela 8 estão apresentados os resultados dos volumes de dejetos gerados em cada propriedade.

Tabela 8: Volume de dejetos gerado em cada propriedade rural.

<b>SUINOCULTORES</b>	
<b>PRODUTOR</b>	<b>VAZÃO EFLUENTE (m<sup>3</sup>/dia)</b>
PRODUTOR 01	13,02
PRODUTOR 02	21,76
PRODUTOR 03	12,11
PRODUTOR 04	18,48
PRODUTOR 05	18,48
PRODUTOR 06	10,83
PRODUTOR 07	13,36
PRODUTOR 08	19,88
PRODUTOR 09	45,02
PRODUTOR 10	13,16
PRODUTOR 14	2,80
PRODUTOR 17	4,90

<b>BOVINOCULTORES</b>	
<b>PRODUTOR</b>	<b>VAZÃO EFLUENTE (m<sup>3</sup>/dia)</b>
PRODUTOR 11	20,61
PRODUTOR 12	29,33
PRODUTOR 13	14,62
PRODUTOR 14	15,65
PRODUTOR 15	30,73
PRODUTOR 16	20,61
PRODUTOR 17	14,52
PRODUTOR 18	13,59
PRODUTOR 19	14,34
PRODUTOR 20	8,34
PRODUTOR 21	9,65
PRODUTOR 22	39,73
PRODUTOR 23	8,62

Com o objetivo de chegar à produção diária de biogás de cada propriedade, utilizou-se as informações de concentração de sólidos voláteis em efluente suíno e bovino, capacidade de produção de metano de cada substrato e composição do biogás

para diferentes tipos de biomassa, detalhadas respectivamente nas tabelas 3, 4 e 5, chegando aos seguintes resultados:

Tabela 9: Produção de biogás em cada propriedade rural.

<b>SUINOCULTORES</b>	
<b>PRODUTOR</b>	<b>BIOGÁS (M<sup>3</sup>/DIA)</b>
PRODUTOR 01	237,75
PRODUTOR 02	397,28
PRODUTOR 03	221,14
PRODUTOR 04	337,46
PRODUTOR 05	337,46
PRODUTOR 06	197,69
PRODUTOR 07	244,05
PRODUTOR 08	363,02
PRODUTOR 09	822,17
PRODUTOR 10	240,31
PRODUTOR 14	51,13
PRODUTOR 17	89,48

<b>BOVINOCULTORES</b>	
<b>PRODUTOR</b>	<b>BIOGÁS (M<sup>3</sup>/DIA)</b>
PRODUTOR 11	498,19
PRODUTOR 12	708,79
PRODUTOR 13	353,26
PRODUTOR 14	378,17
PRODUTOR 15	742,76
PRODUTOR 16	498,19
PRODUTOR 17	351,00
PRODUTOR 18	328,35
PRODUTOR 19	346,47
PRODUTOR 20	201,54
PRODUTOR 21	233,24
PRODUTOR 22	960,15
PRODUTOR 23	208,33

Desta forma, o projeto terá uma produção total de 9.347,38 metros cúbicos de biogás por dia, sendo que este biogás será produzido através de dejetos de bovinos e suínos distribuídos em 23 propriedades rurais.

### 3.3 BIODIGESTORES

O volume dos biodigestores foi dimensionado de acordo com a concentração de sólidos voláteis detalhada na Tabela 3. Utilizou-se ainda uma carga orgânica volumétrica (COV) de 1,2 para dejetos suínos e 1,5 para dejetos bovinos, resultando em um tempo de retenção hidráulica de 33 e 50 dias respectivamente. Os plantéis, tanto de suínos e bovinos, podem variar ao longo das operações de suinocultura e bovinocultura, e por este motivo aplicou-se uma margem de segurança de 10% a mais no volume dos biodigestores, assim eles terão capacidade de suportar pequenos aumentos na quantidade de animais de cada propriedade. Os volumes dos biodigestores de cada propriedade estão detalhados abaixo:

Tabela 10: Volume dos biodigestores de cada propriedade.

SUINOCULTORES	VOLUME BIODIGESTOR (m <sup>3</sup> )
PRODUTOR 01	429,66
PRODUTOR 02	717,95
PRODUTOR 03	399,63
PRODUTOR 04	609,84
PRODUTOR 05	609,84
PRODUTOR 06	357,26
PRODUTOR 07	441,04
PRODUTOR 08	656,04
PRODUTOR 09	1485,79
PRODUTOR 10	434,28

BOVINOCULTORES	VOLUME BIODIGESTOR (m <sup>3</sup> )
PRODUTOR 11	1020,39
PRODUTOR 12	1451,74
PRODUTOR 13	723,55
PRODUTOR 14	866,97
PRODUTOR 15	1521,31
PRODUTOR 16	1020,39
PRODUTOR 17	880,61
PRODUTOR 18	672,53
PRODUTOR 19	709,64
PRODUTOR 20	412,80
PRODUTOR 21	477,73
PRODUTOR 22	1966,58
PRODUTOR 23	426,71

### 3.4 TRANSPORTE DO BIOGÁS

O transporte do biogás até a central de geração de energia será realizado através de um gasoduto, de material polietileno de alta densidade (PEAD), com distância de 34,13 quilômetros.

Este gasoduto será responsável pela coleta do biogás de todas as propriedades rurais envolvidas no projeto e transporte até a central de geração de energia. Para facilitar sua instalação, o gasoduto será instalado nas margens das estradas rurais da região, conforme imagem abaixo.

