



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – UEMG

Dissertação de Mestrado



UFOP

"Estudo da viabilidade econômica do Biogás em Usinas Siderúrgicas"

Autor: Kerlly Oliveira Calixto
Orientador: Pr. Dr. Paulo Santos Assis
Co-Orientador: Pr. Dr. Tateo Usui



Fevereiro de 2016



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – UEMG

Kerlly Oliveira Calixto

"Estudo da viabilidade econômica do Biogás em Usinas Siderúrgicas"

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Processos de Fabricação
Orientador: Prof. Dr. Paulo Santos Assis
Co-Orientador: Prof. Dr. Tateo Usui

Ouro Preto, Fevereiro de 2016.

C154e Calixto, Kerlly Oliveira.
Estudo da viabilidade econômica do Biogás em Usinas Siderúrgicas
[manuscrito] / Kerlly Oliveira Calixto. - 2016.
90f.: il.: color, grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Santos Assis.
Coorientador: Prof. Dr. Tateo Usui.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Engenharia
Metalúrgica. Rede Temática em Engenharia de Materiais.
Área de Concentração: Processos de Fabricação.

1. Siderurgia. 2. Biogás. 3. Gás Natural. 4. Viabilidade Econômica. I.
Assis, Paulo Santos. II. Usui, Tateo. III. Universidade Federal de Ouro Preto.
IV. Título.

CDU: 662.767.2

Catálogo: www.sisbin.ufop.br



REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP - UEMG

Pós-Graduação em Engenharia de Materiais



“Estudo da Viabilidade Econômica do Biogás”

Autora: Kerlly Oliveira Calixto

Dissertação defendida e aprovada, em 25 de fevereiro de 2016, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Paulo Santos Assis (Dr. Ing) - Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Carlos Frederico Campos de Assis (Doutor)
Centro Federal de Ensino Tecnológico de Minas Gerais
Campus Timóteo

Prof. Jorge Luiz Brescia Murta (Doutor)
Universidade Federal de Ouro Preto

Prof. Máximo Eleotério Martins (Mestre)
Universidade Federal de Ouro Preto

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a quem sempre torceu por mim e esteve presente nos momentos mais difíceis dessa longa jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as oportunidades a mim concedidas durante a realização desse trabalho e de muitas outras jornadas até aqui.

À minha mãe, Creuzeni, por todo apoio concedido e por sempre acreditar nas minhas conquistas.

A minha família, que sempre torceu por minhas realizações.

A minha dupla inseparável desde a graduação, Lucas, que desde a graduação sempre esteve comigo, me apoiou e confiou nos meus passos.

Ao meu grande orientador, Pr. Dr. Paulo Santos Assis, que desde a graduação foi um excelente professor amigo dos alunos, me deu oportunidades e me orientou nesse trabalho, sempre me apoiando e dispondo do seu tempo para me ajudar no que fosse preciso.

Ao professor e co-orientador, Tateo Usui, por toda ajuda e oportunidade a mim concedida em Fukuyama-Hiroshima durante meu intercâmbio e estágio no Japão.

Aos professores Jorge Brécia, Frederico Assis e Máximo Martins, por fazerem parte da minha banca de defesa e me ajudaram a construir um trabalho ainda melhor com suas críticas e contribuições.

À Aya, minha Advisor e amiga, que cuidou da minha estadia no Japão e tanto me ensinou sobre siderurgia e cultura japonesa.

Ao Kazumi, pela amizade e dedicação ao meu estágio durante minha estadia no Japão.

Aos mestres, Itavahn e Kojac, por toda ajuda em relação às dúvidas, indicações bibliográficas e auxílio ao programa de simulação.

Aos alunos de IC, Júnio Augusto e Amanda Maia, por sua total dedicação a este trabalho, sem a ajuda de vocês esse trabalho não se realizaria.

A CAPES, pela oportunidade e apoio financeiro, possibilitando que esse trabalho se se realiza.

À REDEMAT pela oportunidade e o apoio de cada funcionário, a jornada foi longa, mas sempre contei com total apoio de uma equipe diferenciada.

.

“As dificuldades são como as montanhas. Elas só se aplainam quando avançamos sobre elas.”

Provérbio Japonês

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iiiv
AGRADECIMENTOS	v
SUMÁRIO	iviii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE NOTAÇÕES	xiv
RESUMO	xii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo Geral	5
2.2 Objetivos Específicos	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 A Biomassa	6
3.2 O Biogás	17
3.2.1 O Ciclo de produção do Biogás	19
3.2.1.1 O Biodigestor	22
3.2.1.1.1 Modelo Indiano	22
3.2.1.1.2 Modelo Chinês	22
3.2.1.2 A produção de Biogás	28
3.3 Processo de Redução e Injeção de Material Auxiliar em Altos-Fornos	29
3.3.1 Alto-forno	29
3.3.2 As regiões de um alto-forno	32
3.3.3 O Processo de Redução	32
3.3.4 Técnica de injeção de carvão pulverizado (PCI)	34
3.3.5 Injeção de materiais alternativos em ventaneiras	36
3.4 O estudo da viabilidade técnica do Biogás	38
3.4.1 Injeção de biogás em ventaneiras de alto-forno e a Temperatura de Chama	39
3.5 O estudo da viabilidade econômica do Biogás	41
3.5.1 A produção de biogás	42
3.5.1.1 Alimentação do Alto-Forno	42

3.5.1.2 Produção Anual de Biogás	42
3.5.1.3 CAPEX e OPEX.....	43
3.5.1.3.1 Investimento inicial	43
3.5.1.3.2 Custos Anuais do Sistema	43
3.5.1.4 Transporte.....	44
3.5.1.4.1 Transporte por gás comprimido (GNC)	44
3.5.1.4.2 Transporte por gasoduto.....	45
3.5.1.5 Depreciação	46
3.5.1.6 Fluxo de Caixa do Projeto	46
4. PARTE EXPERIMENTAL	48
4.1 Estudo de Viabilidade Técnica do Biogás.....	48
4.2 Estudo de Viabilidade Econômica do Biogás.....	52
4.2.1 Levantamento de Custos com o Investimento.....	52
4.2.2 Levantamento de OPEX.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1 Viabilidade Técnica do Biogás em Altos-fornos.....	56
5.1.1 Temperatura de Chama.....	56
5.1.2 Coke-Rate	58
5.2 Viabilidade Econômica do Biogás em Usinas Siderúrgicas.....	60
5.2.1 CAPEX.....	60
5.2.2 OPEX.....	62
5.2.3 Transporte.....	63
5.2.3.1 Transporte Via Gás Comprimido	63
5.2.3.2 Transporte Via Gasoduto.....	65
5.2.3.3 Biogás sem Considerar Transporte.....	68
5.2.4 Receita	70
5.2.5 Custo de Produção por Metro Cúbico de Biogás	72
5.2.6 Fluxo de Caixa para as Situações Propostas.....	73
5.2.6.1 Fluxo de Caixa para Considerando Transporte Térreo.....	73
5.2.6.2 Fluxo de Caixa para Considerando Transporte por Gasoduto.....	74
5.2.6.3 Fluxo de Caixa sem Considerar despesas com Transporte	76
6. CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXO A.....	87
ANEXO B	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Emissões Brutas de Gases do Efeito Estufa em milhões de toneladas de CO ₂ -equivalente. Fonte: Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Brasil – Observatório Clima, 20015.	7
Figura 2: Emissão de Gases Efeito Estufa no Mundo e principais países emissores. Fonte: UOL (http://folhagospel.com/modules/news/article.php?storyid=31610) adaptado. Acessado em 19/01/2016.	9
Figura 3: A evolução da estrutura da oferta de energia de 1970 a 2030. Fonte: (TOLMASQUIM et al, 2007).....	11
Figura 4: Exemplos de Fontes de Biomassa. Fonte: http://focusolar.com.br/o-que-e-biomassa/ . Retirada em 17/01/2016.	13
Figura 5: Participação das fontes de geração de energia no País em dezembro de 2014. Fonte: http://www.aben.com.br/revista-brasil-nuclear/edicao-n-42/capa_1 . Acessado em 17/01/2016.	15
Figura 6: Matriz energética do Brasil – Cenário revolução energética para 2050. Fonte: https://fomatheus.wordpress.com/2015/02/10/matriz-energetica-brasileira/ . Acessado em 20/01/2016.....	16
Figura 7: Ciclo de Produção de Biogás. Fonte: Souza et al, 2014.	18
Figura 8: Biodigestor Tipo Indiano. Fonte: PERMINIO, 2013.....	20
Figura 9: Distribuição dos principais rebanhos bovinos, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Fonte: USDA. Elaboração Scot consultoria – www.scotconsultoria.com.br . Acessado em 12/02//2015	21
Figura 10: Efetivo de bovinos no Brasil 2009-2011. Fonte: http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=819&cod_menu=817&tipo_menu=ECONOMIA&cod_conteudo=1580 . Acessado em 20/01/2016.....	22
Figura 11: (a) Representação tridimensional em corte mostrando o interior do biodigestor Indiano. (b) Vista frontal em corte do biodigestor com realce para os elementos fundamentais para sua construção. (Deganutti et. al, 2015).	24
Figura 12: (a) Representação tridimensional em corte mostrando o interior do biodigestor Chinês. (b) Vista frontal em corte do biodigestor com realce para os elementos fundamentais para sua construção. (Deganutti et. al, 2015).	25

