

Cíntia Tae Ono Shimada
Guilherme Kanashiro Toyohara

**METODOLOGIA DE ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO INVESTIMENTO
DE UM PROJETO DE PURIFICADOR DO BIOGÁS PRODUZIDO EM FAZENDAS
DE PORCOS E QUE UTILIZA COMO MATÉRIA-PRIMA CINZAS DE MADEIRA**

São Paulo

2014

Cíntia Tae Ono Shimada
Guilherme Kanashiro Toyohara

Metodologia de análise da viabilidade econômica do investimento de um projeto de purificador do biogás produzido em fazendas de porcos e que utiliza como matéria-prima cinzas de madeira

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentada a Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo

Área de Concentração:
Engenharia Química

Orientadora: Profa. Dra.
Maria Elena Santos Taqueda

São Paulo

2014

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho à Doroti, à Firomi, ao Nelson e ao Roberto, que além de nossos pais foram professores, mentores e amigos nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos aos nossos pais, por todo carinho e apoio prestados incondicionalmente, e aos nossos irmãos, pela amizade e companheirismo.

Agradecemos aos nossos amigos de faculdade, com quem compartilhamos lágrimas e risadas, derrotas e conquistas, sendo os principais expectadores e protagonistas na construção desse ciclo que se encerra.

À nossa professora orientadora, pelo auxílio e orientação, nos ensinando a importância da pesquisa científica e que o conhecimento só engrandece aqueles que o compartilham.

A doutoranda do projeto com o qual esta monografia se baseou, que nos auxiliou no projeto de iniciação científica e sem a qual este trabalho não seria possível.

Aos demais professores e funcionários, que contribuíram na elaboração deste trabalho e na nossa formação acadêmica, provendo uma formação sólida e de qualidade.

Por fim, agradecemos um ao outro, pela cooperação, amizade, companheirismo e carinho, que vão muito além desta monografia e por se mostrarem evidentes que independente das dificuldades enfrentadas, um amigo sempre torna os obstáculos menores.

Derrota após derrota até a vitória final.

Che Guevara

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade o desenvolvimento de uma metodologia de análise de viabilidade econômica e financeira da implementação de uma coluna de absorção de CO₂ do biogás e seu posterior uso como fonte de geração de energia elétrica. Seus objetivos específicos consistem em realizar levantamento de necessidade de investimento em equipamentos para o processo de absorção, assim como para o gerador de energia elétrica e avaliar o retorno econômico-financeiro do projeto. É uma pesquisa de caráter exploratório-descritivo. Para realização do estudo foram realizados levantamentos bibliográficos e a utilização de dados do projeto de iniciação científica realizados pelos autores. Criou-se uma metodologia para o roteiro de cálculo de viabilidade econômica, que é aplicável a cenários semelhantes. Estimaram-se os balanços de absorção com os dados de uma célula experimental, sendo possível ocorrer inconsistência com os dados reais da coluna de absorção que ainda estava em fase de testes até a redação desta monografia. Descreveu-se a Granja Suruvi, utilizada como base para os cálculos, e fez-se o levantamento dos investimentos e a avaliação econômico-financeira do projeto. Verificou-se que a aplicação de um gerador, a partir dos dados obtidos com a célula, é inviável economicamente. A análise do projeto não apresenta resultados definitivos, sendo necessária sua revalidação com os dados reais da coluna. Ainda que não apresente viabilidade econômica na sua aplicação para geração de energia elétrica, o biogás ainda possui alta importância ambiental, sendo que sua simples queima diminui o volume de gases intensificadores do efeito estufa (CH₄) e pode gerar receita com créditos de carbono.

Palavras chave: Biogás. Absorção de CO₂. Cinzas de Madeira. Viabilidade Econômica. Suinocultura.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to develop a methodologic analysis of the financial viability of an absorption CO₂ implementation and its posterior use as a source of electric power. Its main specific goals are collecting the total investment needed in resources to fulfill the absorption process and the electric power generation, and then evaluate the financial return of investment of the project. It is an exploratory and descriptive research. For the development of this paper, several scientific studies were reviewed, to build a methodology for the calculation script of the economic viability, which is applicable to many similar scenarios. There were estimated the absorption balances with the experimental cell data, being possible to incur discrepancies with the real data of the absorption column that was still in test phase until the writing of this paper. Granja Suruvi was used as a calculation basis, and there was made the investment collection and the economic viability of the project. It has been verified that the generator application is economically unfeasible. The project analysis still doesn't present definitive results, still being necessary to revalidate the column real data. Even though it still doesn't have financial viability in its application to generate electric power, the biogas still has high ambiental importance, as its burning reduces the intensification of the gas responsible of the Greenhouse effect (CH₄) and it can generate revenue with carbon credits.

Key-words: Biogas. CO₂ absorption. Wood ashes. Financial viability. Pig farming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Relação do poder calorífico do biogás e a porcentagem de metano.....	17
Figura 2. Os carbonatos solúveis em suas diversas fases.....	21
Figura 3. Processo de absorção de CO ₂ com solução de carbonatos	22
Figura 4. Gradientes de concentração perto da interfase líquido-gás	29
Figura 5. Turbina a gás	32
Figura 6. Representação esquemática do funcionamento de um motor a diesel	33
Figura 7. Desenho esquemático do funcionamento de um motor Otto.....	34
Figura 8. Desenho esquemático do projeto de absorção	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição do biogás.....	16
Tabela 2. Produção de dejetos por sistema de produção	19
Tabela 3. Características dos cenários analisados na viabilidade econômica.....	42
Tabela 4. Base de cálculo do cenário	44
Tabela 5. Valores de entradas do processo.....	44
Tabela 6. Fluxo de caixa do Cenário 1 – Ano 0 ao Ano 6.....	46
Tabela 7. Fluxo de caixa do Cenário 1 – Ano 7 ao Ano 13.....	46
Tabela 8. Fluxo de caixa do Cenário 1 – Ano 14 ao Ano 20.....	46
Tabela 9. Valor presente líquido para o Cenário 1.....	47
Tabela 10. Fluxo de caixa do Cenário 2 – Ano 0 ao Ano 6.....	48
Tabela 11. Fluxo de caixa do Cenário 2 – Ano 7 ao Ano 13.....	48
Tabela 12. Fluxo de caixa do Cenário 2 – Ano 14 ao Ano 20.....	49
Tabela 13. Valor presente líquido para o Cenário 2.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BCB – Banco Central do Brasil

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CC – Ciclo Completo

CCE – Carbonato de Cálcio Equivalente

Cofins – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CPV – Custos do Produto ou Mercadoria ou Serviço Vendido ou restado

DRE – Demonstrativo do Resultado do Exercício

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IC – Iniciação Científica

PIS – Programas de Integração Social

ICMS – Imposto sobre Comercialização de Mercadorias e Serviços

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

IPI – Imposto sobre Produtos Industrializados

IR – Imposto de Renda

ISS – Imposto sobre Serviços

Lair – Lucro Antes do Imposto de Renda

Lajir – Lucro Antes dos Juros e do Imposto de Renda

Lajirda – Lucro Antes de Juros, Imposto de Renda, Depreciação e Amortização

LSTM – Laboratório de Separações Térmicas e Mecânicas

MS – Massa Seca

SELIC – Sistema de Especial de Liquidação e Custódia

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TJLP – Taxa de Juros de Longo Prazo

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

UCT – Unidade de Crescimento e Terminação

UPL – Unidade de Produção de Leitões

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

amort – Parcela anual a ser paga do financiamento

atm – Atmosferas

ch – Porcentagem de chorume

CH₄ – Metano

CO₂ – Gás carbônico

C_{suínos} – Quantidade de cabeças de suínos presentes na granja

Dej – Dejetos totais produzidos

FC – Fluxo de caixa

i – Taxa de juros

lb – Valor das bombas

lc – Valor do compressor

li – Valor das instalações

lm – Valor do motor

lt – Valor do investimento total

j – Taxa de juros do financiamento

K – Constante universal dos gases

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

L – Litro

m³ – Metro cúbico

m_{cinzas} – Massa de cinzas

m_i – Massa

M_i – Molaridade

n – Número de períodos

P – Pressão

Par – Parcela total a ser paga no ano

Rec – Receita

SD – Saldo devedor do ano anterior

SO₂ – Gás sulfídrico

T – Temperatura

t_{amort} – Tempo escolhido para amortizar o financiamento

tar – Tarifa por kWh

t_{banco} – Tempo total que o banco fornece para quitação da dívida

t_{car} – Tempo de carência que o banco pode fornecer

t_{motor} – Tempo de funcionamento do motor no ano

tx – Taxa de absorção de gás carbônico

V_{biogás} – Volume de biogás produzido

V_{H20} – Volume necessário na mistura da solução de cinzas

V_i – Volume do gás carbônico ou do metano

w – Proporção de massa de cinzas por volume de água

y_i – Fração volumétrica do gás carbônico ou do metano

η – Rendimento do motor

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	14
2.	Revisão da literatura.....	16
2.1.	Biogás.....	16
2.2.	Suinocultura.....	18
2.3.	Cinzas de madeira e carbonatos solúveis.....	20
2.4.	Análise de viabilidade econômica.....	22
2.4.1.	Fluxo de caixa.....	23
2.4.2.	Valor presente líquido (VPL).....	26
2.4.3.	Taxa interna de retorno (TIR).....	27
2.5.	Absorção.....	28
2.6.	Tecnologias disponíveis para conversão em energia elétrica.....	31
2.6.1.	Turbinas a gás.....	32
2.6.2.	Motores de Combustão Interna – ciclo Otto e motor a diesel.....	33
3.	Materiais e métodos.....	35
3.1.	Caracterização da Granja Suruvi.....	35
3.2.	Produção de biogás.....	36
3.3.	Capacidade de produção de biogás.....	37
3.4.	Projeto de absorção.....	37
3.5.	Balanço de massa.....	38
3.6.	Análise econômica.....	39
3.6.1.	Receita.....	39
3.6.2.	Investimentos.....	40
3.6.3.	Custos totais.....	40
3.6.4.	Financiamentos.....	40
3.6.5.	Imposto de renda.....	41

3.6.6. Depreciação	41
3.6.7. Cenários	42
3.6.8. Taxa mínima de atratividade (TMA)	42
3.7. Limitações	42
4. Resultados	44
4.1. Balanço de massa	44
4.2. Cálculos do investimento	45
4.2.1. Cenário 1	45
4.2.2. Cenário 2	48
5. Discussão	51
6. Conclusões e Recomendações	53
6.1. Conclusões	53
6.2. Recomendações	53
7. Referências Bibliográficas	54

1. INTRODUÇÃO

Este projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) visa realizar uma nova etapa do trabalho de Iniciação Científica (IC) realizado no período entre 2011 e 2012 no Laboratório de Separações Térmicas e Mecânicas (LSTM) do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O projeto de IC foi realizado como parte da tese de doutorado da Sandra Lilian Pethö, que possuía como objetivo final a elaboração de uma coluna de absorção de CO₂ para a purificação do biogás, tendo como matéria prima, cinzas de madeira.

Inicialmente, o trabalho de IC teve como objetivo a caracterização das cinzas a partir do método de Carbonato de Cálcio Equivalente (CCE) descrito por Alcarde e Rodella (1996) e o dimensionamento do equipamento inicial para os primeiros testes de absorção com a solução de cinzas, buscando verificar a capacidade de absorção de CO₂ a partir da solução dos carbonatos presentes nas cinzas de madeira.

Nesta nova fase do projeto, a partir dos dados da capacidade de absorção das cinzas, objetiva-se desenvolver uma metodologia de análise da viabilidade econômica do processo e sua posterior aplicação na geração de energia elétrica em fazendas de suinocultura, visando desenvolver uma metodologia de análise e verificar se o projeto de absorção proposto no trabalho de iniciação científica seria viável economicamente.