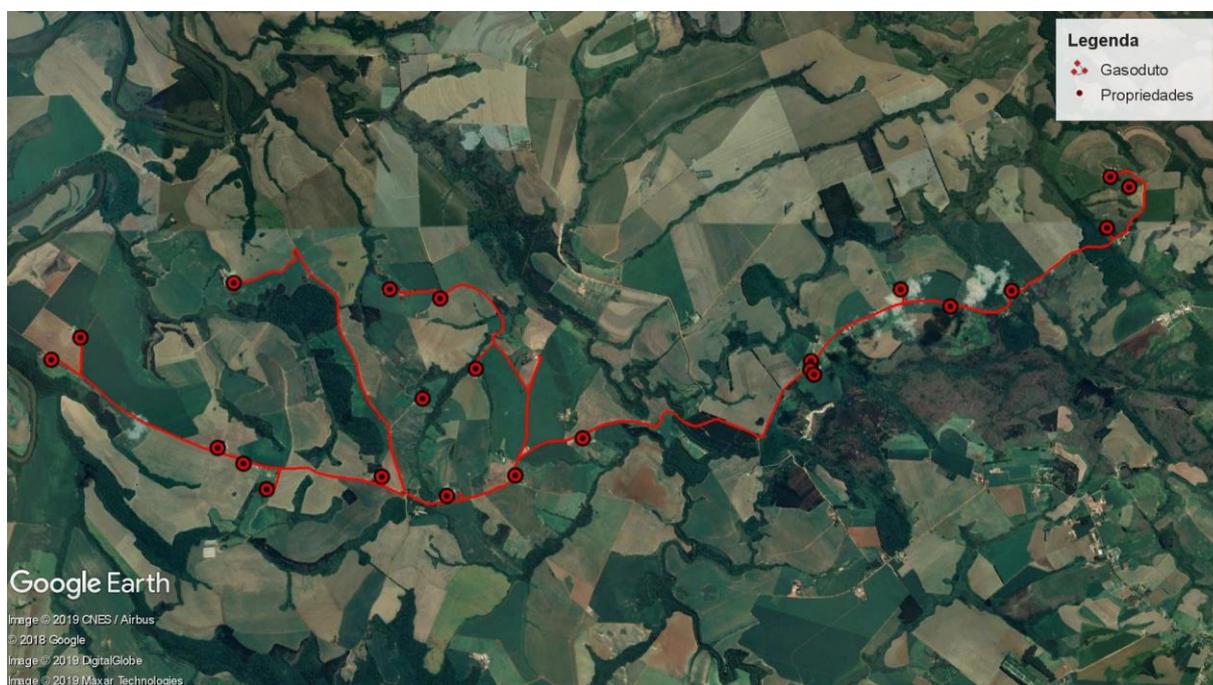


Figura 8: Gasoduto para transporte do biogás.

O sistema de transporte de biogás compreende ainda a purificação e armazenamento do biogás para sua utilização no sistema de geração de energia.

### 3.5 GERAÇÃO DE ENERGIA

Os gasodutos irão transportar o volume diário de 9.347,38 m<sup>3</sup> de biogás até uma usina de geração de energia a biogás, onde será realizada uma lapidação no biogás, através de filtros de carvão, até que ele se encontre em qualidade adequada para utilização em um grupo gerador. Na usina será realizado ainda o armazenamento do

biogás em gasômetro. Na figura a seguir está demonstrada a localização da usina de geração de energia.



Figura 9: Localização da usina de geração de energia.

Considerando que a produção diária de biogás do projeto será de 9.347,38 m<sup>3</sup> de biogás, utilizou-se o fator de conversão, detalhado na tabela 6, de 1,43 kWh por m<sup>3</sup> de biogás, chegando assim a uma geração diária de 13.366,76 kWh. Desta forma, partindo do princípio que a usina terá um regime de operação de 16 horas por dia, chega-se à necessidade de um sistema de geração de energia com potência de 835,42 kW.

Encontra-se no mercado de grupo geradores à biogás um modelo cuja potência é de 420 KVA, ou 336 kW. Sendo assim, para o projeto serão necessários três unidades deste modelo, totalizando uma potência instalada total de 1.008 kW, ou 1,008 MW. Este grupo gerador é composto por motor, alternador, painel de controle e acessórios.

### 3.6 DESPESAS DE CAPITAL (CAPEX)

Os investimentos de capital deste projeto são constituídos basicamente pelo sistema de produção de biogás, geração de energia, transporte e tratamento do biogás e outros custos incorridos na instalação do projeto. Serão utilizadas cotações reais de empresas com experiência em projetos semelhantes.

### 3.6.1 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O sistema de produção de biogás consiste basicamente na instalação de biodigestores em cada propriedade participante do projeto. Além dos custos do biodigestor em si, o orçamento compreende ainda todos os equipamentos e instalações necessárias para seu funcionamento. Abaixo segue detalhamento dos custos totais de instalação de todos os 23 biodigestores envolvidos no projeto.

Tabela 11: Custos do sistema de produção de biogás (Orçamentos de 09/07/2019).

DESCRIÇÃO	VALOR
GEOMEMBRANA 1,00mm	R\$ 366.750,00
GEOMEMBRANA 1,25mm	R\$ 535.920,00
ACESSO AGITADOR L2	R\$ 86.595,00
TUBO OCRE 200 MM	R\$ 36.594,00
CURVA OCRE 45° 200 MM	R\$ 19.800,00
AGITADOR L2 10 CV	R\$ 696.850,00
QUADRO DE COMANDO ELETRICO	R\$ 33.177,00
VÁLVULA DO BIOGÁS	R\$ 43.656,00
SAÍDA DE BIOGÁS 4"	R\$ 25.680,00
ESCAVAÇÃO (VALOR ESTIMADO, PODENDO VARIAR CONFORME TERRENO)	R\$ 220.080,00
ACOMPANHAMENTO TÉCNICO, PLANTA BAIXA, ART, DESPESAS DE VIAJEM, HOSPEDAGEM E ALIMENTAÇÃO	R\$ 594.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 2.659.102,00</b>

### 3.6.2 GERAÇÃO DE ENERGIA

O sistema de geração de energia consiste em três grupos geradores compostos de motor, alternador e seus equipamentos necessários para sua operação, os quais também estão inclusos no orçamento conforme tabela abaixo.

Tabela 12: Custos do sistema de geração de energia (Orçamentos de 27/06/2019).