Figura 13: Etapas da Produção de um biodigestor. Fonte: Ferling, 2003.	27
Figura 14: O alto-forno e suas instalações anexas. Fonte: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAOeAAJ/fundentes-na-siderurgia . Acessado em 13/02/2016.	30
Figura 15: Corte vertical de um Alto-Forno (Fonte: http://www.eeimvr.uff.br/psmetal.htm). Acessado em 15/05/2015.	31
Figura 16: Diagrama de Chaudron (Oxi-redução). Fonte: JÚNIOR, 2012. Acessado em 02/04/2015.	33
Figura 17: Injeção de carvão pulverizado através das ventaneiras. Fonte: MOSCKEM, 2010.	36
Figura 18: Figura sintetiza parte da cadeia do biogás: da produção em reator de digestão anaeróbica até o uso como combustível em alto-forno siderúrgico, uma das aplicações da tecnologia. Fonte: https://www.ufmg.br/boletim/bol1747/5.shtml . Acessado em 05/05/2015.	39
Figura 19: Representação de uma zona de combustão de um alto-forno. Fonte: http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/93305/mod_resource/content/1/altoforno%20proc%20met.pdf Retirado em 04/03/2015.	41
Figura 20: Esquemática do transporte de gás via GNC. Fonte: BENDEZÚ, 2009.	45
Figura 21: Vista esquemática do gasoduto. Fonte: Bendezú, 2009.	45
Figura 22: Fluxo de Caixa. Fonte: PAMPLONA E MONTEVECHI, 1999.	47
Figura 23: Matérias-primas - Simulação Computacional feita em AFA_1.	49
Figura 24: Gases de Injeção - Simulação Computacional feita em AFA_1.	49
Figura 25: Demonstrativo de resultado/Fluxo de caixa.	54
Figura 26: Relação Coke Rate x Fuel Rate com injeção de BG e GN.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do Biogás. Fonte: HOSSEINI et al, 2013.	19
Tabela 2: Teores de sólidos totais e voláteis e produção de biogás por kg estrume, por kg sólidos totais (ST) adicionados e por kg de sólidos voláteis (SV) adicionados e reduzidos, no afluente e nos efluentes dos biodigestores modelo Indiano e Chinês, nos tempos de retenção hidráulica de quarenta, trinta e vinte dias. Fonte: AMARAL ET AL, 2004.	29
Tabela 3: Injeção de gás natural nos altos-fornos da Cosipa em 1997. Fonte Adaptada: Cavaliero, 2000.	37
Tabela 4: Emissão de CO ₂ da COSIPA em 1997. Fonte: CAVALIERO, 1998.	37
Tabela 5: Composição e massa de coque para produzir 1 tonelada de gusa	50
Tabela 6: Composição e massa de minério para produzir 1 tonelada de gusa	50
Tabela 7: lista de Materiais especificados para a instalação de um biodigestor. Fonte: Anexo B	53
Tabela 8: Relação Temperatura de Chama e Coke-Rate sem Temperatura de chama fixa e sem auxílio de oxigênio na injeção.	57
Tabela 9: Relação Temperatura de Chama e Coke-Rate com temperatura de chama fixa.	57
Tabela 10: Experimento com Injeção de Material Auxiliar	58
Tabela 11: CAPEX do projeto de uso de biogás.	61
Tabela 12: OPEX do projeto de uso de biogás.	62
Tabela 13: Despesas com Mão de Obra	62
Tabela 14(a): Frete de Biogás via gás comprimido.	64
Tabela 14(b): Frete de Biogás via gás comprimido.	65
Tabela 15: Preço do Gás Natural para fornecimento industrial. Fonte: Gasmig. Acessado em 03/01/16.	66
Tabela 16(a): Frete via Gasoduto	67
Tabela 16(b): Frete via Gasoduto	68
Tabela 17(a): Opex do Biogás sem considerar transporte	69
Tabela 17(b): Opex do Biogás sem considerar transporte	70
Tabela 18(a): Receita gerada pela produção de Biogás anual (54.000.000m ³ /ano).	71
Tabela 18(b): Receita gerada pela produção de Biogás anual (54.000.000m ³ /ano).	72
Tabela 19: Custo de produção por metro cúbico de biogás.	72

Tabela 20(a): Fluxo de Caixa considerando transporte por via térrea.....	73
Tabela 20(b): Fluxo de Caixa considerando transporte por via térrea.	73
Tabela 21(a): Fluxo de Caixa considerando transporte por via gasoduto.	75
Tabela 21(b): Fluxo de Caixa considerando transporte por via gasoduto.	75
Tabela 22(a): Fluxo de caixa sem considerar despesas com transporte	76
Tabela 22(b): Fluxo de caixa sem considerar despesas com transporte	77

LISTA DE NOTAÇÕES

(a) - altura da caixa de entrada;

Bi - Benefício do projeto, em unidades monetárias, no ano i;

BG - Biogás;

C - Carbono;

Cal - Calorias;

Cf - Calor final do ativo, R\$;

Ci⁽¹⁾ - Custo do projeto, em unidades monetárias, no ano i;

Ci⁽²⁾ - Custos de materiais depreciables, R\$;

CH₄ - Metano;

CO₂ - Dióxido de Carbono;

CO - Monóxido de Carbono;

CM - Custos com materiais e equipamentos, R\$;

D - Depreciação anual, R\$ ano-1;

Di - diâmetro interno do biodigestor;

Dg - diâmetro do gasômetro;

Ds - diâmetro da caixa de saída;

Ds - diâmetro interno da parede superior;

De - diâmetro da caixa de entrada;

(e) - altura de entrada do cano com o afluente.

GTC - Gas-to-Commodity. Produtos básicos como o alumínio, vidro, tijolos, cimentos e barras de ferro requerem grandes quantidade de energia em sua fabricação. Com o GTC, o gás é convertido para potencia térmica ou elétrica, que é depois usada na produção do artigo, que

depois é vendido, no mercado aberto. É a energia do gás, o calor através de eletricidade ou a combustão direta, e não os componentes, tal como se descreve para a GTL.¹

GTL - Gas to Liquids (Gás para Líquidos). É a conversão desse gás em outros produtos (hidrocarbonetos líquidos estáveis), a partir de processos químicos.

GTW - Gas to Wire. O processo de Gas to Wire é caracterizado pela conversão da energia do gás em energia elétrica. Posteriormente, ocorre transmissão de eletricidade gerada para os mercados usando cabos de alta voltagem submersos. É uma tecnologia de transporte do gás, que o utiliza na zona de produção para gerar eletricidade na boca do poço.

H - altura do corpo cilíndrico;

H - altura do nível do substrato;

h1 - altura ociosa (reservatório do biogás);

h2 - altura útil do gasômetro;

H₂S - Gás Sulfídrico

he - altura da caixa de entrada;

Hg - altura da calota do gasômetro;

hf - altura da calota do fundo;

hs - altura da caixa de saída;

HGN - Hidrato de Gás Natural. São substâncias sólidas, semelhantes ao gelo; tanto no aspecto visual como em algumas propriedades. São formados pela combinação física de água e moléculas de gás. O transporte do HGN é feito a temperaturas de 15°C e em condições atmosféricas.

i - Contador de tempo, em anos;

ICP - Injeção de Carvão Pulverizado;

II - Investimento inicial, R\$;

J - Joules;

MO - Custos com mão de obra, R\$;

n - Período de vida útil do investimento, em anos;

N₂ – Gás Nitrogênio

NG – Gás Natural;

Of - centro da calota esférica do fundo;

Og - é o centro da calota esférica do gasômetro;

PAB - Produção anual de biogás, m³ ano⁻¹;

PBE - Payback descontado ou Payback econômico;

PBS - Payback Time ou Payback Simples;

PCI – Pulverized Coal Injection

PDB - Produção diária de biogás, m³ ano⁻¹;

r⁽¹⁾ - Taxa de desconto, %;

r⁽²⁾ - Taxa de juros anuais, % ano-1;

r⁽³⁾ - Taxa interna de retorno, %;

RBC - Relação Benefício-Custo;

RSU - Resíduos sólidos urbanos;

T - disponibilidade anual da planta, dias ano⁻¹;

TIR - Taxa Interna de Retorno;

TMA - Taxa mínima de atratividade;

Vi - Calor total do investimento, R\$;

Vf - Valor final do ativo, R\$;

Vk - Custo de oportunidade do capital, R\$ ano-1;

VPL - Valor Presente Líquido;

Vu - Vida útil, anos.