Para melhor compreensão do assunto, foi necessário fazer um levantamento bibliográfico acerca dos temas concernentes à absorção, à geração de energia e à suinocultura, assim como a metodologia de análise e viabilidade econômica. A partir dos dados de absorção foi estimado o projeto de implementação, seus equipamentos e custos. A discussão girou em torno de dois cenários distintos, um com a etapa prévia de purificação do biogás antes de ser inserido no motor gerador de eletricidade e o outro, sem esta etapa. Tudo isso está relatado nos capítulos 2, 3 4 e 5.

Ressalta-se, no entanto, que os dados de absorção utilizados como base para o presente projeto ainda não são provenientes de uma coluna de absorção, mas sim

de uma célula experimental, carecendo, portanto de uma melhoria da eficiência de absorção a ser obtida com estimativa das melhores condições de operação da coluna de absorção.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Biogás

O biogás é um gás natural resultante da decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos (dejetos animais, resíduos vegetais, lixo industrial e residencial) quando se encontram em condições adequadas, e tem como principais componentes o gás metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Quanto maior a fração de metano, mais energia por unidade de massa o biogás contém. O poder calorífico do metano puro é de 9.100 kcal/m^3 a $15,5^\circ\text{C}$ e o do biogás varia entre 4.800 e 6.900 kcal/m^3 , mas para a sua comercialização, o seu poder calorífico padrão é de 5.500 kcal/m^3 (KAPDI et al., 2005).

A composição do biogás é uma mistura de gases cujo tipo e percentagem variam de acordo com as características do tipo de resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão. Os principais constituintes do biogás são o metano e o dióxido de carbono, no qual biogás é composto em média de 65% de metano, sendo o restante basicamente de dióxido de carbono (CO_2). Outros gases, como sulfeto de hidrogênio, o nitrogênio, hidrogênio e monóxido de carbono também compõe o biogás em menores concentrações. Na Tabela 1, são apresentados os principais componentes que compõem o biogás suas concentrações.

Tabela 1. Composição do biogás

Gás	Símbolo	Concentração no Biogás (%)
Metano	CH_4	50 - 80
Dióxido de carbono	CO_2	20 - 40
Hidrogênio	H_2	1 - 3
Nitrogênio	N_2	0,5 - 3
Sulfídrico e outros	H_2S , CO , NH_3	1 - 5

(Fonte: La Farge, 1979)

O biogás, por ser extremamente inflamável e por possuir em sua maior parte metano, pode ser simplesmente queimado para reduzir a intensificação do aquecimento global. A queima transforma CH_4 em CO_2 , e o CH_4 possui poder estufa 21 vezes maior que o gás carbônico. O ideal, no entanto, é que ele seja aproveitado em sistemas de geração de energia a partir da sua combustão.

Não importa qual a forma de utilização do biogás, sua utilização terá como resultado pelo menos uma das seguintes formas de energia: elétrica, térmica ou mecânica. Quando pelo menos uma dessas formas de energia for útil, o biogás irá proporcionar uma poupança de recursos, com importante valor econômico associado. O uso do biogás gera renda e economias, fato que desperta um crescente interesse por esta tecnologia (SANTOS, 2000).

O principal componente do biogás, quando se pensa em utilizá-lo como combustível, é o metano. Segundo Alves (2000), a presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente uma vez que, presentes na combustão absorvem parte da energia gerada. Um estudo feito por Silva (1983) mostrou que de acordo com a quantidade de metano no biogás o seu poder calorífico aumenta, pois o CO_2 , o outro produto da digestão anaeróbia, é a forma mais oxidada do carbono, não podendo ser mais queimado.

À medida que se eleva a concentração de impurezas, o poder calorífico do biogás torna-se menor. A Figura 1 mostra a relação entre o poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume de metano presente nele.

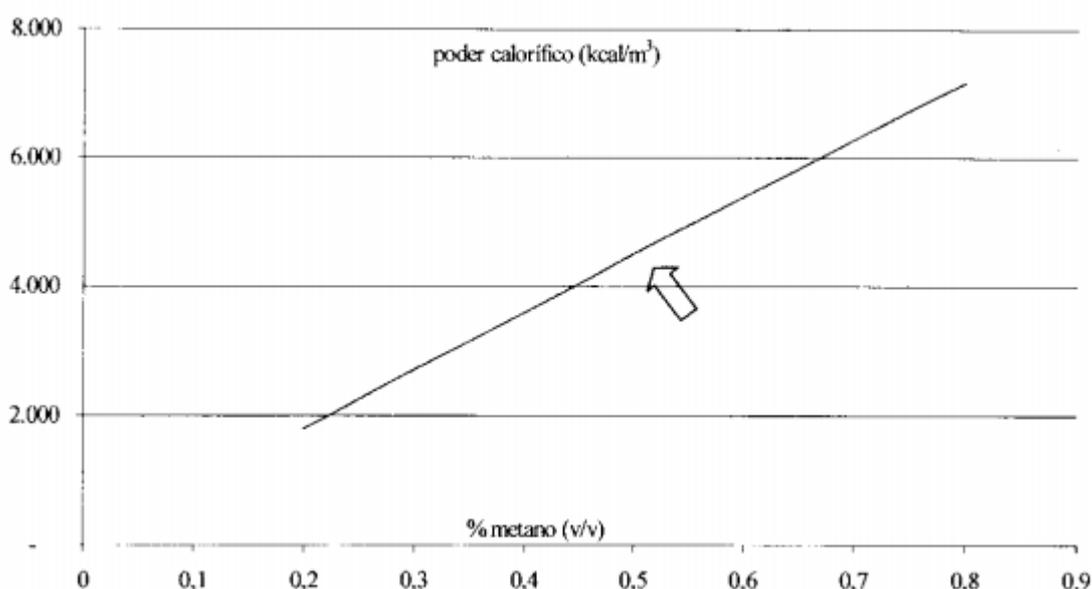


Figura 1. Relação do poder calorífico do biogás e a porcentagem de metano (Fonte: Alves, 2000)

2.2. Suinocultura

Suinocultura é o ramo da zootecnia que trata da criação racional e econômica dos suínos. Inicialmente os suínos eram criados soltos no campo, em grandes cercados, no sistema também chamado de semiextensivo. Na moderna suinocultura, embora existam sistemas onde algumas das fases de criação são feitas ao ar livre, a absoluta maioria das criações ocorre no sistema confinado (ACCS, 2007).

De acordo com Triches (2003), a criação de suínos é dividida em quatro fases: gestação, maternidade, creche e terminação.

A gestação média dos suínos é de 114 dias (três meses, três semanas e três dias). Na criação de suínos tecnificada, a fase de gestação geralmente também abriga as matrizes em retorno de cio, que são as porcas que foram desmamadas e estão aguardando a cobertura para nova gestação (período de 5-10 dias), as leitoas de reposição de plantel e os machos. As matrizes ficam em celas individuais ou baias coletivas. Uma semana antes da data prevista para o parto, são transferidas para a maternidade. Antes de serem transferidas recebem um banho com desinfetante para higienização.

A maternidade é a fase em que as matrizes ficam de uma semana antes do parto até o desmame dos leitões, que geralmente ocorre entre os 21 a 28 dias de idade. As maternidades podem ser gaiolas, também chamadas de celas parideiras ou baias convencionais. Como os leitões necessitam de uma temperatura maior que as porcas, geralmente há uma área exclusiva para os leitões com uma fonte de aquecimento, chamada de escamoteador. É a fase de criação que exige do produtor mais trabalho. Os leitões necessitam de acompanhamento no parto para se evitar mortes por esmagamento e por frio e de cuidados especiais nos primeiros dias como corte de parte da cauda para evitar no futuro canibalismo, aplicação de ferro dextrano-20 para evitar anemias e atenção para evitar diarreias, que podem retardar seu desenvolvimento.

A fase que vai do desmame dos leitões até o atingimento de 25-30 kg (60-70 dias de idade) é denominada creche. Os leitões são transferidos para a creche logo após o desmame, quando geralmente são formados lotes homogêneos pelo tamanho, e permanecem até atingirem o peso de 25-30 kg, quando são transferidos

para a fase de terminação. O período mais crítico dessa fase e que exige maiores cuidados do produtor, são os primeiros dias, pois os leitões sofrem o estresse da perda da mãe e da adaptação ao novo ambiente.

A saída creche (25-30 kg) até o abate (100-110 kg com idade em torno 150-160 dias) é denominada terminação. Tal fase exige do produtor menos mão-de-obra, pois o trabalho consiste basicamente em alimentar os animais 3-4 vezes por dia e limpar as instalações.

Oliveira (2008) classifica as unidades produtivas e três grandes grupos:

a) Ciclo Completo (CC): unidade de produção onde existem todas as fase do ciclo produtivo de suínos do nascimento a engorda.

b) Unidade de produção de leitões (UPL): unidade de produção onde existem somente a fase do ciclo produtivo que compreende os reprodutores, o nascimento dos leitões (maternidade) e crescimento inicial (creche, peso de 6 a 25 kg).

c) Unidade de Crescimento e Terminação (UCT): unidade de produção de suínos com peso compreendido dos 25 aos 100 kg (podendo em alguns casos chegar aos 120 kg).

A quantidade de dejetos média, em litros por dia, pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2. Produção de dejetos por sistema de produção

Tipo de sistema de produção	Produção diária de dejetos (L/dia)
CC	85
UPL	45
UCT	7

(Fonte: Oliveira, 2008)

A suinocultura de maneira geral recebe uma classificação também pela forma como é praticada. É chamada de suinocultura industrial ou comercial, quando praticada por produtores para com a finalidade de comercialização dos suínos e, de suinocultura colonial ou de subsistência que visa, principalmente, o auto

abastecimento da propriedade e utiliza de baixa tecnologia e pouca preocupação com o manejo dos animais (TRICHES, 2003).

Conforme dados do último censo agropecuário realizado pelo IBGE em 2007, com o período de referência sendo 2006, o Brasil é o quarto produtor mundial de suínos contando com cerca de 43,2 milhões de cabeças, apresentando-se com grande potencial de resíduos. Os resíduos rurais incluem todos os tipos gerados pelas atividades produtivas nas zonas rurais, quais sejam: resíduos agrícolas, florestais e pecuários.

Os resíduos da pecuária são constituídos por estercos e outros produtos resultantes da atividade biológica dos bovinos, suínos, caprinos e outros. Antigamente, os dejetos suínos, se apresentavam como sendo uma preocupação ambiental por apresentarem altos níveis de poluição. Atualmente, os dejetos passam por um processo de tratamento em biodigestores, tendo como principais produtos, fertilizantes e biogás.

2.3. Cinzas de madeira e carbonatos solúveis

Com o objetivo de implantar um projeto de utilização do biogás como fonte renovável de energia em pequena escala, é necessária a pesquisa de processos de captura de CO_2 que contemplem o aspecto de sustentabilidade e de uma tecnologia que possa ser aplicada em pequenas instalações, como fazendas de porcos.

Visando uma matéria prima de baixo custo, o presente estudo utiliza cinzas de madeira como fonte de carbonatos para a absorção de CO_2 presente no biogás.

A prática de absorção de CO_2 por resíduos de processos químicos foi pesquisada por Bonenfant et.al. (2008), que utilizaram a lama vermelha, proveniente da indústria de alumínio, como fonte de carbonatos, e Liu e Maroto-Valer (2011), que utilizaram água salobra para a mineralização do dióxido de carbono.

O processo estudado é a absorção com reação química entre metais alcalinos e dióxido de carbono. O sistema está representado na Figura 2, na qual podem ser observadas as interações dos compostos das fases líquida e gasosa.