ITEM	VALOR
GRUPO GERADOR	R\$ 1.621.750,53
QUADRO DE PARALELISMO E FECHAMENTO	R\$ 73.122,00
SISTEMA DE TRANSFERENCIA EM RAMPA	R\$ 45.764,00
PAINEL DE PROTEÇÃO E SECCIONAMENTO	R\$ 23.916,00
PROJETO	R\$ 18.529,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 1.783.081,53</b>

### 3.6.3 TRANSPORTE E TRATAMENTO DO BIOGÁS

As instalações para transporte do biogás consistem além do gasoduto em material polietileno de alta densidade (PEAD), em gasômetros, compressores, válvulas de contrapressão, conexões, flare, entre outros itens.

Neste mesmo orçamento incluem-se os custos para tratamento do biogás. Este processo iniciará ainda nas propriedades rurais, onde será realizado o tratamento por dessulfurização biológica, por este motivo há necessidade de casas de máquinas nas propriedades rurais. E na central de geração de energia será realizado mais um tratamento final no biogás através de filtros de carvão. Na tabela abaixo estão apresentados todos os custos de instalação destes sistemas e equipamentos.

Tabela 13: Custos para transporte e tratamento do biogás (Orçamentos de 12/07/2019).

ITEM	VALOR
GASODUTO COMPLETO	R\$ 2.503.500,00
INSTALAÇÕES PARA TRATAMENTO DO BIOGÁS	R\$ 1.415.250,00
GASÔMETROS	R\$ 180.750,00
FILTROS DE CARVÃO	R\$ 69.750,00
FLARE, MEDIDOR DE VAZÃO E PROTEÇÕES	R\$ 132.000,00
PROJETO EXECUTIVO	R\$ 296.250,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 4.597.500,00</b>

### 3.6.4 CAPEX TOTAL

Outros custos adicionais do projeto também foram considerados, sendo estimados no valor de 10% do custo total. Sendo assim, o CAPEX do projeto é de R\$9.943.651,30.

Tabela 14: CAPEX do projeto.

CUSTO DE INVESTIMENTO - CAPEX (R\$)	
Produção de Biogás	R\$ 2.659.102,00
Geração de Energia Elétrica	R\$ 1.783.081,00
Transporte e Tratamento	R\$ 4.597.500,00
Outros	R\$ 903.968,30
<b>Total</b>	<b>R\$ 9.943.651,30</b>

### 3.7 DESPESAS OPERACIONAIS (OPEX)

Os custos operacionais foram baseados em informações concedidas pelos fornecedores e empresas que possuem experiência neste tipo de projeto.

Os custos consistem em mão de obra, sendo um administrativo e 2 operadores para os sistemas e equipamentos, materiais para a manutenção da planta de geração de energia, biodigestores, gasodutos e equipamentos envolvidos no processo, além de outros custos diversos e veículo.

Desta forma, os custos operacionais do projeto são de R\$ 42.680,00 por mês.

Tabela 15: Custos de Operação e Manutenção (OPEX).

CUSTOS DE MANUTENÇÃO - OPEX MENSAL (R\$)		
Veículo	R\$	5.000,00
Mão de Obra	R\$	13.800,00
Materiais - Manutenção	R\$	20.000,00
Outros	R\$	3.880,00
<b>Total</b>	<b>R\$</b>	<b>42.680,00</b>

## 3.8 ANÁLISE FINANCEIRA

### 3.8.1 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

A Taxa Mínima de Atratividade do projeto foi determinada através dos modelos *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) e Custo Médio Ponderado de Capital (WACC).

#### 3.8.1.1 CUSTO DE CAPITAL PRÓPRIO

Inicialmente será utilizado o modelo CAPM para encontrar o Custo de Capital próprio, lembrando que sua fórmula é:

$$k_e = R_f + \beta \times (k_m - R_f)$$

A Taxa Livre de Risco ( $R_f$ ) trata-se do retorno esperado de um investimento sem exposição a qualquer risco financeiro, neste caso, será utilizado a taxa básica de juros da economia brasileira, taxa SELIC, neste parâmetro. De acordo com o Banco Central do Brasil, em julho de 2019 a Taxa SELIC é de 6,50%.

Para o índice Beta ( $\beta$ ), que representa o risco do investimento comparado com as variações do mercado, será utilizado o valor determinado na Nota Técnica no 37/2019-SRM/ANEEL, que é de 0,5319 para o Beta alavancado.

Com relação ao retorno da carteira de mercado ( $k_m$ ), que representa a rentabilidade do mercado como um todo será utilizado o índice Bovespa para determinar

este parâmetro. Segundo a BM&F Bovespa, a taxa de crescimento do índice no período de 2018 e 2019 é 9,6%.

Sendo assim, aplicando estes parâmetros no modelo *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), encontram-se um Custo de Capital Próprio de 8,14%.

### 3.8.1.2 CUSTO MÉDIO PONDERADO DE CAPITAL

O próximo passo para determinar a Taxa Mínima de Atratividade do projeto é encontrar seu Custo Médio Ponderado de Capital (WACC).

Para isso é necessário determinar o custo de capital de terceiros, ou seja, a remuneração exigida por financiamentos e empréstimos. Neste caso, serão utilizadas as taxas de juros utilizadas em financiamentos do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), que para 2019 é de 11,86%.

Com relação à variável de imposto, para fins do cálculo da remuneração do capital do setor elétrico, a alíquota de imposto considerada é de 34%, equivalente a 25% de IRPJ e 9% de CSLL.

A estrutura de capital diz respeito às fontes de recursos utilizadas por um investidor em um investimento específico, existindo duas fontes: capital próprio e de terceiro. Neste caso, serão utilizados 64,64% de capital próprio e 35,36% de capital de terceiros, novamente tomando como base a Nota Técnica no 37/2019-SRM/ANEEL.

Tabela 16: Custo Médio Ponderado de Capital (WACC).