RESUMO

Nos últimos 100 anos tem se verificado o aumento das emissões de gases poluentes para a atmosfera. O atual desenvolvimento industrial trouxe consigo o acréscimo da poluição, e junto com ela a necessidade de se encontrar formas de mitigação. Países tecnologicamente desenvolvidos como os Estados Unidos e a China são líderes mundiais na produção de gases de efeito estufa. Uma solução encontrada nos últimos anos para reduzir o efeito de estufa foi o uso de materiais orgânicos como fonte de energia alternativa, como por exemplo, o uso da biomassa, que pode ser usada em muitas aplicações, devido a sua capacidade de se transformar em vários tipos de energia, como por exemplo, calor e eletricidade. Este estudo contempla o biogás, que é um tipo de combustível gasoso produzido através da digestão anaeróbia da matéria orgânica. Devido à grande quantidade de metano encontrado na composição de biogás, aproximadamente 70%, ele pode ser comparado com o gás natural, que é um composto gasoso com cerca de 90-100% de metano e é amplamente utilizado na indústria de aço, como combustível auxiliar na produção de ferro-gusa. O estudo do biogás como combustível auxiliar se deve ao fato do biogás possuir características muito semelhantes ao gás natural, sendo assim um caminho para se ganhar ganhos econômicos e ambientais através do seu uso. Diferentes pesquisas no Brasil, onde foram analisadas as emissões de CO₂ para a atmosfera, foi observado um importante papel desempenhado pelo segmento de aços e do setor industrial nacional nas emissões de CO₂, que juntamente com produção pecuária no Brasil, tem ajudado a aumentar ainda mais a taxas de emissão de CO₂. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo entre a injeção de biogás e gás natural, onde se estudou a viabilidade técnica do biogás, em seguida, o principal objetivo, estudar a viabilidade econômica de biogás em usinas siderúrgicas. As simulações de viabilidade técnica foram feitas através de um programa de computador e assim obteve-se a melhor taxa de injeção de biogás para a operação do alto-forno. Para o estudo de viabilidade econômica foi construída uma série uniforme de custos e investimentos e se comparou entre três cenários qual seria o mais viável. Chegou-se a conclusão que o projeto viável seria o cenário onde a fazenda de biogás ficaria ao lado da usina siderúrgica, eliminando os custos com logística.

Palavras-Chaves: Siderurgia, Biogás, Gás Natural, Viabilidade Econômica, Viabilidade Técnica.

ABSTRACT

In the last 100 years the emission of gases into the atmosphere has increased, the industrial development brought pollution thus the necessity to find ways to reduce emissions. Countries like the United States and China are world leaders in the production of greenhouse effect gases. One solution found in recent years to mitigate the greenhouse effect was the use of organic materials as source for alternative energy, for example biomass, which can be used in many applications for its ability to turn on various types of energy, in order to product heat and electricity. This study contemplates the biogas, which is a type of gaseous fuel produced through the anaerobic digestion of organic matter. Due to the large amount of methane found in biogas composition, it can be compared with natural gas, which consists of approximately 90% methane and is widely used in the steel industry as auxiliary fuel in pig iron production. The Biogas is very similar to natural gas in many characteristics, which led us to study the behavior of this gas as auxiliary fuel, trying to get economic and environmental gains. Different researches in Brazil, that analyzed CO₂ emissions, have observed the important role played by the steel segment and national industrial sector in the emissions of CO₂ along with livestock and agriculture production in Brazil, which helps to increase this rate. The objective of this work is to make a comparative study between the injection of Biogas and Natural Gas and then study the economic feasibility of biogas in steel mills. The technical simulation was made through a computer program to achieve the best biogas injection rate for the blast furnace operation. For the economic feasibility study was built a uniform series of costs and investments and compared between three scenarios which one would be the most feasible. The conclusion of this work is that the feasible scenario project is the scenario where the farm is near the metallurgical plant therefore eliminating logistics costs.

Key Words: Steelmaking Biogas, Natural Gas, Economic Feasibility, Technical Viability.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 100 anos ficaram evidentes o avanço tecnológico e o crescimento das indústrias. Foi crescente o número de fábricas e produtos, e conseqüentemente, a ampliação da cadeia logística, que se modernizou para que os produtos chegassem até o consumidor em maior velocidade e agilidade. Junto a esse desenvolvimento, também vieram às complicações para o meio ambiente, pois um número cada vez maior de indústrias acarretou em um menor número de áreas verdes, prejudicando a lei natural do meio ambiente, e logo foi crescente a emissão de gases para a atmosfera.

Podemos dividir em três grandes grupos a classificação dos países campeões em emissão de gás carbônico (CO₂). Existem os países onde a produção de combustíveis fósseis é mais acentuada, nos chamados esses países de petrolíferos, são eles: Emirados Árabes Unidos (37,8 toneladas de CO₂ per capita por ano), Catar (69,2 toneladas de CO₂ per capita por ano), Kuwait (38 toneladas de CO₂ per capita por ano) (CO₂ SÉRIE DE TEMPO, 2015). Essas pequenas nações produtoras de petróleo são recordistas em poluição por habitante (SOUZA, 2015). Existe ainda a lista dos países ricos e industrializados, que são os países nobres, que também emitem altas taxas de CO₂ por habitante, como, por exemplo, os Estados Unidos, que emitem 20 toneladas de CO₂ per capita por ano (SOUZA, 2015). Outro grupo de países também possui grande destaque, quando se fala em emissão de gases poluentes, são os países emergentes e superpovoados, como a China e a Índia, que estão em fase de desenvolvimento, viram a economia crescer e junto com ela a devastação ambiental (SOUZA, 2015).

Países como Estados Unidos, China e Emirados Árabes são líderes mundiais na produção de gases do efeito estufa, e coincidentemente estão entre os países que têm mais acelerado a economia nos últimos anos. Devido à desenfreada evolução tecnológica no início do século 19, o homem esqueceu-se do equilíbrio ambiental e da necessidade da preservação do meio ambiente.

Para tentar diminuir a emissão dos gases do efeito estufa, o mundo tem se voltado para a diminuição da emissão de CO₂, o principal gás do efeito estufa, que é o principal resíduo da indústria de base e das transportadoras.

Uma solução encontrada nos últimos anos para mitigação do efeito estufa foi à utilização de material de fonte totalmente orgânica e que pode ser reciclada. A biomassa pode ser utilizada em diversas aplicações pela sua capacidade de se transformar em vários tipos de energia, como por exemplo, na produção de calor e de eletricidade (The UK Energy Research Centre, 2014).

Na última década, o uso da biomassa para a produção de energia moderna e de biomateriais, cresceu significativamente devido a crescente oposição ao esgotamento das fontes de energia fóssil, associado ao aumento dos preços de energia, e a necessidade de redução da emissão dos gases do efeito estufa (GERSSEN-GONDELACH et al, 2014).

Historicamente, a biomassa tem sido utilizada há anos pelo homem e tem sido sua fonte de abastecimento de energia primária. Em aproximadamente 1850, 85% do abastecimento da energia primária era derivada de biomassa, em contra partida, em 2005, 85% da fonte de energia mundial era oriunda de combustíveis fósseis (SMIL, 2005).

De 1970 a 2030 houve uma clara tendência de diversificação da matriz energética brasileira. Em 1970 apenas duas fontes de energia, petróleo e lenha, respondiam por 78% do consumo, enquanto em 2000 três fontes correspondiam a 74% do consumo: além de petróleo e lenha, a energia hidráulica. Projeta-se para 2030 uma situação em que quatro fontes serão necessárias para satisfazer 77% do consumo: além de petróleo e energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural — com redução da importância relativa da lenha (TOLMASQUIM et al, 2007).