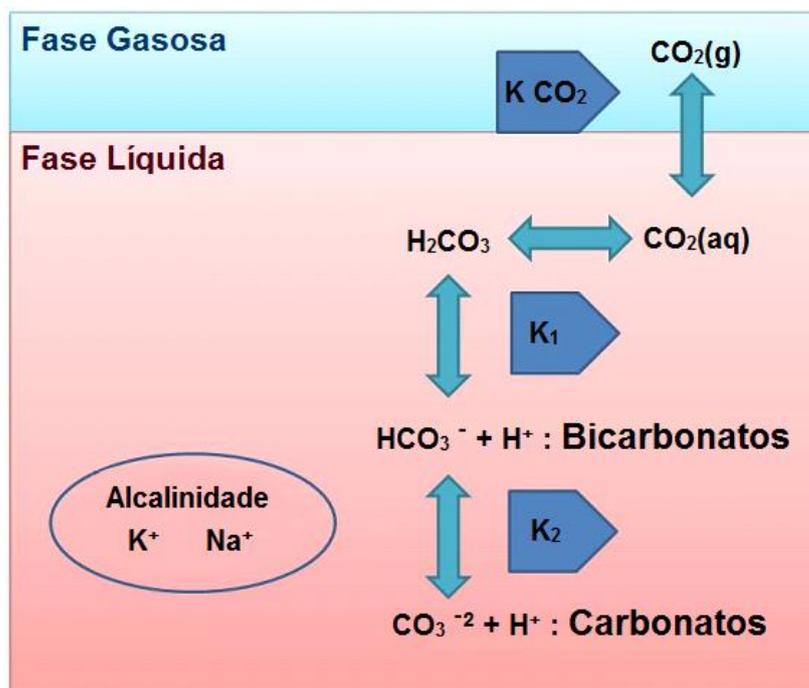


Figura 2. Os carbonatos solúveis em suas diversas fases
(Fonte: adaptado de Al-Anezi e Hilal, 2007)

A operação unitária de absorção visa retirar um ou mais componentes de uma mistura de gases pelo contato direto com um líquido. A força motriz desse tipo de processo de separação é a diferença de solubilidade dos componentes da fase gasosa na fase líquida.

A Figura 3 apresenta o processo de absorção de CO_2 estudado, com as vazões de entrada do biogás e da solução de carbonatos e as de saída do metano e da solução de bicarbonatos provenientes do processo de absorção com reação química.

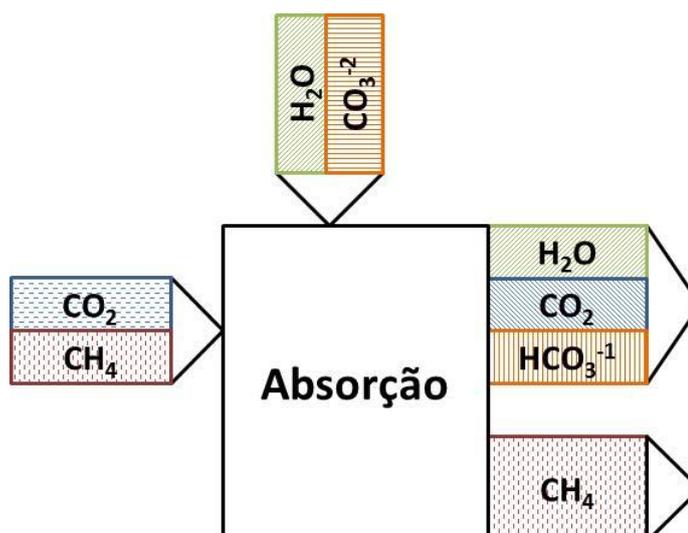


Figura 3. Processo de absorção de CO_2 com solução de carbonatos
(Fonte: Os Autores, 2014)

Legenda:

	Fase
	Líquido
	Líquido
	Líquido
	Gás
	Gás

2.4. Análise de viabilidade econômica

Para que um projeto seja possível, primeiramente ele deve ter viabilidade técnica, isto é, um processo que possa ser realizado com os procedimentos de engenharia e equipamentos disponíveis, porém além das técnicas e ferramentas que a engenharia fornece, é de igual importância analisar a viabilidade econômica, ou seja, avaliar se o investimento será viável, em outras palavras, se ele irá remunerar

adequadamente o capital investido, onde os benefícios finais são maiores que os custos totais gastos.

A engenharia econômica fornece as ferramentas necessárias para tratar de forma sistemática, os problemas de alternativas de investimentos em projetos de engenharia. Os critérios utilizados nos modelos de análise de viabilidade econômica de um projeto de investimento pode ser dividido em dois grupos, os critérios científicos e os critérios empíricos.

Os critérios científicos levam em conta a variação temporal do valor do dinheiro e consideram todos os valores do fluxo de caixa do projeto de investimento. A escolha de qual usar é uma questão de conveniência pessoal, pois eles são necessariamente coerentes e, portanto, equivalentes, isto é, levam necessariamente à mesma decisão.

Os critérios empíricos não consideram a variação do valor no tempo, ou desprezam parte dos valores do fluxo de caixa, ou ambas as coisas. Podem, portanto, não ser coerentes com os critérios científicos.

De acordo com Torres (2006), os critérios científicos relevantes na análise de viabilidade de um projeto são: análise de fluxo de caixa, valor presente líquido e taxa interna de retorno, os quais conseguem definir ao fim da análise se um projeto é economicamente viável.

2.4.1. Fluxo de caixa

O fluxo de caixa é um procedimento estruturado para se poder avaliar a viabilidade de investimentos, sendo suficiente e eficaz na análise de uma oportunidade, na elaboração de um plano de negócios e na visão de pré-viabilidade de um investimento. O fluxo de caixa pode ter sua estrutura dividida em três partes principais (GONÇALVES et al., 2009):

- Demonstrativo ou demonstração de resultado de exercício (DRE);
- Fluxo de caixa do projeto; e,
- Fluxo final de caixa.

2.4.1.1. Demonstrativo do resultado do exercício (DRE)

Segundo Gonçalves et al. (2009), o DRE é basicamente uma forma de chegar ao lucro líquido disponível, a partir da receita bruta obtida pelo investimento. O DRE é composto pelos seguintes elementos:

- **Receita bruta:** Corresponderá à soma de todas as receitas provenientes do investimento relativas ao período avaliado. Por lei, o DRE é elaborado segundo o regime de competência, ou seja, receitas relativas ao período de 2013, por exemplo, somarão ao resultado de 2012, não importando se ocorreram em dezembro de 2013 ou março de 2014, no caso de um pagamento a prazo. Já o regime de caixa utiliza como referência o período em que realmente ocorreu movimento de caixa, ou seja, o instante em que foi efetivamente realizado o pagamento.
- **Imposto sobre a receita bruta:** no Brasil, alguns impostos incidem diretamente sobre a receita bruta. É o caso do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), de competência federal, o Imposto sobre Comercialização de Mercadorias e Serviços (ICMS) estadual, e o Imposto sobre Serviços (ISS), municipal. Também incidem sobre a receita bruta o PIS (Programas de Integração Social) e o Cofins (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social). Deduzidos os impostos sobre a receita bruta da mesma atinge-se a receita líquida.
- **Custos do produto ou mercadoria ou serviço vendido ou prestado (CPV):** são os custos operacionais diretamente envolvidos na tarefa, tais como mão de obra, energia e demais utilidades, transporte, armazenagem e outros. Subtraindo a receita líquida do CPV, obtém-se o lucro operacional, também conhecido como Lajirda ou EBITDA (Lucro Antes dos Juros, Imposto de Renda, Depreciação e Amortização).
- **Depreciação:** é uma despesa sem desembolso, o que significa de forma bastante informal que o uso de um recurso e seu desgaste natural com o tempo retorna de alguma forma para a empresa como um dedutível do Imposto de Renda.

- **Amortização e outros dedutíveis:** essa rubrica serve à entrada de outros dedutíveis como, por exemplo, amortização de uma reserva mineral que se reduz com o tempo, como um campo de petróleo ou uma mina de ouro. Em alguns casos, os juros pagos ao banco durante o período pré-operacional do investimento podem ser deduzidos do imposto de renda posteriormente. Subtraindo-se a depreciação e a amortização do Lajirda, obtém-se o Lucro Antes dos Juros e do Imposto de Renda (Lajir).
- **Juros:** correspondem aos juros de empréstimos realizados para o financiamento do investimento. Subtraindo essa parcela do Lajir resulta o Lucro Antes do Imposto de Renda ou Lair.
- **Imposto de Renda (IR):** o último passo antes de obter o lucro líquido é calcular o valor do IR e contribuição Social sobre Lucros Líquidos, utilizando a alíquota adequada sobre o Lair. Subtraindo do Lair o IR devido, surge o lucro líquido.

2.4.1.2. Fluxo de caixa do projeto

Após a realização do DRE, cuja análise se encontra nos Anexos A e B, temos a elaboração do fluxo de caixa do projeto que possuem entradas, saídas e disponibilidades de capital e capital de giro que não constam no DRE. As entradas do fluxo de caixa do projeto consistem em:

- **Lucro Líquido:** mesmo valor calculado no DRE
- **Empréstimos:** financiamentos ao projeto, caso exista.
- **Depreciação:** como mencionado, a depreciação é um custo sem desembolso, que incide para a redução do impacto do Imposto de Renda e Contribuição sobre o Lucro, mas como não foi efetivamente gasta, retorna ao fluxo nessa etapa.
- **Valor residual do investimento:** quando os equipamentos utilizados não são totalmente depreciados durante o projeto, seu valor residual de revenda ou valor contábil se reflete nessa linha.

No caso das saídas, tem-se:

- **Investimentos:** valores efetivamente gastos para montar e colocar o investimento em operação sejam construções, equipamentos, treinamentos e outros que poderão ocorrer antes ou durante o projeto.
- **Amortização de despesas:** nessa linha vão entrar os pagamentos de amortização do principal dos empréstimos tomados pela empresa para esse projeto.

O capital de giro consiste em um reservatório de capital para garantir a operação do projeto dentro do fluxo de caixa. Constitui-se de capital disponível praticamente de imediato para resolver necessidades imediatas do projeto e garantir que se opere no azul o tempo inteiro, sem precisar contrair empréstimos de curto prazo.

O mecanismo do capital de giro poderá se dar em dois momentos apenas, com um aporte de dinheiro ao fundo de capital de giro no instante inicial do projeto e sua recuperação no final do projeto. Poderá também se alterar em todos os períodos, de forma a garantir, por exemplo, cobertura de 10% dos custos do projeto.

2.4.1.3. Fluxo de caixa final

O fluxo de caixa final é apenas um resumo do fluxo de caixa do projeto, consistindo no valor de entradas e disponibilidades subtraídas das saídas e da variação do capital do giro.

2.4.2. Valor presente líquido (VPL)

Baseado em Gitman (2002), o método do VPL é considerado exato, e consiste em trazer para o tempo presente, após a definição prévia da taxa mínima de atratividade, os valores obtidos a partir de um determinado fluxo de caixa.

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi utilizada como parâmetro de retorno exigido do investimento, sinalizando ao investidor optar ou não pelo mesmo. Sendo assim, a TMA deve ser no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes de menor risco de investimento neste caso foi aplicada a Taxa SELIC (Sistema de Especial de Liquidação e Custódia) líquida, cujo valor, segundo consulta feita no site do Banco Central do Brasil (BCB), era equivalente a 10,90% em junho de 2014. A escolha da taxa SELIC foi motivada pelo fato dela ser o índice

de referência para remuneração em títulos públicos do Governo Federal brasileiro, emitidos pelo Tesouro Nacional e considerados investimentos seguros, com baixo nível de risco.