CUSTO DE CAPITAL PRÓPRIO	8,14%
CUSTO DE CAPITAL DE TERCEIROS	11,86%
CAPITAL PRÓPRIO	64,64%
CAPITAL DE TERCEIROS	35,36%
<b>CUSTO MÉDIO PONDERADO DE CAPITAL (WACC)</b>	<b>8,03%</b>

Desta forma, encontra-se um Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) de 8,03%, valor este que será utilizado como Taxa Mínima de Atratividade do projeto.

### 3.8.2 PREMISSAS ECONÔMICAS

Além da taxa mínima de atratividade, é importante considerar-se algumas premissas econômicas na análise financeira do negócio. A primeira delas está relacionada aos impostos.

No Brasil, os tributos sobre a renda são compostos do Imposto de Renda de Pessoa Jurídica – IRPJ e da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido – CSLL. De acordo com a Receita Federal, a alíquota do IRPJ é de 15% (quinze por cento) sobre o lucro real, presumido ou apurado, com adicional de 10% sobre a parcela do lucro que exceder R\$ 20.000,00 / mês. A alíquota da CSLL é de 9% para empresas não financeiras, de acordo com a Instrução Normativa nº 1591/2015 da Receita Federal do Brasil. Sendo assim, será considerada a alíquota de imposto de 34%, equivalente a 25% de IRPJ e 9% de CSLL.

Há ainda a incidência de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) sobre a comercialização da energia elétrica. No Paraná, a geração distribuída é isenta de ICMS para unidades consumidoras de um mesmo titular que produzam no máximo 1 MW e com tempo máximo de proveito do benefício de 48 meses. Esta isenção, no entanto, não é aplicável a múltiplas unidades consumidoras, como condomínios, ou em sistemas de geração compartilhada, como consórcios ou cooperativas, justamente pelo fato das unidades consumidoras participantes possuírem titularidades diferentes. Lembra-se ainda que alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social – COFINS incidentes sobre a energia elétrica são reduzidas a zero.

Outros itens a serem considerados são a inflação e o reajuste no preço da energia. Conforme gráfico abaixo, historicamente o aumento no preço da energia é superior à inflação do período. Em 2019, o reajuste médio no preço da energia elétrica do Brasil foi de 5,2%, enquanto a inflação acumulada do período foi de 4,7%.

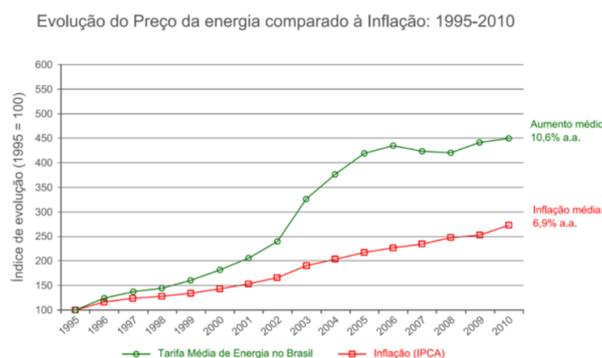


Figura 10: Comparativo entre a tarifa média de energia no país e a inflação. Fonte: Tera Solar

Importante ressaltar que será considerado um período de depreciação de 10 anos, que será aplicado sobre todos os custos de investimento (CAPEX) do projeto.

### 3.8.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE

A análise de viabilidade da usina de geração de energia à biogás será realizado tomando como base a possibilidade comercialização da energia no mercado livre, e a utilização de mecanismos de geração distribuída, sendo possível o autoconsumo remoto ou geração compartilhada.

#### 3.8.3.1 CENÁRIO 1 - MERCADO LIVRE

O Mercado Livre de Energia é um ambiente onde vendedores e compradores de energia elétrica podem negociar livremente todas as condições comerciais como fornecedor, preço, quantidade de energia contratada, período de suprimento, pagamento, entre outras.

Os valores aplicados no mercado livre de energia, apesar de se tratar de negociações independentes, tomam como base o preço da energia no curto prazo, ou seja, o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), que é calculado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

Sendo assim, a análise financeira deste projeto, com comercialização da energia no mercado livre, será realizada tomando como base o valor histórico de janeiro/2014 até julho/2019 do preço de liquidação das diferenças, o qual, de acordo com dados da CCEE, é de R\$ 320,58/MWh.

Produção de energia		
Produção de biogás	9.347	m³/dia
Potência GD (kW)	1.008	kW
Geração de energia	401.010	kWh/mês

Custo de Investimento - CAPEX (R\$)		
Produção de Biogás	R\$	2.659.102,00
Geração de Energia Elétrica	R\$	1.783.081,00
Transporte e Tratamento	R\$	4.597.500,00
Outros	R\$	903.968,30
<b>Total</b>	<b>R\$</b>	<b>9.943.651,30</b>

Custos de manutenção - OPEX mensal (R\$)		
Veículos	R\$	5.000,00
Mão de Obra	R\$	13.800,00
Materiais - Manutenção	R\$	20.000,00
Outros	R\$	3.880,00
<b>Total</b>	<b>R\$</b>	<b>42.680,00</b>

Premissas modelo de negócio		
Consumo próprio (GD)		kWh/mês
Energia Comercializada	401.010	kWh/mês

Receita		
Custo evitado	R\$	- R\$/mês
Receita	R\$	128.323,20 R\$/mês

Tarifa		
Tarifa de consumo próprio	Energia	R\$/kWh
	Demanda	R\$ 13,75 R\$/kW
Tarifa de negociação	Energia	R\$ 0,32 R\$/kWh

Premissas econômicas		
Taxa mínima de atratividade	8,03%	%a.a
Inflação	4,7%	%a.a
Reajuste no preço da energia	5,2%	%a.a
Impostos sobre receita	25,00%	%a.a
Imposto de renda	34,00%	%a.a

Figura 11: Cenário 1 - Mercado Livre

Este cenário não se mostrou viável, o resultado do Valor Presente Líquido (VPL) foi de R\$ -R\$5.927.183,31, o Índice de Lucratividade (IL) foi de 0,40, enquanto a Taxa Interna de Retorno (TIR) é de -7,24%, ou seja, bastante abaixo da Taxa Mínima de Atratividade. E conseqüentemente, tanto o *Payback* Simples quanto o *Payback* Descontado, são maiores que 10 anos, ou seja, maior que o período de depreciação do capital investido.