De maneira geral, biomassa é qualquer fonte de material proveniente de material orgânico (planta ou animal), que tem como principal objetivo a produção de energia (MINISTÉRIO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE, 2014). A biomassa pode ser utilizada de maneira pura ou em combinação com combustíveis fósseis, para melhorar a eficiência do processo e

diminuir os resíduos da combustão (The UK Energy Research Centre, 2014). A biomassa pode produzir vários tipos de combustíveis, sendo eles de caráter sólido, líquido ou gasoso.

Esse estudo contempla o Biogás, que é um tipo de combustível gasoso produzido através da digestão anaeróbica de determinados tipos de matéria orgânica que em condições ideais, é constituído por 40-80% de CH_4 e o restante inclui gases como CO_2 , H_2S , O_2 e N_2 (HOSSEINI et al, 2013). A composição do biogás pode variar de acordo com o tipo e a quantidade de biomassa empregada, fatores climáticos, dimensões do biodigestor, entre outros (CERVI et al, 2010). As características físicas do biogás levam em conta os dois principais gases de sua composição, o CH_4 e o CO_2 .

A produção do biogás não é complicada se comparada com as outras formas de produção de energia, e ainda existe a grande vantagem de não possuir limitações geográficas. Para se produzir o biogás é necessário um pequeno investimento inicial para a implantação de biodigestores, que são equipamentos responsáveis pela fermentação anaeróbica do resíduo utilizado para produção do gás. A produção do biogás conta não só apenas com a geração de um gás, mas também com a geração de outros subprodutos, como por exemplo, energia elétrica, adubo ou fertilizantes para a lavoura.

Devido a grande quantidade de metano encontrada na composição do biogás, o mesmo pode ser comparado ao gás natural, que é constituído por aproximadamente 90% de metano e é amplamente utilizado na siderurgia como combustível auxiliar na produção de ferro-gusa e finalidades térmicas de aquecimento em fornos. A injeção de gás natural permite que, além do carbono contido no gás substituindo o da carga do coque, seja aproveitado também o hidrogênio dissociado como redutor (ARAÚJO, 1997). O gás metano é incolor e altamente combustível, e não produz fuligem. Em função da participação percentual do metano na composição do biogás, o poder calorífico deste pode variar de 20.920KJ a 29.288KJ (5.000KCal a 7.000KCal) por metro cúbico. Esse poder calorífico pode chegar a 50.208KJ (12.000KCal) por metro cúbico, se eliminado todo o gás carbônico da mistura (DEGANUTTI et al., 2002).

Em estudos já feitos no Brasil, ao se analisar as emissões de CO₂ no sistema energético nacional, observou-se a importante participação do segmento siderúrgico no setor industrial nacional (CAVALIERO & JANNUZI, 1998), que é decorrente do alto consumo de coque metalúrgico no balanço energético siderúrgico. Pelas características muito próximas ao gás natural, surgiu o interesse de estudar o comportamento desse gás como combustível auxiliar, tentando obter ganhos econômicos e ambientais.

Dos estudos feitos até hoje, ainda não se foi feito um estudo para se avaliar a viabilidade do uso do biogás em usinas siderúrgicas. Esse trabalho tem como fim calcular o custo por m³ de biogás aplicado para esse fim e verificar sua viabilidade.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é estudar a viabilidade técnica e econômica do biogás a partir da simulação do uso do biogás em alto-fornos.

2.2 Objetivos Específicos

- Calcular a viabilidade técnica do Biogás em comparação com o Gás Natural através de um programa de simulação computacional em busca do melhor índice de proporção BG e NG para injeção em Altos-Fornos;
- Dimensionar o custo e a quantidade de biodigestores necessários para atender a quantidade mensal de biogás necessária para alimentar uma usina siderúrgica;
- Levantar o custo logístico do transporte do biogás no percurso Fazenda-Usina;
- Calcular os custos anuais do sistema, considerando-se os custos fixos referentes à depreciação e os custos variáveis referentes à manutenção e à operação;
- Calcular o custo de produção por m³ de biogás partindo de 3 cenários, com transporte via terrestre, transporte via gasoduto e sem considerar custo com transporte.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Procura-se neste capítulo dar uma visão geral sobre o processo de redução no alto-forno e o importante papel da injeção de material auxiliar em ventaneiras na busca pela diminuição do coke-rate, mostrando o papel do gás natural e do biogás nas operações do alto-forno.

3.1 A Biomassa

Nos últimos anos ficou evidente o avanço tecnológico e o crescimento das indústrias. Foi crescente o número de fábricas e produtos, e conseqüentemente, a ampliação da cadeia de logística, que se modernizou de modo que os produtos chegassem até o consumidor em maior velocidade e facilidade. Junto a esse desenvolvimento também foram crescente a emissão de gases para a atmosfera. Países como Estados Unidos, China e Emirados Árabes são líderes mundiais na produção de gases do efeito estufa, e coincidentemente estão entre os países que tem mais acelerado a economia nos últimos anos.

As grandes atividades emissoras de CO₂ para atmosfera são a agricultura e pecuária. O Observatório do Clima, no final de 2014, mostra um estudo onde aparecem dados ampliados e atualizados do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. A Figura 1 representa a quantidade de emissões brutas de gases do efeito estufa em milhões de toneladas de CO₂, onde fica clara a representatividade da agropecuária na emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera. O setor de mudança de uso da terra (agricultura) ainda representa a maior parcela das emissões (35%). Mas o setor de energia teve aumento expressivo de participação, e alcança agora 30% das emissões, e são seguidos da agropecuária (27%), processos industriais (6%) e resíduos (3%).

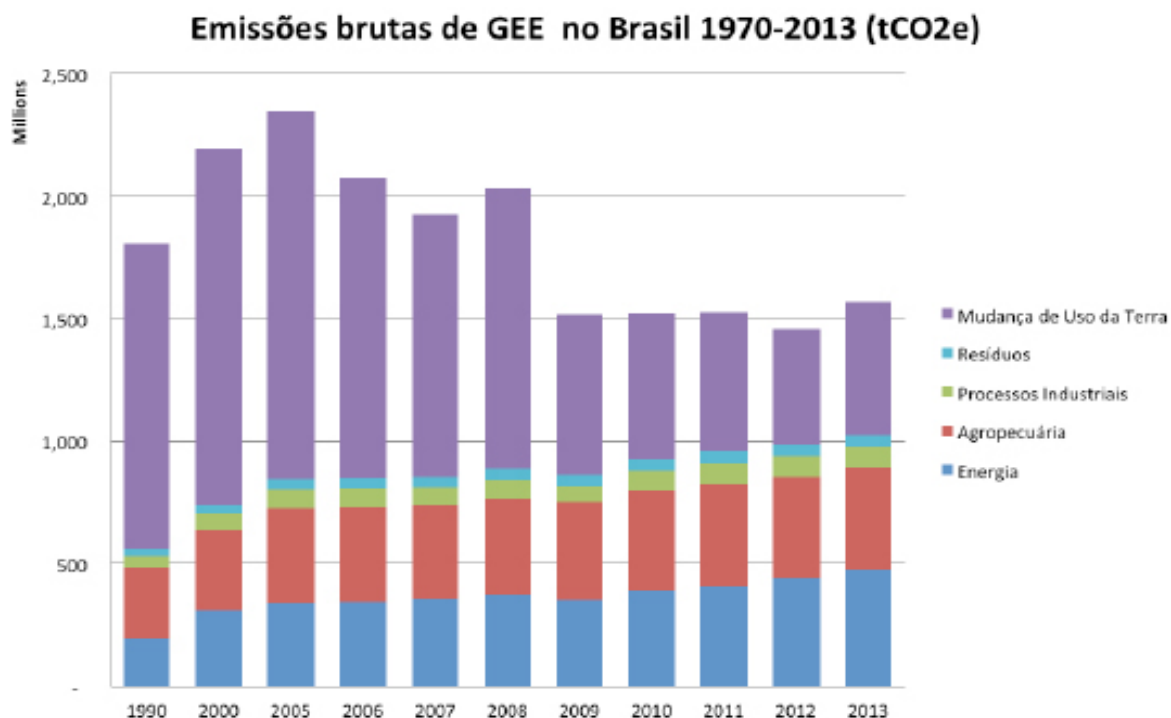


Figura 1: Emissões Brutas de Gases do Efeito Estufa em milhões de toneladas de CO₂-equivalente. Fonte: Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Brasil – Observatório Clima, 2015.