O VPL é definido como sendo:

$$VPL = \sum FC(1 + i)^{-n}$$

Em que,

FC: Fluxo de caixa

i: taxa de juros

n: número de períodos, em meses

Quanto maior o VPL, maior a atratividade do projeto, porque as entradas são maiores que as saídas de caixa. Considerando que alternativas de investimento são analisadas com base na mesma TMA, a melhor opção será aquela que apresentar o maior valor presente líquido.

2.4.3. Taxa interna de retorno (TIR)

O método de análise pela taxa interna de retorno, também é considerado um método exato, assim como o valor presente líquido. A TIR é obtida a partir da análise projetiva do fluxo de caixa, sendo definida como a taxa de juros que torna nulo o VPL da alternativa analisada, ou seja, a taxa de juros onde as receitas e as despesas se igualam. Desta forma, esta relação de cálculo da taxa interna de retorno, pode ser verificada pela expressão:

$$TIR = \sum FC(1 + i)^{-n} = 0$$

Em que,

FC: Fluxo de caixa

i: taxa de juros

n: número de períodos, em anos

No processo de tomada de decisão, após o cálculo da TIR, deve ser feita a comparação com a taxa mínima de atratividade, a fim de avaliar a aceitação ou não da alternativa. Os investimentos com TIR maior que a TMA são considerados rentáveis e passíveis de análise (GITMAN, 2002).

Conseqüentemente, conclui-se que quanto maior for a taxa interna de retorno da alternativa em análise, maior será o retorno esperado do capital.

Deste modo, pode-se notar que a TMA modifica completamente as conclusões de viabilidade para um determinado investimento, pois segundo alguns autores como Hummel e Taschner (1995), se a TIR for menor do que a TMA, a alternativa deve ser recusada.

No entanto, pequenos investimentos poderão ser aceitos se a TIR apresentar retorno não negativo de rentabilidade. Na prática, administradores financeiros e empresários preferem a TIR ao VPL, pois as taxas de juros são mais fáceis de ser analisadas quando comparadas com outra taxa (TIR) do que um valor monetário (VPL).

2.5. Absorção

Os processos de separação constituem um dos processos da indústria química. Vários processos que se utilizam atualmente são conhecidos há muito tempo, passando apenas por modernizações em função do desenvolvimento associado aos métodos de controle de processos. As operações unitárias de separação são o coração das engenharias de processo e química. O conhecimento e domínio destas operações unitárias sempre foram primordiais para que não houvesse nem perdas de produto, nem desperdícios de energia, preservando a economia do processo.

O deslocamento do soluto é conseguido pela força impulsora na absorção, um gradiente através da interfase gás-líquido, como é mostrado na Figura 4 (DIXON et al., 2012). A absorção consiste em pôr em contato um gás com um líquido para que ao menos um componente da fase gás vá para a fase líquida. Na absorção de gases, o componente difunde-se através da fase gasosa à interfase e da interfase à fase líquida (McCABE et al., 1998).

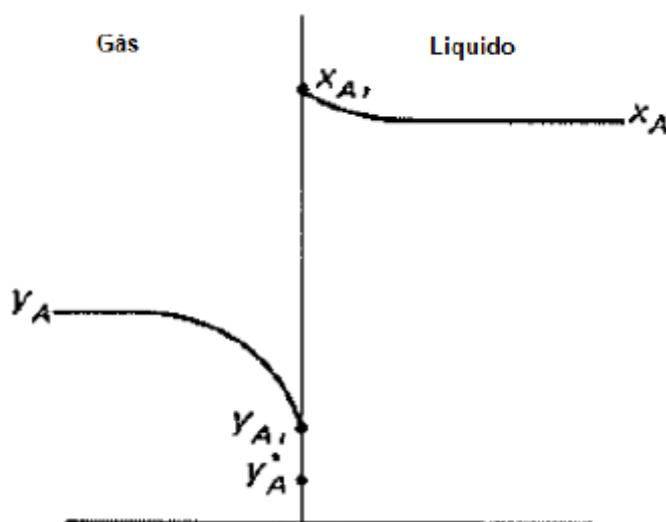


Figura 4. Gradientes de concentração perto da interface líquido-gás
(Fonte: Dixon et al., 2012)

A absorção pode ser física ou química, dependendo das interações do gás com o absorvente. Se forem interações fracas, atuam forças de Van der Waals e London, se forem fortes, atuam forças iônicas ou covalentes, acontecendo uma reação para formar outro composto químico.

Durante o desenho de uma coluna de absorção são considerados muitos aspectos com o fim de alcançar uma máxima transferência de componentes com um mínimo custo, consumo de energia e menor tamanho da coluna, para assim obter a separação de componentes desejada.

O tipo de colunas utilizadas podem ser colunas de pratos (contato descontínuo ou por etapas), ou, colunas preenchidas (contato descontínuo) de um material inerte ou também podem trabalhar vazias. Nos dois casos, utiliza-se a força gravitacional para a fase líquida e o gás em contracorrente (McCABE et al., 1998).

Nas colunas, o gás é introduzido pela parte inferior enquanto a fase líquida é introduzida pela parte superior. A fase líquida pode ser um dissolvente puro ou uma solução, a qual se distribui sobre o enchimento inerte por meio de um distribuidor ideal para ficar molhando a superfície do enchimento. A fase gasosa que contém o soluto é introduzida por baixo do enchimento e assim pode ascender através do enchimento (McCABE et al., 1998).

O soluto contido no gás é absorvido pelo líquido, o qual vai descendo pela coluna aumentando assim sua concentração em soluto. Ao mesmo tempo, o gás ascende e vai diminuindo sua concentração de soluto (McCABE et al., 1998).

Essa operação unitária utiliza-se para recuperar produtos de correntes gasosas com fins de produção. Normalmente usa-se para a produção industrial de soluções ácidas ou básicas em água, ou recuperar gases ácidos (H_2O , SO_2 , CO_2).

Além da recuperação para produção, utiliza-se a absorção para o controle de emissões contaminantes da atmosfera, retendo assim, as substâncias contaminantes (compostos de SO_2 , clorados, fluorados).

Muitos processos industriais de absorção acontecem com uma reação química, como por exemplo para eliminar gases ácidos tipo H_2O , CO_2 ou SO_2 , com água, soluções de hidróxidos alcalinos ou etanolamidas. Outro uso é para a secagem dos gases, por meio da eliminação de vapor d'água.

A absorção seguida de uma reação química na fase líquida utiliza-se com frequência para obter uma separação ou recuperação ainda mais completa de um soluto (McCABE et al., 1998).

A absorção acontece quando em um ponto da coluna produz-se o contato de um gás com um líquido nas condições de não-equilíbrio. Isso favorece a transferência de matéria em contra do gradiente de pressões existentes. Nas absorções com reação química a transferência de massa é maior do que as absorções sem reação. Isso acontece por causa do aumento da superfície da área interfacial, aqui a reação pode acontecer nas regiões estática e dinâmica do líquido. A reação na fase líquida reduz a pressão parcial no equilíbrio do soluto na solução, acontecendo um grande aumento da força impulsora da transferência de massa, (McCABE et al., 1998).

De acordo com (PERRY, 1950) as vantagens e desvantagens entre colunas de prato e com recheio são:

- Em colunas que necessitam operações a vácuo, colunas de recheio são preferíveis, já que a perda de carga ao decorrer da coluna é menor do que numa coluna de pratos;

- Colunas de recheio são preferíveis no caso da utilização de líquidos com espuma;
- Colunas de prato são preferíveis quando a operação envolve líquidos com pequenas porções de sólidos que precisam ser removidos periodicamente. Pois, com espaçamentos consideráveis, é possível a realização da limpeza;
- O peso total de uma coluna de pratos, normalmente, é menor do que uma coluna de recheio, dimensionadas para o mesmo objetivo;
- Colunas de prato são preferíveis quando o processo de absorção é realizado de forma intermitente a temperaturas maiores ou menores do que a temperatura ambiente. Dilatações ou contrações, sob certas circunstâncias, podem danificar a coluna;
- Serpentinhas de resfriamento são mais fáceis de serem instaladas em pratos, tornando a coluna de pratos preferíveis quando é necessário remover uma grande quantidade de calor da solução;
- Colunas de pratos são preferíveis para operações que requerem um grande número de unidades de transferência ou pratos teóricos, pois não apresentam caminhos favoráveis como apresentados nas colunas de recheio, diminuindo a transferência de massa;
- Altas taxas de líquido são mais facilmente manuseadas em colunas de prato;
- A construção de colunas de recheio são mais fáceis e baratas quando se utilizam ácidos ou soluções corrosivas.

2.6. Tecnologias disponíveis para conversão em energia elétrica

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é

convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica.

O biogás poder ser utilizado, também, na queima direta em caldeiras para cogeração. As turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo ciclo Otto, são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética.

2.6.1. Turbinas a gás

As turbinas a gás para geração estacionária foram desenvolvidas a partir das turbinas usadas em aviação, onde o fluido é o gás da câmara de combustão. São compostas de um compressor de ar, câmara de combustão e turbina. O compressor é acionado pela própria turbina.

Na turbina a gás estacionária, o dimensionamento é feito para que os gases de exaustão da turbina saiam em velocidade baixa, aumentando a geração de energia da turbina e, portanto, gerando um excedente de energia para o gerador (WYLEN, 1995). Há modelos adaptados para a geração com biogás como os da Solar Turbines do Grupo Caterpillar, como mostra a Figura 5.

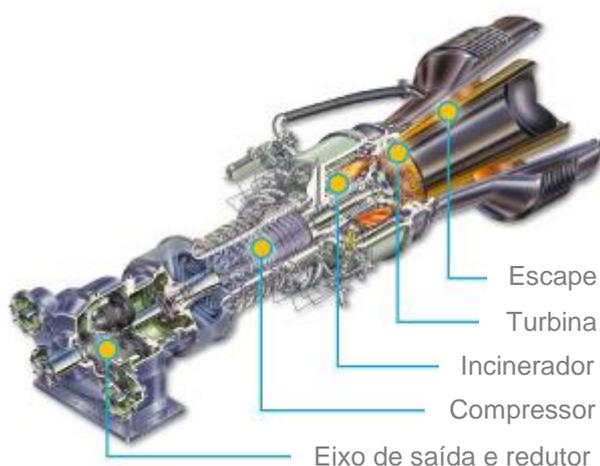


Figura 5. Turbina a gás
(Fonte: Solar Turbines, 2014)

2.6.2. Motores de Combustão Interna – ciclo Otto e motor a diesel

Em 1867, Nikolaus August Otto, um engenheiro alemão, desenvolveu o ciclo Otto de quatro tempos, que é largamente utilizado em transportes até nos dias de hoje.

O motor a diesel surgiu em 1892 com outro engenheiro alemão, Rudolph Diesel. O motor a diesel é projetado para ser mais pesado e mais potente do que os motores a gasolina e utiliza óleo como combustível. Eles são usados em máquinas pesadas, locomotivas, navios e em alguns automóveis. A Figura 6 representa esquematicamente o funcionamento de um motor diesel.