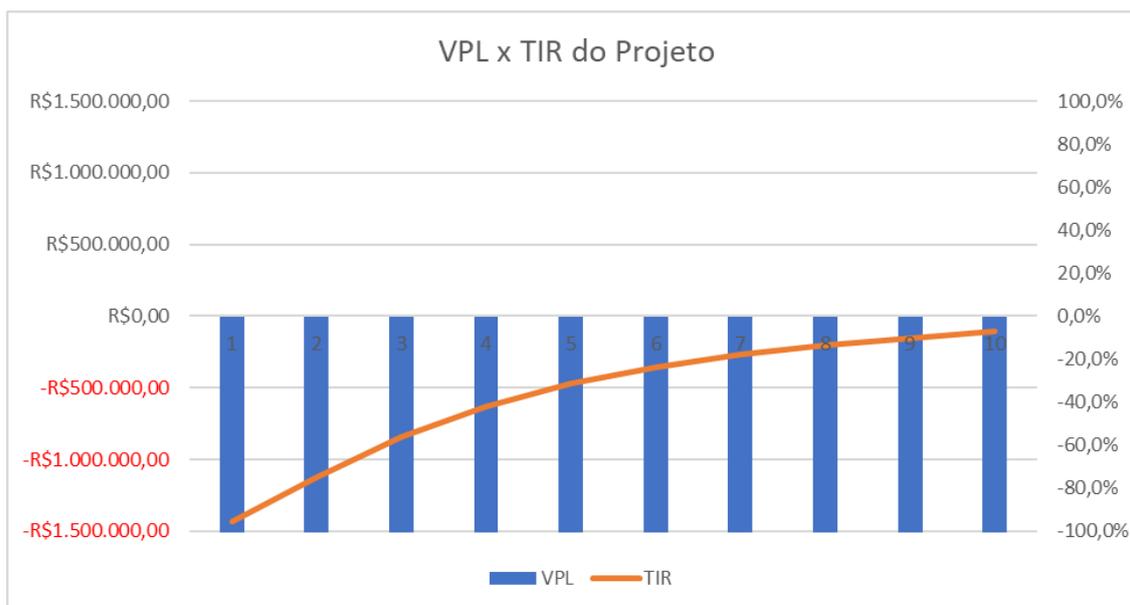


Figura 12: Cenário 1 - VPL e TIR

### 3.8.3.2 CENÁRIO 2 – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – COOPERATIVA DE ENERGIA

Neste cenário será considerada a implantação de uma cooperativa de energia. Este sistema é baseado no sistema de cotas e créditos de energia, ou seja, a Cooperativa será responsável por gerar a energia, através da usina à biogás, a energia será injetada na rede, gerando créditos energéticos que serão transferidos aos cooperados conforme as cotas adquiridas.

Algumas cooperativas neste mesmo modelo de negócio já estão consolidadas no mercado, sendo que o valor aplicado para as cotas de energia é aproximadamente 20% abaixo da tarifa de energia do mercado cativo. Nesta análise utiliza-se como base a tarifa convencional da Copel, que atualmente é R\$ 0,79/kWh. Aplicando a redução de 20% neste valor, chega-se em um preço a ser aplicado nas cotas de energia da cooperativa de R\$ 0,63/kWh.

Produção de energia		
Produção de biogás	9.347	m³/dia
Potência GD (kW)	1.008	kW
Geração de energia	401.010	kWh/mês

Custo de Investimento - CAPEX (R\$)		
Produção de Biogás	R\$	2.659.102,00
Geração de Energia Elétrica	R\$	1.783.081,00
Transporte e Tratamento	R\$	4.597.500,00
Outros	R\$	903.968,30
<b>Total</b>	<b>R\$</b>	<b>9.943.651,30</b>

Custos de manutenção - OPEX mensal (R\$)		
Veículos	R\$	5.000,00
Mão de Obra	R\$	13.800,00
Materiais - Manutenção	R\$	20.000,00
Outros	R\$	3.880,00
<b>Total</b>	<b>R\$</b>	<b>42.680,00</b>

Premissas modelo de negócio		
Consumo próprio (GD)		kWh/mês
Energia Comercializada	401.010	kWh/mês

Receita		
Custo evitado	R\$	- R\$/mês
Receita	R\$	252.636,30 R\$/mês

Tarifa		
Tarifa de consumo próprio	Energia	R\$/kWh
	Demanda	R\$ 13,75 R\$/kW
Tarifa de negociação	Energia	R\$ 0,63 R\$/kWh

Premissas econômicas		
Taxa mínima de atratividade	8,03%	%a.a
Inflação	4,7%	%a.a
Reajuste no preço da energia	5,2%	%a.a
Impostos sobre receita	25,00%	%a.a
Imposto de renda	34,00%	%a.a

Figura 13: Cenário 2 - Cooperativa de Energia

Este cenário apresenta viabilidade, visto que atingiu um Valor Presente Líquido (VPL) positivo de R\$1.056.058,44, Índice de Lucratividade de (IL) de 1,11 e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 10,18%. Dentro deste cenário, o *Payback* Simples quanto o *Payback* Descontado foram, respectivamente, 6,4 e 8,9 anos.