A pesquisa publicada pelo Observatório Clima (2015) revelou ainda outros fatos relevantes, como por exemplo:

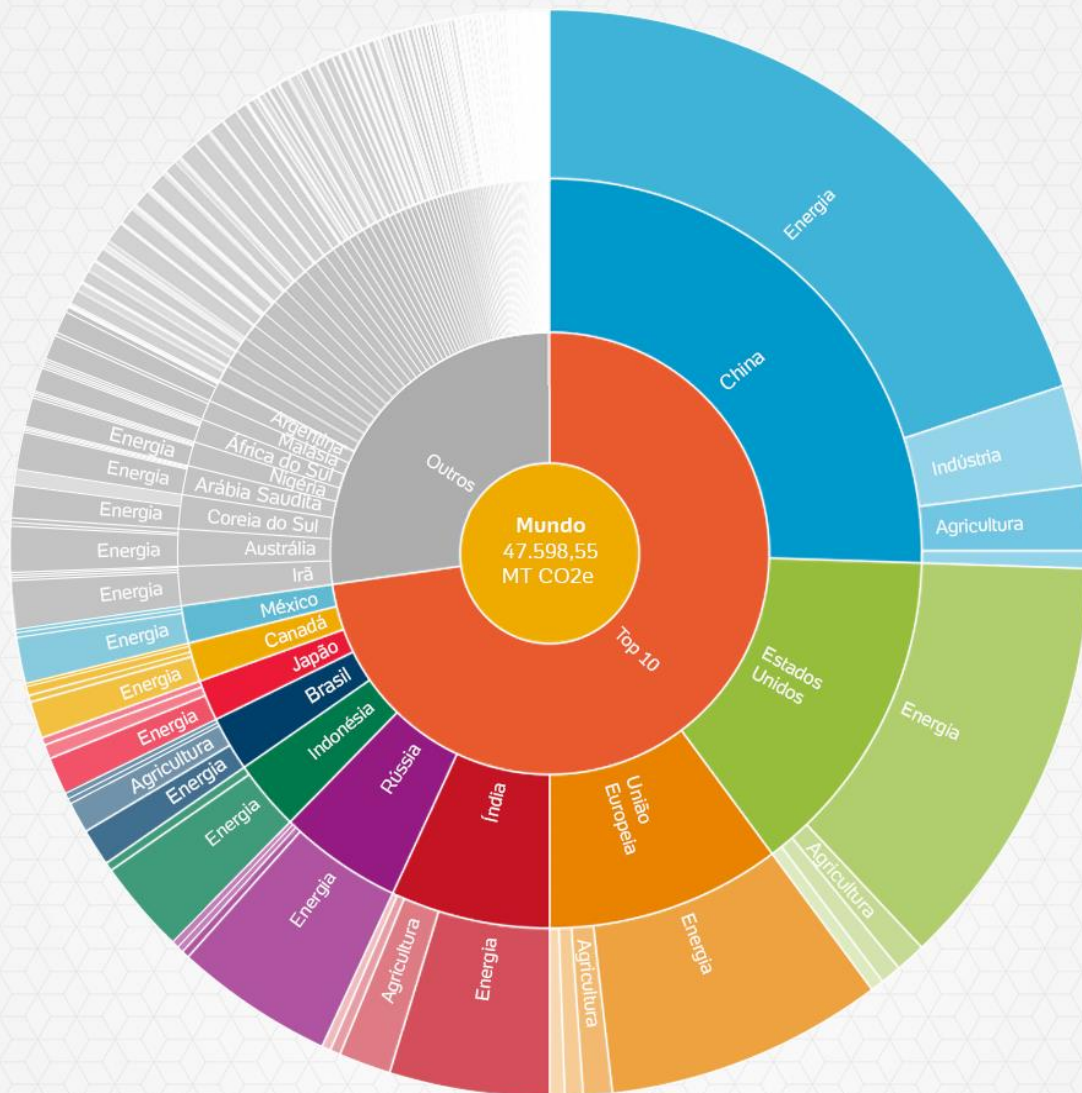
- As Emissões brasileiras de gases de efeito estufa atingiram 1.568 milhão de t CO₂ e em 2013, o que representa aumento de 7,8% em relação ao ano de 2012, e o maior valor desde 2008;
- O aumento das emissões de 2013 representa reversão de tendência registrada desde 2005, onde as emissões vinham caindo ano a ano devido a sucessivas quedas nas taxas anuais de desmatamento. Em 2012, atingiram o seu menor valor, com 1.454 milhão de t CO₂ e;
- Conforme a Figura 1, todos os setores tiveram crescimento das emissões em 2013, com destaque para as mudanças de uso do solo (+16,4%), puxado pelo aumento do desmatamento na Amazônia e Cerrado e energia (+7,3%), influenciado pelo aumento do uso de energia termoelétrica de fontes fósseis e do consumo de gasolina e diesel;

- Considerando-se as diferentes atividades econômicas, o setor agropecuário continua a ser a principal fonte de emissões (considerando-se suas emissões diretas e a parcela do setor em desmatamento, energia e resíduos), com 63,4% das emissões em 2013. Mas sua participação diminuiu entre 2010 e 2013. Em 2010, o setor era responsável por 68% das emissões brasileiras. Neste mesmo período (2010-2013), cresceu a participação do setor de transportes (11% para 13%) e a produção de combustíveis e energia elétrica (4,5 para 6,1%);

Já avaliando em escala global, segundo a Folha UOL, em sua reportagem postada em 06 de dezembro de 2015, dez países emitem quase 70% dos gases do efeito estufa do mundo. Conforme a Figura 2, o grande vilão de emissão de gases efeito estufa no mundo é a geração de energia.

Quais são os países que mais emitem gases do efeito estufa?

Em 2012, os dez maiores emissores de gases que causam o efeito estufa representam mais de dois terços do total global de emissões



China
10.684,29 MT CO2e
22,44%

Estados Unidos
5.822,87 MT CO2e
12,23%

União Européia
4.122,64 MT CO2e
8,66%

Índia
2.887,08 MT CO2e
6,06%

Rússia
2.254,47 MT CO2e
4,73%

Indonésia
1.981 MT CO2e
4,16%

Brasil
1.823,15 MT CO2e
3,83%

Japão
1.207,30 MT CO2e
2,53%

Canadá
856,28 MT CO2e
1,79%

México
748,91 MT CO2e
1,57%

Irã
711,88 MT CO2e
1,49%

Austrália
685,05 MT CO2e
1,43%

Coreia do Sul
661,39 MT CO2e
1,38%

Arábia Saudita
526,97 MT CO2e
1,1%

Nigéria
474,86 MT CO2e
0,99%

África do Sul
463,75 MT CO2e
0,97%

Malásia
433,33 MT CO2e
0,91%

Argentina
405,03 MT CO2e
0,85%

Figura 2: Emissão de Gases Efeito Estufa no Mundo e principais países emissores. Fonte: UOL (<http://folhagospel.com/modules/news/article.php?storyid=31610>) adaptado. Acessado em 19/01/2016.

Para se tentar diminuir a emissão dos gases do efeito estufa, o mundo tem se voltado para a diminuição da emissão de CO₂. Uma solução encontrada nos últimos para mitigação do efeito estufa foi à utilização de material de fonte totalmente orgânica e que pode ser reciclada, a biomassa.

Biomassa não é um termo novo, mas apenas nos dias de hoje ele está sendo utilizado em larga escala por empresas na produção de combustíveis, devido à nova demanda mundial por métodos biosustentáveis.

A biomassa pode ser utilizada em diversas aplicações pela sua capacidade de se transformar em vários tipos de energia, como por exemplo, na produção de calor e eletricidade (The UK Energy Research Centre, 2014). Na última década, o uso da biomassa para a produção de energia moderna e de biomateriais, cresceu significativamente devido a crescente oposição ao esgotamento das fontes de energia fóssil, associado ao aumento dos preços de energia, e a necessidade de redução da emissão dos gases do efeito estufa (GERSSEN-GONDELACH et al, 2014).

Historicamente, a biomassa tem sido utilizada há anos pelo homem e tem sido sua fonte de abastecimento de energia primária. Em aproximadamente 1850, 85% do abastecimento da energia primária era derivada de biomassa, em contra partida, em 2005, 85% da fonte de energia mundial vinha de combustíveis fósseis (SMIL, 2005).