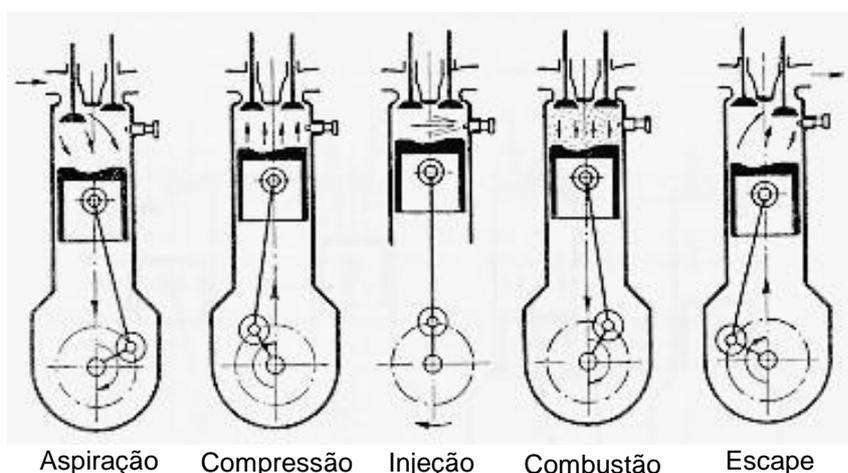


Figura 6. Representação esquemática do funcionamento de um motor a diesel (Fonte: Dante, 2003)

São motores que se aproximam do ciclo de combustão interna da ignição por centelha. Seu rendimento é função apenas da relação de compressão (WYLEN, 1995). Aplicam-se tanto para geração de energia elétrica, pelo acoplamento de um gerador ao motor, quanto à geração de energia mecânica, que pode ser empregada no acionamento de bomba hidráulica, compressor ou veículo.

A diferença básica entre o ciclo Otto e o Diesel está na forma em que ocorre a combustão. No ciclo Diesel, a combustão ocorre pela compressão do combustível na câmara de combustão, enquanto no ciclo Otto, a combustão ocorre pela explosão do combustível através de uma fagulha na câmara de combustão. O ciclo Otto consiste em expansão/resfriamento adiabático, resfriamento a volume constante, aquecimento/compressão adiabática e aquecimento a volume constante. A válvula

de entrada de ar abre no tempo preciso para permitir a entrada de ar (misturado ao combustível) no cilindro. A vela dá ignição na mistura no cilindro, o que cria a explosão. A força da explosão é transferida ao pistão. O pistão desce e sobe em um movimento periódico. A força do pistão é transferida através da manivela para o eixo de transmissão. A Figura 7 mostra o funcionamento de um motor ciclo Otto.

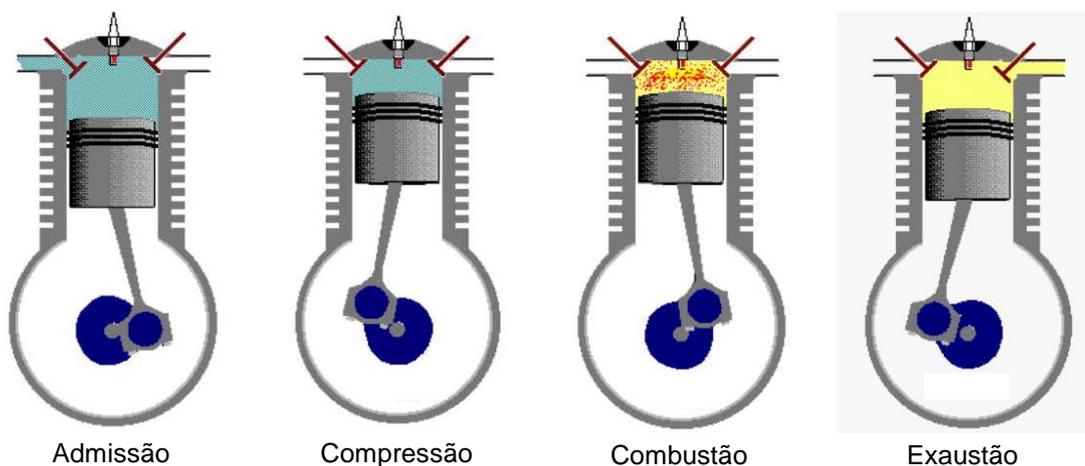


Figura 7. Desenho esquemático do funcionamento de um motor Otto (Fonte: Bertulani, 2002)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Gil (1991) propõe a classificação das pesquisas de acordo com seus objetivos gerais, em três grupos: exploratórias, descritivas e explicativas.

Para o autor, as pesquisas exploratórias têm como objetivo o conhecimento mais profundo do problema, tornando-o mais explícito e construindo hipóteses, aprimorando ideias e descobrindo intuições. As pesquisas descritivas objetivam a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Já as pesquisas explicativas identificam os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Analisando a literatura consultada e o problema em questão no presente trabalho, classifica-se esta pesquisa como sendo de caráter exploratório-descritivo, pois objetivou descrever a etapa de purificação de biogás, bem como realizar um estudo aprofundado da viabilidade econômica de sua implantação no processo de geração de energia elétrica.

3.1. Caracterização da Granja Suruvi

O projeto toma como granja-modelo a Granja Suruvi, localizada na cidade de Concórdia, na região Oeste do Estado de Santa Catarina. A Granja Suruvi, fundada há mais de quatro décadas e de propriedade de Clair e Clóvis Lusa, tem como atividade principal a criação comercial de suínos no ciclo completo, o que abrange desde o nascimento até a engorda do suíno, que normalmente atinge 110 kg, para posterior revenda. (LINDEMEYER, 2008)

Ao contrário de grande parte das granjas de Concórdia, ela não pertence a uma unidade integrada, ou seja, ela não possui vínculo ou compromisso de venda exclusivo para uma cooperativa ou empresa. A granja tem seu principal mercado nos estados de Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo e algumas vendas para Goiás. Em Santa Catarina a região que mais absorve sua produção é do Alto Uruguai Catarinense. (LINDEMEYER, 2008)

A estrutura da granja é composta por três galpões de criação, uma fábrica de rações e quatro instalações civis, incluindo residência do proprietário e armazéns. A população da unidade é de cerca de 2.500 suínos. (LINDEMEYER, 2008)

A população de suínos produz uma média diária de 20 m³ de dejetos, quantidade esta que prevê a geração de uma média de 6 a 8 litros diários por unidade. Devido à grande quantidade de dejetos a ser armazenado, a granja começou a apresentar problemas no gerenciamento dos mesmos. As esterqueiras não comportavam mais a quantidade e com isso geravam uma série de problemas como vazamentos, mau cheiro, além de serem inadequadas frente à atual legislação ambiental. (LINDEMEYER, 2008)

3.2. Produção de biogás

A Granja Suruvi, pode ser caracterizada como uma UCT, tem uma média diária de produção de 7 litros de dejetos por suíno. De acordo com Oliveira (2008), em função do uso de elevadas quantidades de água no processo de limpeza das baias, os dejetos são muito diluídos. Portanto, é necessária a observação da Matéria Seca (MS) e/ou Sólidos Totais (ST), que correspondem de 3 a 8% do total de chorume. Deste percentual, cerca de 70% correspondem aos Sólidos Voláteis (SV), responsáveis diretos pela produção de biogás. Verificado o total de SV presente no composto, aplica-se um fator de 0,45 m³/L de SV, para descobrir a real produção de biogás. Com isso, tem-se como definição:

$$SV = Dej \times ch \times 0,7$$

$$Dej = C_{suínos} \times 7$$

Com Dej sendo os dejetos totais produzidos (L/dia), ch a porcentagem de 3 a 8% do chorume que representa o ST, neste projeto foi utilizado o valor médio de 5%, e C_{suínos} a quantidade de cabeças de suínos presentes na Granja Suruvi.

Dessa forma, é possível calcular o volume de biogás produzido como sendo:

$$V_{biogás} = 0,45 \times SV$$

3.3. Capacidade de produção de biogás

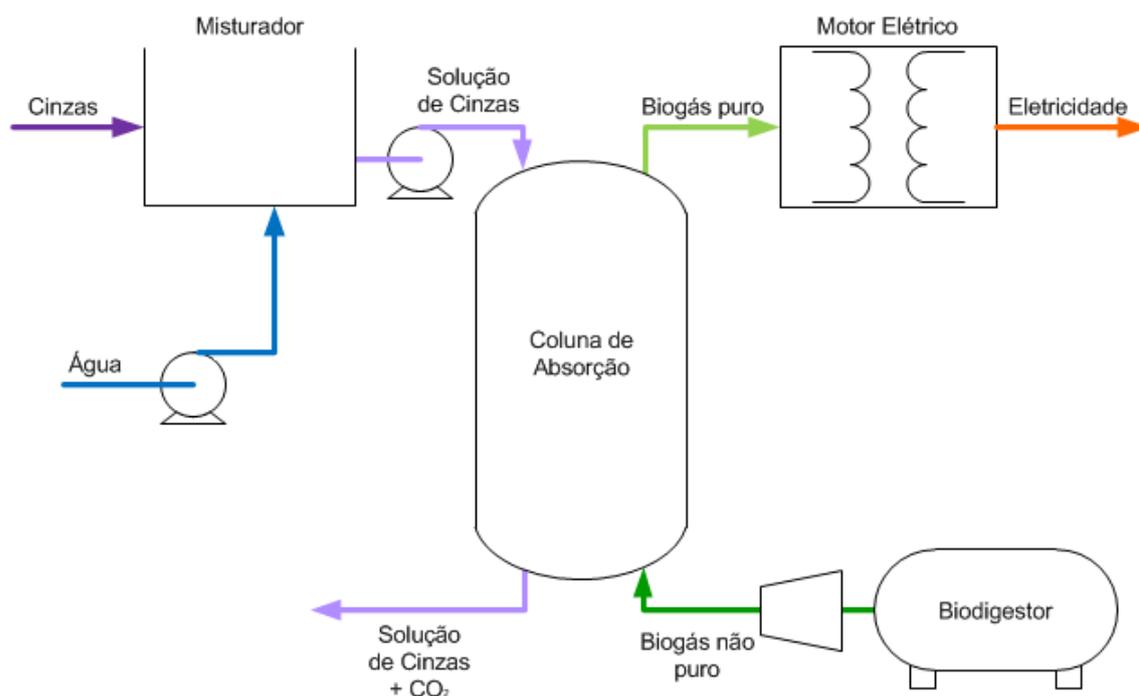
As propriedades de suinocultura variam de pequenas propriedades com capacidade de 100 matrizes, até grandes propriedades com mais de 2500 matrizes. Isso influi na maior ou menor produção de biogás, dado que o índice teórico de produção de resíduo (chorume) é de 7 litros/dia.cabeça (OLIVEIRA, 2008).

De acordo com Santos (2000), 1m³ de biogás equivale a 6,5KWh de energia elétrica, e a eficiência dos sistemas de cogeração variam entre 30 e 38%, ou seja, de 2,0 a 2,5 kWh. Partindo-se desse princípio tem-se que a eficiência de transformação de biogás em energia elétrica é dada pela razão entre a energia produzida pela equivalência de 1 m³ de biogás, ou seja:

$$Eficiência (\%) = \frac{Energia\ produzida\ (kWh/m^3)}{6,5\ (kWh/m^3)} \times 100$$

3.4. Projeto de absorção

Para a previsão dos materiais a serem utilizados no projeto de absorção, foram analisados os trabalhos de Lindemeyer (2008) e Pecora (2006), juntamente com a montagem piloto da coluna de absorção que até a redação deste trabalho estava em fase de testes. Com isso, foi possível estimar a implementação do projeto com o desenho descrito pela Figura 8.



**Figura 8. Desenho esquemático do projeto de absorção
(Fonte: Os Autores, 2014)**

3.5. Balanço de massa

Para o balanço de massa, primeiramente foram calculados os volumes de CO_2 (dióxido de carbono) e CH_4 (metano), presentes no biogás, sendo:

$$V_i = y_i \times V_{\text{biogás}}$$

Sendo que V_i e y_i representam, respectivamente, o volume (m^3) e a fração (%) volumétrica do CO_2 ou CH_4 . Os valores de y_{CO_2} e y_{CH_4} considerados foram, respectivamente, 32% e 67%.