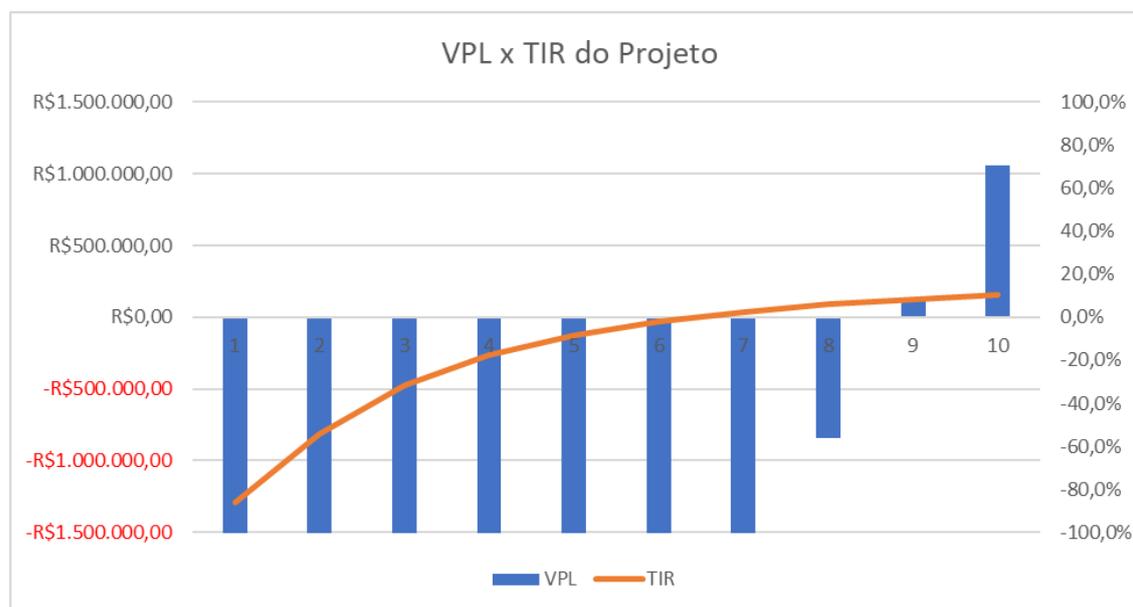


Figura 14: Cenário 2 - VPL e TIR

### 3.8.3.3 CENÁRIO 3 – GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – AUTOCONSUMO REMOTO

O cenário 3 consiste em consumir a energia, gerada na usina à biogás, nas unidades comerciais da cooperativa agroindustrial envolvida no projeto, ou seja, autoconsumo remoto.

Neste mecanismo é caracterizado por unidades consumidoras, de mesma titularidade, que possuem geração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia gerada excedente será compensada. No caso estudado, a usina à biogás será a unidade geradora da Cooperativa, e as unidades consumidoras serão suas unidades comerciais.

Para esta análise será considerado a tarifa de energia paga atualmente pelas unidades comerciais da cooperativa, que é de R\$ 0,79/kWh. Observa-se que neste caso não há incidência de ICMS visto que a geração e consumo serão em unidades de mesma titularidade.

Produção de energia		
Produção de biogás	9.347	m <sup>3</sup> /dia
Potência GD (kW)	1.008	kW
Geração de energia	401.010	kWh/mês

Premissas modelo de negócio			
Consumo próprio (GD)	401.010	kWh/mês	
Energia Comercializada		kWh/mês	

Receita			
Custo evitado	R\$	316.797,90	R\$/mês
Receita	R\$	-	R\$/mês

Tarifa			
Tarifa de consumo próprio	Energia	R\$	0,79 R\$/kWh
	Demanda	R\$	13,75 R\$/kW
Tarifa de negociação	Energia		R\$/kWh

Custo de Investimento - CAPEX (R\$)			
Produção de Biogás	R\$	<b>2.659.102,00</b>	
Geração de Energia Elétrica	R\$	<b>1.783.081,00</b>	
Transporte e Tratamento	R\$	<b>4.597.500,00</b>	
Outros	R\$	<b>903.968,30</b>	
<b>Total</b>	<b>R\$</b>	<b>9.943.651,30</b>	

Custos de manutenção - OPEX mensal (R\$)			
Veículos	R\$	<b>5.000,00</b>	
Mão de Obra	R\$	<b>13.800,00</b>	
Materiais - Manutenção	R\$	<b>20.000,00</b>	
Outros	R\$	<b>3.880,00</b>	
<b>Total</b>	<b>R\$</b>	<b>42.680,00</b>	

Premissas econômicas			
Taxa mínima de atratividade	8,03%		%a.a
Inflação	4,7%		%a.a
Reajuste no preço da energia	5,2%		%a.a
Impostos sobre receita	25,00%		%a.a
Imposto de renda	34,00%		%a.a

Figura 15: Cenário 3 - Autoconsumo Remoto

O cenário 3 também apresenta viabilidade financeira, seu resultado foi um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$9.363.408,71, Índice de Lucratividade (IL) de 1,94 e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 24,51%. Obtendo-se então um *Payback* Simples de 3,9 anos e *Payback* Descontado de 4,8 anos.