A Figura 3 representa a evolução da estrutura da oferta de energia de 1970 a 2030. Cabe ressaltar uma clara tendência de diversificação da matriz energética brasileira. Em 1970 apenas duas fontes de energia, petróleo e lenha, respondiam por 78% do consumo, enquanto em 2000 três fontes correspondiam a 74% do consumo: além de petróleo e lenha, a energia hidráulica. Projeta-se para 2030 uma situação em que quatro fontes serão necessárias para satisfazer 77% do consumo: além de petróleo e energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural — com redução da importância relativa da lenha (TOLMASQUIM et al, 2007).

Apesar da maior oferta de energia até 2030, existe outro ponto importante a ser levado em consideração, a Figura 3 mostra com destaque-se a reversão da tendência de redução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira. Conforme a Figura 2, em 1970 essa participação era em torno de 50%, em virtude da predominância da lenha. Com a

introdução de recursos energéticos mais eficientes, a participação das fontes renováveis caiu para 53% no ano 2000 e espera-se em torno de 60% para 20130, conforme a figura 3 nos representa. Essa tendência deve se manter nos próximos anos (TOLMASQUIM et al, 2007).

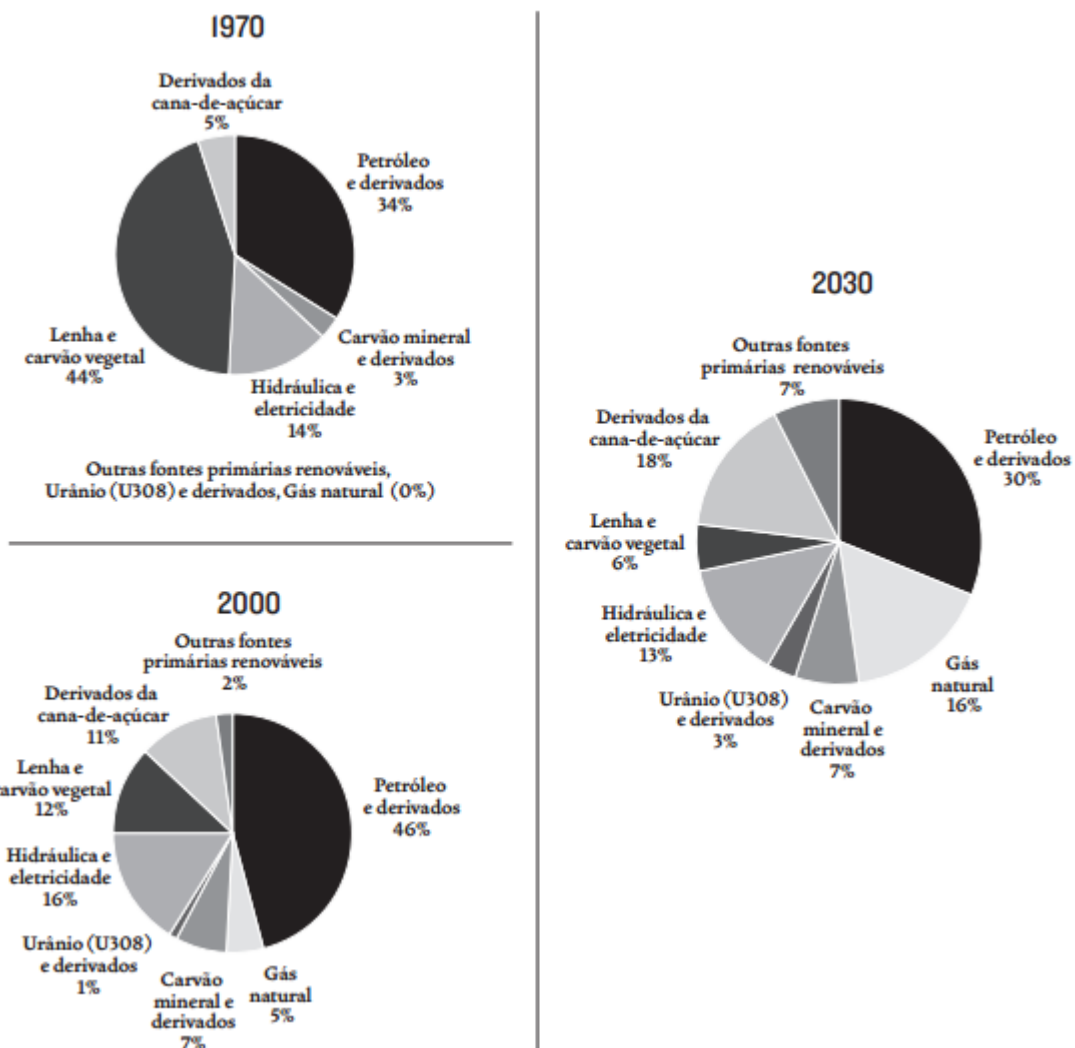


Figura 3: A evolução da estrutura da oferta de energia de 1970 a 2030. Fonte: (TOLMASQUIM et al, 2007).

Segundo José Goldemberg (2009), assim como outras opções de energia renovável, o potencial teórico para a energia da biomassa é enorme. Dos aproximadamente 100.000Terawatts de fluxo de energia solar que atingem a superfície da Terra, cerca de 4.000Terawatts atingem os 1,5 bilhões de hectares de plantações existentes no mundo.

Admitindo que as tecnologias de biomassa moderna possam atingir uma eficiência da conversão energética de 1%, essas plantações poderiam, em teoria, produzir 40 Terawatts de fluxo de energia, ou mais de três vezes o atual fluxo de abastecimento global de energia primária de 14 Terawatts (GOLDEMBERG, 2009).

De maneira geral, biomassa é qualquer fonte de material proveniente de material orgânico (planta ou animal), que tem como principal objetivo a produção de energia (MINISTÉRIO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE, 2014). A biomassa pode ser utilizada de maneira pura ou em combinação com combustíveis fósseis, para melhorar a eficiência do processo e diminuir os resíduos da combustão (THE UK ENERGY RESEARCH CENTRE, 2014). A biomassa pode produzir vários tipos de combustíveis, sendo eles de caráter sólido, líquido ou gasoso.

A Figura 4 representa alguns exemplos de fontes de biomassa, processo de conversão e energia gerada. É possível obter a biomassa de fontes como resíduos de culturas florestais, resíduos de culturas agrícolas, esgoto, resíduos industriais, resíduos animais e de resíduos sólidos urbanos.