Com estes dados é possível encontrar a massa total de cada componente. Considerando que eles estão no estado gasoso e que foram aproximados para gases ideais, além de que a temperatura e pressão são ambientes (298 K e 1 atm) tem-se a seguinte relação:

$$m_i = \frac{V_i \times M_i \times P}{R \times T}$$

Sendo que m_i , M_i e V_i são respectivamente a massa (g), a molaridade (g/mol) e o volume (L) dos componentes CO_2 ou CH_4 , R a constante universal dos gases [(atm.L)/(mol.K)], P a pressão (atm) e T a temperatura (K) das condições do projeto.

No caso do cálculo para se encontrar a massa de cinzas e o volume de água utilizado no processo, tem-se:

$$m_{\text{cinzas}} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{tx}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{cinzas}}}{w}$$

Em que m_{cinzas} é a massa de cinzas (g), tx é a taxa de absorção de CO_2 (g CO_2 /g cinzas), $V_{\text{H}_2\text{O}}$ é o volume necessário na mistura da solução de cinzas (L) e w é a proporção de massa de cinzas por volume de água (g cinzas/L H_2O).

A taxa tx é de 0,13 g CO_2 /g cinzas e a proporção w é de 400 g cinzas/L H_2O . Tais dados foram obtidos através de ensaios experimentais rodados no LSTM do departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelas alunas Camila Pereira da Mata e Sandra Lilian Pethö.

3.6. Análise econômica

Os cálculos que envolvem a análise econômica incluem os termos do fluxo de caixa, como receita, investimentos, custos totais, imposto de renda, depreciação e amortização.

3.6.1. Receita

A receita com energia elétrica é auferida através da economia com a conta de luz da fábrica. A tarifa por kWh é de cerca de R\$ 0,19, conforme consulta realizada no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Com isso, podemos definir a receita como:

$$Rec = \eta \times t_{\text{motor}} \times tar$$

Sendo Rec a receita (R\$), η o rendimento do motor, variável de acordo com a quantidade de metano no biogás (de 23kW a 28 kW), t_{motor} o tempo de

funcionamento do motor no ano (horas), e tar a tarifa por kWh conforme consulta feita no site da ANEEL (R\$/kWh).

3.6.2. Investimentos

No caso dos investimentos, seu cálculo envolve o valor da aquisição dos equipamentos para o processo assim como materiais e a mão de obra que envolve a instalação dos mesmos. Portanto, podemos definir o investimento total como:

$$It = Ib + Ic + Im + Ii$$

Sendo It o valor do investimento total (R\$), Ib o preço das bombas (R\$), Ic o valor do compressor (R\$), Im o valor do motor (R\$) e Ii o valor das instalações (R\$).

3.6.3. Custos totais

Os custos são divididos em custos fixos e variáveis que incluem os gastos com manutenção, operação e de materiais. Estudos realizados por Azevedo e Júnior (2001) em motores elétricos movidos a gás natural e biogás, estes gastos ficavam em torno de 7% do investimento de projeto. Valor adotado neste caso.

3.6.4. Financiamentos

Muitos bancos fornecem formas de financiamento que variam de acordo com os fins de cada projeto. Neste caso foram utilizados os dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), por apoiar empreendimentos e também por apresentar juros menores que outros bancos. Realizando uma consulta com o banco, para projetos com objetivos atrelados a eficiência energética, os financiamentos são compostos pela Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) mais o spread de 4% ao ano. Para o projeto em questão foi considerado um TJLP de 6% com spread de 5%, chegando ao valor de juros para o empréstimo de 11%.

O cálculo da parcela de financiamento é dividido em duas partes como demonstra a fórmula:

$$Par = j + amort$$

Sendo Par , a parcela total a ser paga no ano ($\$$), j a taxa de juros do financiamento ($R\$$) e $amort$ a parcela anual a ser paga do financiamento ($R\$$). Estes termos podem ser definidos como:

$$j = 0,11 \times SD$$

$$amort = It/t_{amort}$$

Onde SD é o saldo devedor do ano anterior e t_{amort} é a quantidade de anos que foi escolhida para amortizar o financiamento. O cálculo do tempo de amortização pode incluir o tempo de carência, que é um tempo que o banco fornece para adiar o início do pagamento das parcelas de amortização, ou seja:

$$t_{amort} = t_{banco} - t_{car}$$

Onde t_{banco} é o tempo total que o banco fornece para quitação da dívida (anos) e t_{car} é o tempo de carência que o banco pode fornecer (anos).

3.6.5. Imposto de renda

A energia elétrica gerada na Granja é utilizada para consumo próprio, não sendo comercializada. Portanto, a receita auferida pelo projeto é decorrente da economia de energia elétrica, que deixa de ser comprada. Assim, não cabe incidência de impostos, pois o lucro auferido é nada mais que o fluxo de caixa preservado, que deixou de transferido da granja para a concessionária de energia elétrica da região.

3.6.6. Depreciação

Como demonstrado na revisão bibliográfica, a depreciação dos equipamentos é utilizada para a redução do impacto do Imposto de Renda e Contribuição sobre o Lucro. Como neste caso não há IR, a depreciação não será utilizada nos cálculos do fluxo de caixa.

3.6.7. Cenários

Para a realização da avaliação econômica, foram considerados dois possíveis cenários. Eles se diferem pela utilização ou não da coluna de absorção, o que acaba influenciando alguns fatores nos cálculos.

De acordo com a fabricante Capstone, o motor de 30 kW, funciona com uma conversão média de 25 kW, tendo uma máxima de 28 kW e uma mínima de 23 kW. Além disso, a fabricante determina que o biogás deve apresentar uma porcentagem em volume de metano de 30 a 100%, demonstrando que é possível a utilização do biogás sem a necessidade da etapa de purificação.

Com isso temos os cenários apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos cenários analisados na viabilidade econômica

Componentes	Cenário 1	Cenário 2
Coluna de absorção	com	Sem
Quantidade de CH ₄ no biogás (% em volume)	> 70%	67%
Eficiência do gerador (Capstone 30kW)	28 kW	25kW
Custo de mão de obra	maior	Menor
Custo de operação e manutenção	maior	Menor

(Fonte: Os Autores, 2014)

3.6.8. Taxa mínima de atratividade (TMA)

De acordo com o BNDES, TMA é a taxa média de retorno preconizada para investimentos em infraestrutura, especialmente empreendimentos energéticos, e varia entre 10 e 16%. Estes valores foram assumidos para análise econômica do projeto.

3.7. Limitações

Esta pesquisa foi baseada no projeto da tese de doutorado da aluna Sandra Lilian Pethö, que possui como objetivo a elaboração de uma coluna de absorção utilizando cinzas de madeira. No entanto, até a redação desta monografia, estava em fase de testes, não havendo dados suficientes para dimensionar e avaliar o

desempenho da coluna de absorção. Sendo assim, os dados tomados como base para a análise econômica são provenientes de uma célula experimental.

Vale ressaltar, ainda, que o projeto da coluna tem como objetivo ser um investimento de baixo custo, tornando a estimativa do valor de investimento focada nos equipamentos com maior valor agregado (bombas, misturadores, compressores e motor de conversão de biogás em energia elétrica), assim como a mão de obra necessária como os custos de implantação, transporte, seguros, taxas, instrumentação e controle, obras civis, montagem, entre outros.

No que tange aos dados econômico-financeiros, salienta-se que foram realizadas projeções para um período de 20 anos; portanto, a análise foi baseada somente neste universo temporal.

Outra limitação deste trabalho diz respeito ao setor de suinocultura, sendo o estudo focado na geração de eletricidade neste setor, e por isso não pode ser generalizado para todos os demais.

4. RESULTADOS

4.1. Balanço de massa

A partir dos materiais e métodos apresentados, chegou-se à seguinte base de cálculo, mostrada na Tabela 4.

Tabela 4. Base de cálculo do cenário

Descrição (Símbolo)	Unidade	Valor
Taxa de absorção (tx)	g CO ₂ /g cinzas	0,13
Proporção (w)	g cinzas/L H ₂ O	400
Pressão (P)	atm	1
Temperatura (T)	K	298
Constante universal dos gases (R)	atm.L/(mol.K)	0,082
Quantidade de suínos (C)	cabeças	2500
Produção diária de dejetos	L dej/(cabeça.dia)	7
Produção diária total de dejetos (Dej)	L dej/dia	17500
Sólidos Voláteis (SV)	L dej/dia	612,5
Produção diária de biogás (V _{biogás})	m ³ biogás/dia	275,625
Funcionamento diário	horas/dia	10
Massa molar gás carbônico (M _{CO2})	g/mol	44
Massa molar metano (M _{CH4})	g/mol	16
Proporção gás carbônico no biogás (y _{CO2})	% em volume	0,35
Proporção metano no biogás (y _{CH4})	% em volume	0,65

(Fonte: Os Autores, 2014)

A partir da base de cálculo e levando-se em conta os cenários da Granja Suruvi e do trabalho de IC, foram obtidos os seguintes resultados, tomados como valores de entradas do processo e apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores de entradas do processo

Descrição (Símbolo)	Unidade	Valor
Produção diária de biogás (V _{biogás})	m ³ /dia	275,625
Massa diária de gás carbônico (m _{CO2})	kg/dia	158,81
Massa diária de metano (m _{CH4})	kg/dia	120,92
Massa diária de cinzas (m _{cinzas})	kg/dia	1221,65
Volume diário de água (V _{H2O})	L/dia	3054,13

(Fonte: Os Autores, 2014)

Estes cálculos foram necessários para se estimar o preço dos equipamentos necessários para o projeto.

Vale ressaltar que a quantidade de cinzas obtidas nessa estimativa é bastante elevada, aproximadamente 1,2 tonelada por dia. Indústrias com capacidade de produção de 10 toneladas por dia de celulose geram, aproximadamente, 0,8 toneladas de cinzas (NOLASCO et al., 2000); quantidade esta menor do que é requerida no processo. Isso se deve à pequena taxa de absorção de CO₂ pelas cinzas, de apenas 0,13 g CO₂/g cinzas.

4.2. Cálculos do investimento

Como já mencionado, o projeto da coluna de absorção é de baixo custo, portanto a estimativa do custo de investimento levou em consideração apenas os equipamentos com maior valor agregado e a mão de obra necessária.

O resultado do investimento total necessário para o projeto foi dividido em dois cenários, considerando a eficiência da conversão em energia elétrica.

Os valores dos equipamentos componentes da planta foram orçados com três diferentes fornecedores de renome, e foram considerados os menores valores para a construção dos cenários. Entretanto, por questões de sigilo de informações, não puderam ser divulgadas as fontes.

Os resultados para a análise dos cenários é centrada nos dados relevantes para a análise, como o fluxo de caixa final e o VPL e TIR, tendo dados mais detalhados nos Apêndices A e B.

4.2.1. Cenário 1

4.2.1.1. Fluxo de caixa

Os resultados a seguir são referentes às projeções financeiras dos vinte primeiros anos dos investimentos no processo de geração elétrica, utilizando biogás proveniente de dejetos de suínos, para o Cenário 1 (com a etapa prévia de purificação).

A Tabela 6 apresenta o fluxo de caixa referente ao período do ano 0 até o ano 6; a Tabela 7, do ano 7 ao ano 13; e a Tabela 8, do ano 14 ao ano 20.