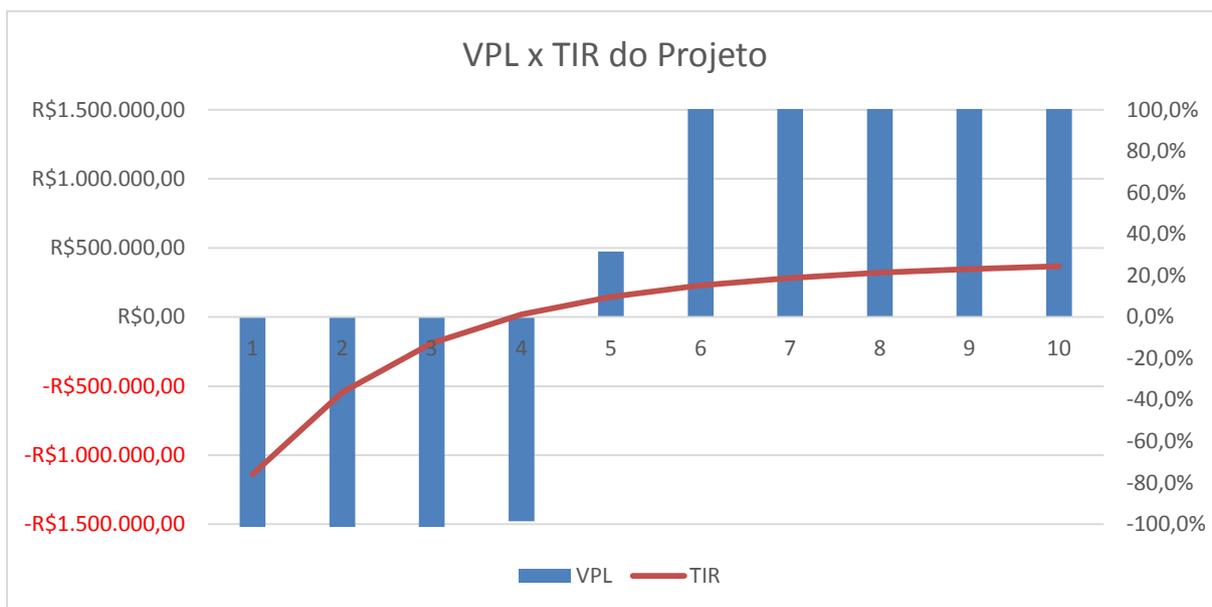


Figura 16: Cenário 3 - VPL e TIR

## 4 RESULTADO

Conforme apresentado na tabela abaixo, foram realizadas análises de viabilidade financeira para três cenários envolvendo a Usina à Biogás, sendo que dois cenários demonstraram viabilidade em sua implantação.

INDICADOR DE VIABILIDADE	CENÁRIO 1 MERCADO LIVRE	CENÁRIO 2 COOPERATIVA DE ENERGIA	CENÁRIO 3 AUTOCONSUMO REMOTO
VPL do Projeto	-R\$5.927.183,31	R\$1.056.058,44	R\$9.363.408,71
TIR	-7,24%	10,18%	24,51%
Payback (anos)	10,0	6,4	3,9
Payback descontado (anos)	10,0	8,9	4,8
Índice de Lucratividade	0,40	1,11	1,94

Figura 17: Resultados dos indicadores de viabilidade.

A atuação da Usina à Biogás no Mercado Livre apresentou-se inviável devido ao baixo valor de venda de energia. Trata-se de um mercado onde as negociações são livres, causando assim livre concorrência entre as fontes de geração de energia. Desta forma, neste mercado a Usina à Biogás concorre com fontes já consolidadas e com custo menores de instalação, como é o caso das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), que possuem investimentos na ordem de R\$ 7.500/kW, Usinas Eólicas, com investimento aproximado de R\$ 6.000/kW, e geração solar, com investimento na ordem de R\$ 5.200/kW; lembrando que o projeto da Usina à Biogás terá um investimento de R\$ 9.864,73/kW.

Importante atentar ainda com relação à volatilidade dos preços neste mercado. Os contratos firmados no mercado livre, em sua maioria, tomam como base os valores do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), o qual é determinado através de modelos matemáticos que consideram diversos aspectos que influenciam o Sistema Interligado Nacional (SIN), causando assim bastante variância em seus valores, conforme gráfico abaixo. Sendo assim, é de grande importância ponderar os riscos que esta variação no preço da energia neste mercado pode causar no negócio.

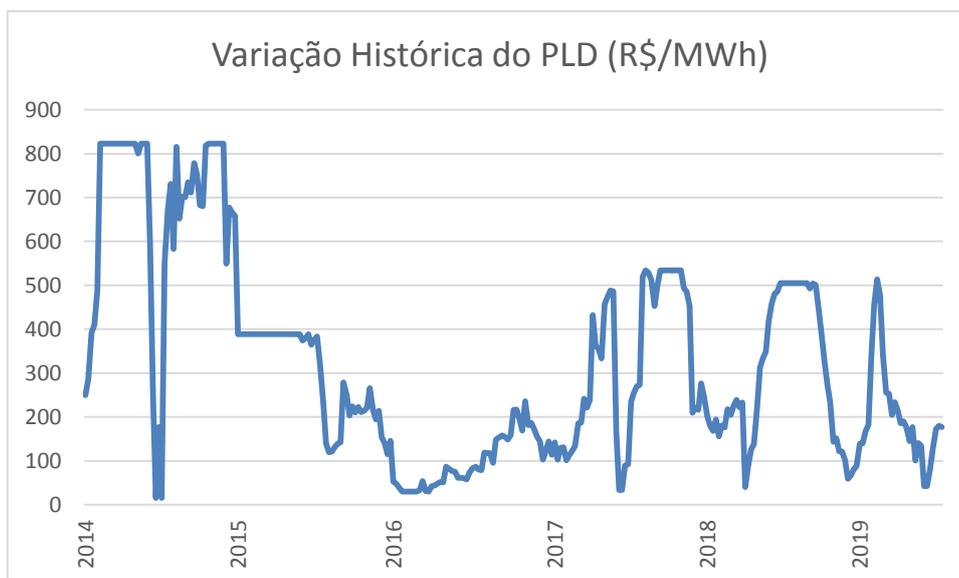


Figura 18: Variação histórica do PLD.

O cenário 2, onde é proposta a criação de uma cooperativa de energia, se mostrou viável, e por se tratar de um empreendimento de responsabilidade de uma empresa onde o cooperativismo já está consolidado, este modelo de negócio se apresenta bastante interessante.

Neste cenário, valor de negociação das cotas de energia aos cooperados é um ponto crucial para sua viabilidade, visto que deve ser acordado um valor atrativo tanto aos cooperados quanto à cooperativa.

Importante lembrar que, atualmente, o preço da energia rural é menor que a tarifa convencional, neste caso, os participantes da cooperativa de energia deverão ser consumidores da área urbana. No entanto, é possível que nos próximos anos os subsídios da energia rural reduzam (Decreto no 9.642/2018), viabilizando assim a participação de propriedades rurais na cooperativa de energia.

O último cenário é referente ao autoconsumo remoto em unidades da cooperativa agroindustrial. Importante ressaltar que se trata de um grande volume de energia, sendo necessário haver grandes unidades para seu consumo, por exemplo, centros administrativos e indústrias. Sendo assim, este cenário pode ser inviabilizado pela falta de unidades consumidoras, visto que a maioria das unidades da cooperativa utilizam energia do mercado livre.