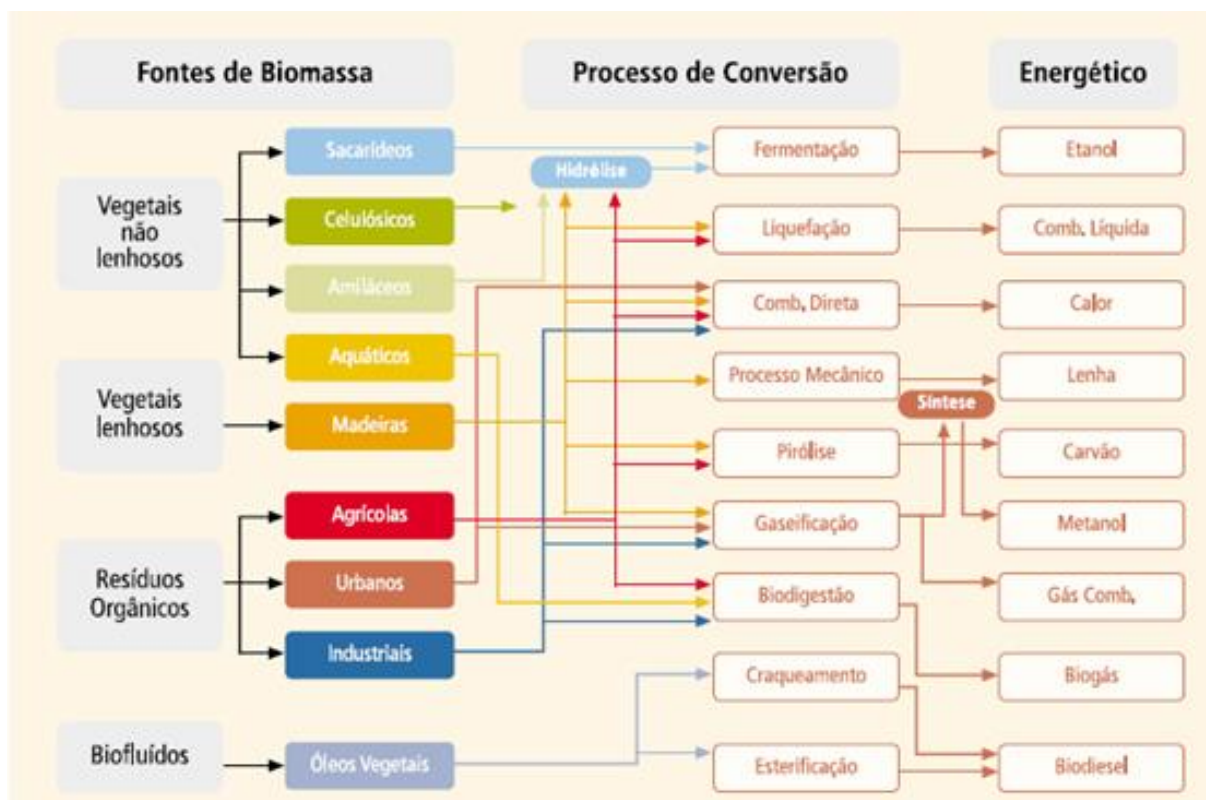


Figura 4: Exemplos de Fontes de Biomassa. Fonte: <http://focusolar.com.br/o-que-e-biomassa/>. Retirada em 17/01/2016.

A biomassa pode ser trabalhada nos diferentes tipos de estados da matéria. A biomassa sólida tem como fonte os produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), os resíduos das florestas e a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. Já a biomassa líquida existe em uma série de biocombustíveis líquidos, com potencial de utilização, todos tem origem nas chamadas "culturas energéticas". São exemplos, o biodiesel, obtido a partir de óleos de colza (azeite) ou girassol; o etanol, produzido com a fermentação de hidratos de carbono (açúcar, amido, celulose); e o metanol, gerado pela síntese do gás natural.

A outra forma que podemos trabalhar com a biomassa é a forma gasosa, a mais importante para esse trabalho, ela é encontrada como resultado da atividade agropecuária, provenientes da agroindústria e do meio urbano. É achada também nos aterros de RSU (resíduos sólidos urbanos). Estes resíduos são resultado da degradação biológica da matéria orgânica, e são constituídos por uma mistura de metano e gás carbônico. Esses materiais são submetidos à combustão para geração de energia.

Com o crescente aumento dos preços de óleo e gás natural, e com os novos incentivos gerados pela emergência do mercado de carbono, o gás de aterros sanitários, bagaço da cana-de-açúcar, biodiesel, madeira de reflorestamento, e esquemas resíduo-energia estão também se tornando opções atrativas (GOLDEMBERG, 2009).

A biomassa tem um grande impacto social e ambiental, a principal vantagem pode ser observada quando se analisa a sua cadeia de produção. É possível ter várias fontes de produção, como por exemplo, resíduos de grandes e pequenos produtores agrícolas, depósitos de lixo, resíduos industriais, etc. Geralmente, a origem de biomassa é qualquer material que pode vir a ser reciclado ou algum tipo de massa orgânica que a sua utilização não irá prejudicar o ecossistema. Baseado nas atuais tendências no desenvolvimento tecnológico espera-se que os custos de recuperação da energia de biomassa se reduzam em até dois terços em 20 anos (GOLDEMBERG, 2009).

A Figura 5 representa a matriz energética do Brasil em 2014, onde a participação da biomassa, óleos e biocombustíveis na matriz energética brasileira ficou em torno de 5%.

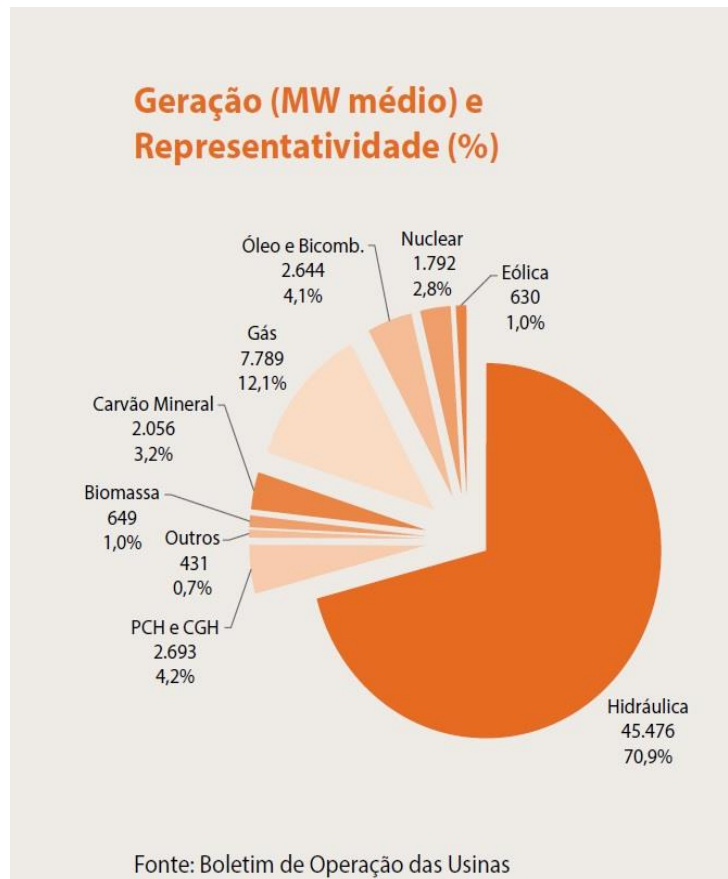


Figura 5: Participação das fontes de geração de energia no País em dezembro de 2014. Fonte: http://www.aben.com.br/revista-brasil-nuclear/edicao-n-42/capa_1. Acessado em 17/01/2016.

Para 2050, os estudos mostram que haverá uma revolução no cenário energético e a biomassa deve passar para a representatividade de 16,6% de participação na matriz energética no Brasil. A Figura 6 representa graficamente essas informações. Essa revolução se deve ao fato da maior conscientização em prol do meio ambiente, redução de utilização de combustíveis fósseis e busca por energia auxiliar.

Cenário revolução energética 2050

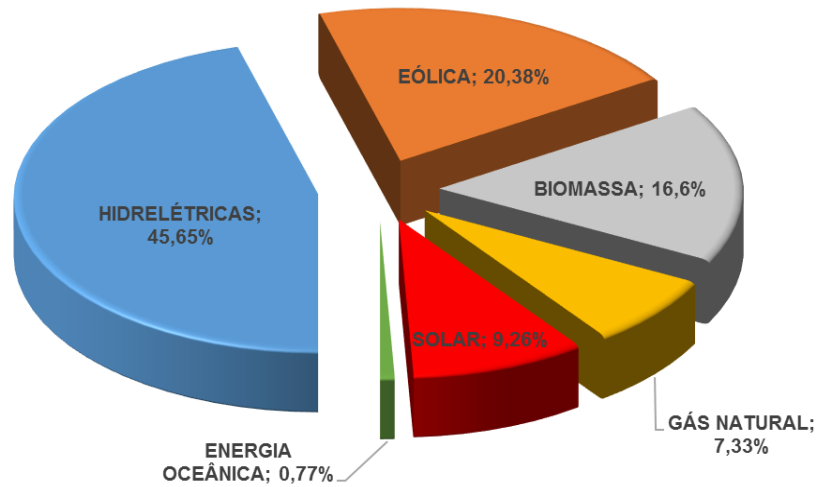


Figura 6: Matriz energética do Brasil – Cenário revolução energética para 2050. Fonte: <https://fomatheus.wordpress.com/2015/02/10/matriz-energetica-brasileira/>. Acessado em 20/01/2016.

A grande vantagem da biomassa é que a sua utilização pode ser feita diretamente através da combustão em fornos, geradores, etc (MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE DO BRASIL, 2014).

Uma importante vantagem do uso da biomassa é que o aumento do seu uso pode ser associado com a redução do consumo de combustíveis fósseis, como o petróleo e seus derivados, que são as matérias-primas não renováveis (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE DO BRASIL, 2014).

O Brasil tem uma enorme vantagem, a sua localização geográfica e seu grande espaço para a agroindústria, que são fatores favoráveis para uma grande quantidade de matéria-prima disponível para a produção de biomassa. Uma pesquisa realizada pela Agência Internacional de Energia (IEA), chamada Bioenergy Task 40, que representa uma divisão especializada em bioenergia, diz que o Brasil é o país que mais utiliza biomassa na produção de energia, representando 16% do uso mundial no setor. Em seguida estão os EUA com 9% e a Alemanha com 7%. Atualmente, a biomassa representa aproximadamente 10% da produção de energia global.