Tabela 6. Fluxo de caixa do Cenário 1 – Ano 0 ao Ano 6

Fluxo de caixa - Cenário 1							
Anos	0	1	2	3	4	5	6
Entradas	85550,0	-876,1	-321,4	1210,5	2780,7	4391,9	6046,6
Lucro Líquido	0,0	-876,1	-321,4	1210,5	2780,7	4391,9	6046,6
Empréstimos	85550,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saídas	0,0	0,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0
Amortização	0,0	0,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0
Pontual	85550,0	-876,1	-8876,4	-7344,5	-5774,3	-4163,1	-2508,4
Acumulado		-876,1	-9752,5	-17097,0	-22871,3	-27034,4	-29542,8

(Fonte: Os Autores, 2014)

Tabela 7. Fluxo de caixa do Cenário 1 – Ano 7 ao Ano 13

Fluxo de caixa - Cenário 1							
Anos	7	8	9	10	11	12	13
Entradas	7747,7	9498,1	11301,2	13160,4	15079,2	17061,6	18170,6
Lucro Líquido	7747,7	9498,1	11301,2	13160,4	15079,2	17061,6	18170,6
Empréstimos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saídas	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	0,0	0,0
Amortização	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	0,0	0,0
Pontual	-807,3	943,1	2746,2	4605,4	6524,2	17061,6	18170,6
Acumulado	-30350,2	-29407,0	-26660,8	-22055,4	-15531,2	1530,3	19700,9

(Fonte: Os Autores, 2014)

Tabela 8. Fluxo de caixa do Cenário 1 – Ano 14 ao Ano 20

Fluxo de caixa - Cenário 1							
Anos	14	15	16	17	18	19	20
Entradas	19351,6	20609,5	21949,1	23375,8	24895,2	26513,4	28236,8
Lucro Líquido	19351,6	20609,5	21949,1	23375,8	24895,2	26513,4	28236,8
Empréstimos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saídas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amortização	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pontual	19351,6	20609,5	21949,1	23375,8	24895,2	26513,4	28236,8
Acumulado	39052,6	59662,1	81611,2	104987,0	129882,2	156395,7	184632,5

(Fonte: Os Autores, 2014)

4.2.1.2. VPL

Como já mencionado, o cálculo necessário para encontrar o valor do VPL depende de uma taxa de juros, que foi tomado como base o TMA. Neste caso, considerou-se um valor de 12%. Os termos da somatória do VPL são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Valor presente líquido para o Cenário 1

Anos	Fluxo de caixa (R\$)	VPL parcial (R\$)
0	85550,0	-85550,0
1	-876,1	-782,2
2	-8876,4	-7076,2
3	-7344,5	-5227,7
4	-5774,3	-3669,7
5	-4163,1	-2362,3
6	-2508,4	-1270,8
7	-807,3	-365,2
8	943,1	380,9
9	2746,2	990,3
10	4605,4	1482,8
11	6524,2	1875,5
12	17061,6	4379,3
13	18170,6	4164,2
14	19351,6	3959,7
15	20609,5	3765,3
16	21949,1	3580,4
17	23375,8	3404,6
18	24895,2	3237,4
19	26513,4	3078,4
20	28236,8	2927,2
TOTAL	184632,5	-69078,1

(Fonte: Os Autores, 2014)

O VPL calculado para este cenário, ao final do vigésimo ano, é de R\$ - 69078,1. A partir desses valores, pode-se chegar a um TIR de 4,22%.

4.2.2. Cenário 2

4.2.2.1. Fluxo de caixa

Os resultados a seguir são referentes às projeções financeiras dos vinte primeiros anos dos investimentos no processo de geração elétrica, utilizando biogás proveniente de dejetos de suínos, para o Cenário 2 (sem a etapa prévia de purificação).

A Tabela 10 apresenta o fluxo de caixa referente ao período do ano 0 até o ano 6; a Tabela 11, do ano 7 ao ano 13; e a Tabela 12, do ano 14 ao ano 20.

Tabela 10. Fluxo de caixa do Cenário 2 – Ano 0 ao Ano 6

Fluxo de caixa - Cenário 2							
Anos	0	1	2	3	4	5	6
Entradas	68000,0	1590,0	2179,6	3555,4	4972,1	6432,2	7938,7
Lucro Líquido	0,0	1590,0	2179,6	3555,4	4972,1	6432,2	7938,7
Empréstimos	68000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saídas	0,0	0,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0
Amortização	0,0	0,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0
Pontual	68000,0	1590,0	-4620,5	-3244,6	-1827,9	-367,8	1138,7
Acumulado		1590,0	-3030,5	-6275,0	-8102,9	-8470,7	-7332,0

(Fonte: Os Autores, 2014)

Tabela 11. Fluxo de caixa do Cenário 2 – Ano 7 ao Ano 13

Fluxo de caixa - Cenário 2							
Anos	7	8	9	10	11	12	13
Entradas	9494,4	11102,7	12766,8	14490,5	16277,6	18132,3	19310,9
Lucro Líquido	9494,4	11102,7	12766,8	14490,5	16277,6	18132,3	19310,9
Empréstimos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saídas	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	0,0	0,0
Amortização	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	0,0	0,0
Pontual	2694,4	4302,7	5966,8	7690,5	9477,6	18132,3	19310,9
Acumulado	-4637,6	-334,9	5631,9	13322,4	22800,0	40932,4	60243,3

(Fonte: Os Autores, 2014)

Tabela 12. Fluxo de caixa do Cenário 2 – Ano 14 ao Ano 20

Fluxo de caixa - Cenário 2							
Anos	14	15	16	17	18	19	20
Entradas	20566,1	21902,9	23326,6	24842,8	26457,6	28177,4	30008,9
Lucro Líquido	20566,1	21902,9	23326,6	24842,8	26457,6	28177,4	30008,9
Empréstimos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saídas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amortização	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pontual	20566,1	21902,9	23326,6	24842,8	26457,6	28177,4	30008,9
Acumulado	80809,4	102712,3	126038,9	150881,7	177339,3	205516,7	235525,5

(Fonte: Os Autores, 2014)

4.2.2.2. VPL

Para o cálculo do VPL no caso do Cenário 2 foram considerados os mesmos valores do Cenário 1, obtendo os resultados apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Valor presente líquido para o Cenário 2

Anos	Fluxo de caixa (R\$)	VPL parcial (R\$)
0	68000,0	-68000,0
1	1590,0	1419,6
2	-4620,5	-3683,4
3	-3244,6	-2309,4
4	-1827,9	-1161,7
5	-367,8	-208,7
6	1138,7	576,9
7	2694,4	1218,8
8	4302,7	1737,8
9	5966,8	2151,7
10	7690,5	2476,1
11	9477,6	2724,6
12	18132,3	4654,1
13	19310,9	4425,6
14	20566,1	4208,2
15	21902,9	4001,6
16	23326,6	3805,1
17	24842,8	3618,2
18	26457,6	3440,5
19	28177,4	3271,6
20	30008,9	3110,9
TOTAL	235525,5	-28521,8

(Fonte: Os Autores, 2014)

O VPL calculado para este cenário, ao final do vigésimo ano, é de R\$ - 28521,8. A partir desses valores, pode-se chegar a um TIR de 8,2%.

5. DISCUSSÃO

Analisando os resultados dos cenários propostos, pode-se observar que, nos dois casos, o TIR encontrado (4,22% para o Cenário 1 e 8,2% para o Cenário 2) é menor que o TMA proposto, que foi de 12%. Mesmo se fosse considerado o menor valor de TMA sugerido pelo BNDES (10%), ainda ter-se-ia um TIR menor. Como a análise destes resultados varia de acordo com o autor, assumindo a teoria de Hummel e Taschner (1995), que considera que nos casos em que o TIR é menor que o TMA o investimento não é considerado rentável, tem-se como conclusão uma inviabilidade econômica para o projeto, independente do cenário. Porém, alguns autores consideram que a comparação do TIR pode ser feita com outras taxas de juros, como a taxa SELIC. Os valores em junho de 2014 apresentavam uma taxa SELIC de 10,90% (site BCB). Com isso, pode-se verificar que a análise nesse caso também se apresenta como sendo inviável.

Além da taxa SELIC, outras taxas de juros poderiam ser analisadas, como o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que em junho de 2014 apresentava o valor de 6,5% (site IBGE). Tal índice poderia ser viável no que se refere ao Cenário 2, mas em termos de análise de investimento, essa taxa não é uma boa base de comparação.

É importante destacar que todos os dados utilizados na análise da viabilidade econômica são baseados em uma célula experimental, que possui como objetivo principal a verificação da capacidade de absorção de CO₂ a partir de solução de cinzas de madeira. Tal fato fornece pouca base de dados para tornar as estimativas de processo confiáveis, como volumes e quantidades de material, assim como os equipamentos utilizados.

Estudos sobre análise da viabilidade econômica de projetos de conversão de biogás em eletricidade em fazendas de suinocultura, como o de Lindemeyer (2008), comprovam a viabilidade econômica do projeto. Porém, deve-se considerar que a análise pode variar de acordo com os dados estimados nos cálculos, sendo importante o maior número possível de dados reais ou bem próximos do real, o que ainda não é possível no projeto atual.

Considerando fatores ambientais, o biogás ainda possui grande importância. Através dos estudos realizados, pode-se perceber que há a utilização dessa fonte renovável para outros objetivos, tendo como principal a queima para geração de créditos de carbono, que em muitos casos pode ser comercializado e o investimento do projeto de queima apresenta valores muito menores do que o apresentado neste trabalho.

Diferentemente de outros trabalhos acadêmicos, encontrados quando foi realizada a revisão bibliográfica, a receita gerada pelos créditos de carbono não foi considerada nesta monografia; pois, além da dificuldade de se estimar o valor adquirido com este tipo de negócio, a simples queima do metano, sem convertê-lo em energia elétrica, já gera créditos carbono. Isso se dá pelo fato de o metano possuir um potencial intensificador do efeito estufa 21 vezes maior que o CO₂. Como os motores conversores de biogás em energia elétrica também trabalham com a queima do metano, o lucro proveniente do crédito de carbono não representa uma receita adicional que coexiste com a implementação do projeto.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Conforme verificado nos Resultados e na Discussão, pode-se afirmar que a geração de energia elétrica a partir do biogás em fazendas de suinocultura, nas condições apresentadas, é econômica e financeiramente inviável, mesmo no caso em que não há a inclusão da etapa prévia de purificação.

6.2. Recomendações

Considerando-se que foi tomado como base de informações os dados provenientes de uma célula de absorção experimental, as estimativas obtidas acarretaram muitas incertezas, o que acaba por diminuir a relevância dos resultados finais. Por outro lado, deve ser levado em conta que a metodologia aqui apresentada possui uma relevância maior do que os dados e resultados propriamente ditos.

Recomenda-se a utilização da metodologia na revalidação da análise econômica, quando o projeto piloto da coluna de absorção for finalizado e dados experimentais mais confiáveis puderem ser obtidos. Além disso, propõe-se uma melhoria da eficiência do processo de absorção, a ser conseguida com estimativa das melhores condições de operação da coluna de absorção.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCS – Associação Catarinense de Criadores de Suínos. **A suinocultura catarinense**. Disponível em: <<http://www.accs.org.br/paginas.php?cod=producao>>. Acesso em 24 de junho de 2014.

ALVES, J. W. S. *Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos*. 142 p. Dissertação de Mestrado - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

AL-ANEZI, K.; HILAL, N. *Scale formation in desalination plants: effect of carbon dioxide solubility*. Desalination, v. 204, p 385–402. 2007.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. *O equivalente em carbonato de cálcio dos corretivos da acidez dos solos*. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 53, n. 2-3, 1996.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em 02 de julho de 2014.

AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M. de; CHAVES, L. I.; NOGUEIRA, C. E. C.; NIEDZIALKOSKI, R. K.; SECCO, D. *Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.17, n.4, p.456–462, 2013.

BCB – Banco Central do Brasil. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp>>. Acesso em 16 de junho de 2014.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Financiamento a empreendimentos (FINEM). Disponível em: <www.bndes.gov.br/bndesfinem>. Acesso em 02 de julho de 2014.

BERTULANI, C. *Projeto de ensino de física a distância*, 2002. Disponível em: <www.if.ufrj.br/teaching/fis2/segunda_lei/segunda_lei.html>. Acesso em 31 [de maio de 2014](#).