---

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Mediante o constante crescimento nas atividades pecuárias da região onde o projeto será instalado e a necessidade de tratamento dos resíduos gerados para posterior destinação, adicionado ainda as exigências ambientais dos órgãos fiscalizadores, a implantação de sistemas de biodigestão torna-se atrativa não somente pelo benefício econômico, através da produção de biogás e geração de energia, mas também pela melhoria das condições ambientais das propriedades envolvidas no projeto e, conseqüentemente, tornando a produção agropecuária mais sustentável.

A solução apresentada neste projeto é a instalação de biodigestores nas propriedades rurais e, através de gasoduto, centralizar o biogás produzido em uma única central de geração de energia, este modelo além de possibilitar ganhos financeiros pela economia de custo gerado, aumenta a capacidade de geração de energia, oferecendo melhores opções de negociação da energia gerada, sendo este um aspecto de fundamental importância visto que a viabilidade da implantação do projeto está vinculada ao preço de negociação da energia.

Vale a pena ressaltar que existem empreendimentos semelhantes a este, inclusive em operação, porém, todos eles são vinculados a projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) ou projetos de iniciativa pública, em ambos os casos recebendo algum tipo de fomento. Portanto, no caso de implantação da proposta apresentada, este será um projeto inovador e trará grande visibilidade à região.

Destaca-se ainda a possibilidade de replicar este modelo de negócio em outras áreas de atuação da cooperativa agroindustrial, visto que neste projeto foram envolvidas 23 propriedades rurais de um total de 450 propriedades de atividade pecuária associadas à cooperativa.

Ressaltam-se algumas recomendações sobre este estudo:

- O potencial de produção de biogás e, conseqüentemente, de geração de energia foram calculados com base nas informações obtidas no referencial teórico. Recomenda-se que sejam realizadas análises laboratoriais com os resíduos das propriedades participantes do projeto, encontrando assim valores precisos para o correto dimensionamento das estruturas do empreendimento.
-

- Por se tratar de altos investimentos e considerando que parte dele será nas propriedades rurais, destaca-se a importância de formalização de contratos com os proprietários de cada área, inclusive com cláusulas que estabelecem multas financeiras no caso de desistência ou saída do projeto, como forma de garantir a viabilidade perpetua do empreendimento.
  - Considerando os avanços tecnológicos que os maquinários agrícolas estão tendo nos últimos anos, é importante ressaltar que o biogás produzido neste projeto, além de gerar energia, pode ser utilizado na forma de combustível em máquinas agrícolas, sendo necessário apenas aprimorar a qualidade do biogás para que ele exerça esta função.
  - Importante ressaltar que a Agência Nacional de Energia Elétrica está estudando a possibilidade de revisão da Resolução Normativa nº 482/2012, a qual regulamenta os mecanismos de geração distribuída. Sendo assim, é necessário estar atento às alterações a serem realizadas e a data em que entrarão em vigor, evitando assim que elas venham impactar na viabilidade deste projeto.
-

---

## 6 BIBLIOGRAFIA

ALVES, G. H. Projeto e análise de viabilidade econômica da instalação de painéis fotovoltaicos no setor industrial. São Carlos, São Paulo, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Nota Técnica nº 23/2018–SRM/ANEEL – Parâmetros regulatórios para a revisão das Receitas Anuais de Geração – RAGs das usinas hidrelétricas em regime de cotas, nos termos da Lei nº 12.783/2013. ANEEL, 2018.

ANGHEBEN, A. A. Estudo da remoção de H<sub>2</sub>S de biogás sob diferentes condições operacionais utilizando soluções contendo ferro em um sistema em escala de bancada. Medianeira, Paraná, 2017.

BLEY JUNIOR, C. Biogás: a energia invisível. Edição: 2. ed. Foz do Iguaçu: Itaipu, 2015.

CIBIOGÁS. Meta 2: Manual para transporte e armazenamento do biogás. Foz do Iguaçu, maio de 2019.

CIBIOGÁS. Meta 6: Manual para tratamento do biogás. Foz do Iguaçu, maio de 2019.

CIBIOGÁS. Meta 8: Florestas Energéticas. Foz do Iguaçu, maio de 2019.

CIBIOGÁS Nota Técnica: Nº 001/2018 – Produção de biogás a partir da biodigestão de dejetos suínos em fase de terminação no Oeste do Paraná. Foz do Iguaçu, 2018.

CIBIOGÁS. Nota Técnica: Nº 03/2019 – Produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite e corte. Foz do Iguaçu, 2019.

COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. Universidade Estadual do Oeste do Paraná: Cascavel, Paraná, 2006.

COSTA, D. F. Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto. São Paulo, São Paulo, 2006.

---

GOMES, A. C. A. A viabilidade econômico-financeira do uso do biogás para implantação de um condomínio de agroenergia no município de Toledo-PR. Toledo, Paraná, 2014.

KERKHOFF, S; MITO, J. Y. L.; NASCIMENTO, K. R.; CAMILO, N. C.; MARIANI, L.; SILVA, J. L. G. Potencial teórico de produção de biogás e energia elétrica a partir da biomassa residual da suinocultura da região oeste do Paraná. In: Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 10, 2015, São Paulo. Anais. São Paulo, USP, 2015.

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

LINS. L.; MITO, J. Y. L; FERNANDES, D. M. Composição média do biogás de diferentes tipos de biomassa. In: SIGERA, 2015, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBERA, 2015.

MILANEZ, A.Y., GUIMARÃES, D.D., MAIA, G.B.S., SOUZA, J.A.P., LEMOS, M.L.F. Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. BNDES Setorial, 2018.

MITO, J. Y. L. et. al. Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil. Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2018.

OLIVEIRA, R. D. Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono. São Carlos, São Paulo, 2009.

PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L. et. al. Gestão ambiental na agropecuária. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

PRATI, L. Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. Curitiba, Paraná, 2010.

SCHERER, L. Análise estratégica e financeira da produção de biogás a partir de dejetos suíno em Itaipulândia - PR. Cascavel, Paraná, 2017.

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

---