BONENFANT et. al. *CO2 Sequestration by Aqueous Red Mud Carbonation at Ambient Pressure and Temperature*. Industrial & Engineering Chemistry Research, v.47, p. 7617–7622, 2008.

DANTE, G. *Introdução ao estudo dos motores alternativos*, 2003. Motores Endotérmicos, Barcelona, 3ª Edição. Hoepli. Ed. Científico Médica, 1982. Disponível em: <http://www.utad.pt/~fsantos/pub-pdf/motalt.pdf>. Acesso em 01 de junho de 2014.

DIXON, D., et al., *Gas Absorption into a Liquid in a Packed Column*. CHE 4002, CEAT Labs, Oklahoma State University. 2012.

GIL, A., C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GITMAN, L. J. *Princípios de administração financeira*. Harbra, 2002.

GONÇALVES, A.; NEVES, C. das; CALÔBA, G.; NAKAGAWA, M.; MOTTA, R. da R.; COSTA, R. P. da. *Engenharia Econômica e Finanças*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2009

HUMMEL, P. R. V.,TASCHNER, M. R. B. *Análise e decisão sobre investimentos e financiamentos: engenharia econômica: teoria e prática*. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 1995.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo agropecuário*. 777p. 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acesso em 20 de julho de 2014.

KAPDI, S.S. et al. *Biogas scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context*. Renewable Energy, v. 30, p. 1195–1202, 2005.

LA FARGE, B. *Le Biogaz – Procèdes de Fermentation Méthanique*. Paris, Masson, 1979.

LINDEMEYER, R. M. *Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LIU, Q; MAROTO-VALER, M. M. Parameters affecting mineral trapping of CO₂ sequestration in brines. **Greenhouse Gases Science and Technology**, v. 01, p. 211–222, 2011.

McCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOTT, P, Operaciones Unitárias en Ingeniería Química, McGraw-Hill Book Company ,4rd ed, 1998.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. p. 386-414. 2000.

OLIVEIRA, P.A.V. **Projeto de biodigestor para produção de biogás em sistema de produção de suínos**. EMBRAPA-CNPISA. Concórdia. 2008.

PECORA, V. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de Energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto Residencial da USP – Estudo de caso*. Dissertação. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PERRY, J. H. Chemical Engineers' HandBook. McGraw-Hill Book Company, 3rd ed, 1950.

SANTOS, P. **Guia Técnico de Biogás**. CCE – Centro para a Conservação de Energia, Portugal, 2000.

SILVA, N. A. **Manual técnico, construção e operação de biodigestor modelo chinês**. 2.ed. Editora EMATER, 90 p . Brasília, 1983.

Solar Turbines. Disponível em: <https://mysolar.cat.com/cda/layout?m=35442&x=7>. Acesso em 01 de junho de 2014.

SOUZA, S. N. M. de; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. *Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura*. UNIOESTE – CCET, Maringá, Paraná, Brasil. Periódicos UEM, Acta Scientiarum Technology. v. 26, n.2, p. 127 – 133. 2004.

TORRES, O. F. F. Fundamentos da engenharia econômica e da análise econômica de projetos. 5^a ed. São Paulo: Thomson Learning. 145 p. 2006.

TRICHES, G. P. **A suinocultura e o desenvolvimento regional: o caso do Alto Vale do Itajaí**. Dissertação (Mestrado). Universidade Regional de Blumenau. Santa Catarina. 108f. 2003.

WYLEN; V. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. Tradução da 4ª edição americana, 1995.

Apêndice A – DRE do Cenário 1

DRE - Cenário 1							
Dados Macroeconômicos	0	1	2	3	4	5	6
Inflação (%)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Receita Bruta		15534,4	16544,1	17619,5	18764,8	19984,5	21283,5
(+) Receita com energia elétrica		15534,4	16544,1	17619,5	18764,8	19984,5	21283,5
Custo Operacional do projeto		7000,0	7455,0	7939,6	8455,6	9005,3	9590,6
Lucro Bruto		8534,4	9089,1	9679,9	10309,1	10979,2	11692,9
(-) Juros sobre o financiamento	-	9410,5	9410,5	8469,5	7528,4	6587,4	5646,3
Lucro Líquido		-876,1	-321,4	1210,5	2780,7	4391,9	6046,6
(+) Depreciação							
(=) Disponibilidade							
(+) Captação de recursos próprio	0,0	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de caixa de empreendimento	-85550,0	-876,1	-321,4	1210,5	2780,7	4391,9	6046,6
(=) Recursos Acumulados	-85550,0	-86426,1	-86747,5	-85537,0	-82756,3	-78364,4	-72317,8
(+) Empréstimo	85550,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) Parcela de amortização	0,0	0,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0
(-) Prestação a ser paga	0,0	9410,5	17965,5	17024,5	16083,4	15142,4	14201,3
Saldo devedor	85550,0	85550,0	76995,0	68440,0	59885,0	51330,0	42775,0

(Fonte: Os Autores, 2014)

DRE - Cenário 1							
Dados Macroeconômicos	7	8	9	10	11	12	13
Inflação (%)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Receita Bruta	22666,9	24140,2	25709,4	27380,5	29160,2	31055,6	33074,2
(+) Receita com energia elétrica	22666,9	24140,2	25709,4	27380,5	29160,2	31055,6	33074,2
Custo Operacional do projeto	10214,0	10877,9	11585,0	12338,0	13140,0	13994,1	14903,7
Lucro Bruto	12452,9	13262,3	14124,4	15042,5	16020,2	17061,6	18170,6
(-) Juros sobre o financiamento	4705,3	3764,2	2823,2	1882,1	941,1	0,0	0,0
Lucro Líquido	7747,7	9498,1	11301,2	13160,4	15079,2	17061,6	18170,6
(+) Depreciação							
(=) Disponibilidade							
(+) Captação de recursos próprio	-	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de caixa de empreendimento	7747,7	9498,1	11301,2	13160,4	15079,2	17061,6	18170,6
(=) Recursos Acumulados	-64570,2	-55072,0	-43770,8	-30610,4	-15531,2	1530,3	19700,9
(+) Empréstimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) Parcela de amortização	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	8555,0	0,0	0,0
(-) Prestação a ser paga	13260,3	12319,2	11378,2	10437,1	9496,1	0,0	0,0
Saldo devedor	34220,0	25665,0	17110,0	8555,0	0,0	0,0	0,0

(Fonte: Os Autores, 2014)

DRE - Cenário 1							
Dados Macroeconômicos	14	15	16	17	18	19	20
Inflação (%)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Receita Bruta	35224,1	37513,6	39952,0	42548,9	45314,6	48260,0	51396,9
(+) Receita com energia elétrica	35224,1	37513,6	39952,0	42548,9	45314,6	48260,0	51396,9
Custo Operacional do projeto	15872,4	16904,1	18002,9	19173,1	20419,3	21746,6	23160,1
Lucro Bruto	19351,6	20609,5	21949,1	23375,8	24895,2	26513,4	28236,8
(-) Juros sobre o financiamento	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lucro Líquido	19351,6	20609,5	21949,1	23375,8	24895,2	26513,4	28236,8
(+) Depreciação							
(=) Disponibilidade							
(+) Captação de recursos próprio	-	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de caixa de empreendimento	19351,6	20609,5	21949,1	23375,8	24895,2	26513,4	28236,8
(=) Recursos Acumulados	39052,6	59662,1	81611,2	104987,0	129882,2	156395,7	184632,5
(+) Empréstimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) Parcela de amortização	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) Prestação a ser paga	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saldo devedor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

(Fonte: Os Autores, 2014)

Apêndice B – DRE do Cenário 2

DRE - Cenário 2							
Dados Macroeconômicos	0	1	2	3	4	5	6
Inflação (%)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Receita Bruta		13870,0	14771,6	15731,7	16754,3	17843,3	19003,1
(+) Receita com energia elétrica		13870,0	14771,6	15731,7	16754,3	17843,3	19003,1
Custo Operacional do projeto		4800,0	5112,0	5444,3	5798,2	6175,0	6576,4
Lucro Bruto		9070,0	9659,6	10287,4	10956,1	11668,2	12426,7
(-) Juros sobre o financiamento	-	7480,0	7480,0	6732,0	5984,0	5236,0	4488,0
Lucro Líquido		1590,0	2179,6	3555,4	4972,1	6432,2	7938,7
(+) Depreciação							
(=) Disponibilidade							
(+) Captação de recursos próprio	0,0	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de caixa de empreendimento	-68000,0	1590,0	2179,6	3555,4	4972,1	6432,2	7938,7
(=) Recursos Acumulados	-68000,0	-66410,0	-64230,5	-60675,0	-55702,9	-49270,7	-41332,0
(+) Empréstimo	68000,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) Parcela de amortização	0,0	0,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0
(-) Prestação a ser paga	0,0	7480,0	14280,0	13532,0	12784,0	12036,0	11288,0
Saldo devedor	68000,0	68000,0	61200,0	54400,0	47600,0	40800,0	34000,0

(Fonte: Os Autores, 2014)

DRE - Cenário 2							
Dados Macroeconômicos	7	8	9	10	11	12	13
Inflação (%)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Receita Bruta	20238,3	21553,8	22954,8	24446,9	26035,9	27728,2	29530,6
(+) Receita com energia elétrica	20238,3	21553,8	22954,8	24446,9	26035,9	27728,2	29530,6
Custo Operacional do projeto	7003,9	7459,1	7944,0	8460,3	9010,3	9595,9	10219,7
Lucro Bruto	13234,4	14094,7	15010,8	15986,5	17025,6	18132,3	19310,9
(-) Juros sobre o financiamento	3740,0	2992,0	2244,0	1496,0	748,0	0,0	0,0
Lucro Líquido	9494,4	11102,7	12766,8	14490,5	16277,6	18132,3	19310,9
(+) Depreciação							
(=) Disponibilidade							
(+) Captação de recursos próprio	-	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de caixa de empreendimento	9494,4	11102,7	12766,8	14490,5	16277,6	18132,3	19310,9
(=) Recursos Acumulados	-31837,6	-20734,9	-7968,1	6522,4	22800,0	40932,4	60243,3
(+) Empréstimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) Parcela de amortização	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	6800,0	0,0	0,0
(-) Prestação a ser paga	10540,0	9792,0	9044,0	8296,0	7548,0	0,0	0,0
Saldo devedor	27200,0	20400,0	13600,0	6800,0	0,0	0,0	0,0

(Fonte: Os Autores, 2014)

DRE - Cenário 2							
Dados Macroeconômicos	14	15	16	17	18	19	20
Inflação (%)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Receita Bruta	31450,1	33494,3	35671,4	37990,1	40459,4	43089,3	45890,1
(+) Receita com energia elétrica	31450,1	33494,3	35671,4	37990,1	40459,4	43089,3	45890,1
Custo Operacional do projeto	10883,9	11591,4	12344,8	13147,3	14001,8	14911,9	15881,2
Lucro Bruto	20566,1	21902,9	23326,6	24842,8	26457,6	28177,4	30008,9
(-) Juros sobre o financiamento	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lucro Líquido	20566,1	21902,9	23326,6	24842,8	26457,6	28177,4	30008,9
(+) Depreciação							
(=) Disponibilidade							
(+) Captação de recursos próprio	-	-	-	-	-	-	-
(=) Fluxo de caixa de empreendimento	20566,1	21902,9	23326,6	24842,8	26457,6	28177,4	30008,9
(=) Recursos Acumulados	80809,4	102712,3	126038,9	150881,7	177339,3	205516,7	235525,5
(+) Empréstimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) Parcela de amortização	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
(-) Prestação a ser paga	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Saldo devedor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

(Fonte: Os Autores, 2014)