As conclusões da pesquisa Bioenergy Task 40, demonstraram que a utilização de biomassa para fins energéticos é crescente no mundo. Conforme resultados da pesquisa, um número significativo de novas grandes instalações tanto para refinar e processar biomassa como para fins de transporte de energia (biocombustíveis), estão sendo construídas em todo o mundo.

A biomassa é uma fonte de energia flexível e, ao contrário de algumas outras fontes de energia renovável, como eólica e solar, pode ser armazenado e utilizado como combustível quando necessário. O argumento econômico é particularmente forte, pois a biomassa é recuperada a partir de fontes de custo negativo, tais como os resíduos urbanos biodegradáveis, o que também reduz a quantidade de resíduos depositados em aterros sanitários (THE UK ENERGY RESEARCH CENTRE, 2014).

O progresso no desenvolvimento de alternativas para a energia proveniente da biomassa, além de aliviar a pressão em recursos finitos de combustíveis fósseis, pode reduzir os custos de mitigação de emissões de carbono. (GOLDEMBERG, 2009).

3.2 O Biogás

O Biogás é um tipo de combustível gasoso produzido através da digestão anaeróbica de determinados tipos de matéria orgânica. A composição média do biogás, em condições ideais, é constituída por 40-80% de CH₄ e o restante inclui gases como CO₂, H₂S, O₂ e N₂ (HOSSEINI et al, 2013). A composição do biogás pode variar de acordo com o tipo e a quantidade de biomassa empregada, fatores climáticos, dimensões do biodigestor, entre outros (CERVI et al, 2010). As características físicas do biogás levam em conta os dois principais gases da sua composição, o CH₄ e o CO₂.

O biogás também pode ser produzido em aterros sanitários (gás oriundo da decomposição do lixo) e em obras de tratamento de esgoto (gás de esgoto). A energia do biogás resultante da degradação anaeróbia em aterros sanitários, estações de tratamento de esgoto, e terrenos de tratamento de estrume é considerada uma opção de baixo custo, uma vez que pode se beneficiar de créditos de carbono disponíveis através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Essa forma de energia de biomassa não só substitui a combustão por oxidação de

combustíveis fósseis, mas reduz as emissões de metano, um gás de efeito-estufa mais potente do que o dióxido de carbono (GOLDEMBERG, 2009).

No geral, o biogás é um gás sintético, combustível, criado pela digestão anaeróbia. Este processo envolve o aquecimento do biomaterial a uma temperatura elevada que permite que as reações químicas ocorram formando um gás de síntese constituído por hidrogénio (H_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) (ESPERANCINI et al, 2007). A Figura 7 representa o ciclo de produção do biogás.



Figura 7: Ciclo de Produção de Biogás. Fonte: Souza et al, 2014.

A produção do biogás é baseado em um sistema integrado que envolve processos de gaseificação, que além do gás gerado, ele permite a co-produção de múltiplos produtos, inclusive de eletricidade, combustíveis líquidos de transporte e produtos químicos.

Segundo GOLDEMBERG (2009), a tecnologia de gaseificação em pequena escala pode eventualmente emergir como uma opção promissora para melhorar o acesso à energia em áreas isoladas. Por enquanto, o mais importante uso de recursos de biomassa disponíveis localmente pode estar no seu uso conjunto com modernas tecnologias de combustão como substituto ao óleo diesel, o qual é, agora, comumente usado em motores a diesel antigos e ineficazes.

Como já falado anteriormente, o biogás é uma mistura gasosa constituída principalmente por metano e dióxido de carbono. A composição média de biogás varia de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1: Composição do Biogás. Fonte: HOSSEINI et al, 2013.

Gás	% Volume	Fórmula Química
Metano	55-75	CH ₄
Dióxido de Carbono	25-45	CO ₂
Nitrogênio	0-3	N ₂
Hidrogênio	0-2	H ₂
Oxigênio	0-0.1	O ₂
Gás Sulfídrico	0-1	H ₂ S

Alguns fatores podem variar de acordo com a fonte da biomassa e conseqüentemente a composição do material decomposto também irá sofrer variação, tais como a composição dos resíduos, umidade, pH, etc.

O metano é um gás que pode formar-se em vários lugares, como em minas de carvão, pântanos ou por fermentação da celulose por trás da decomposição de plantas ou vegetais.

3.2.1 O Ciclo de produção do Biogás

O biogás é produzido a partir de diversos materiais orgânicos, sendo sua composição base o metano. Tais materiais orgânicos podem ser provenientes de aterros, fazendas, indústrias e etc. Outra maneira de obter o material orgânico é de dejetos de animais, como vacas, porcos e galinhas. O biogás é produzido naturalmente, através da decomposição de material orgânico (JÚNIOR, 2010).

A produção de biogás utilizando-se resíduos da suinocultura é realizada por meio de biodigestores (reatores anaeróbios) onde o resíduo é geralmente diluído com água de lavagem, constituindo-se no chamado chorume. A Figura 8 representa um biodigestor indiano

de grande porte e operação contínua, com calha de água em alvenaria, com uma manta plástica e um gasômetro.

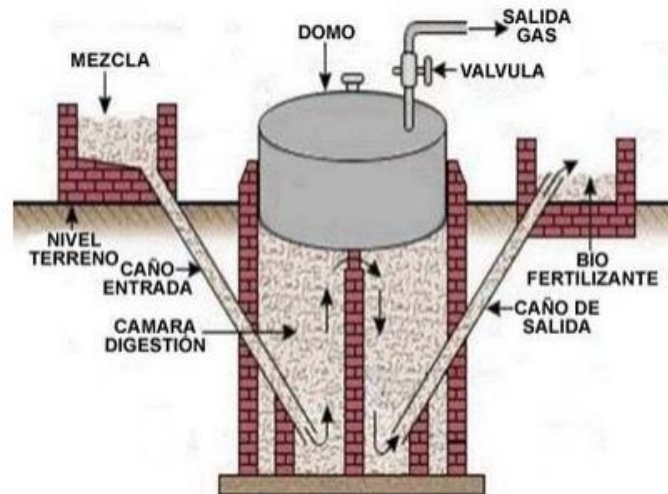


Figura 8: Biodigestor Tipo Indiano. Fonte: PERMINIO, 2013.

No Brasil, os biodigestores rurais vêm sendo utilizados para fins de saneamento rural, tendo como subprodutos e biogás e biofertilizante. A matéria-prima do biodigestor em grandes fazendas são os dejetos bovinos e suínos. Conforme dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2015, o rebanho bovino brasileiro chegou a 212,3 milhões de cabeças em 2014. O Brasil é o segundo colocado no ranking mundial de produção de bovinos, ficando atrás apenas da Índia. A Figura 9 representa os seis maiores rebanhos mundiais.

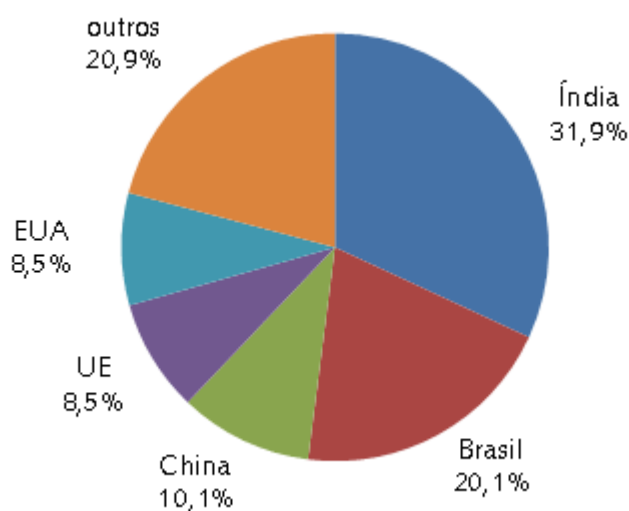


Figura 9: Distribuição dos principais rebanhos bovinos, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Fonte: USDA. Elaboração Scot consultoria – www.scotconsultoria.com.br. Acessado em 12/02/2015

A região Centro-Oeste é a principal produtora de gado no Brasil, sendo responsável por 33,5% da produção nacional. Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Pará respondem juntos 54,0% do efetivo nacional (PESQUISA DE PRODUÇÃO DA PECUÁRIA MUNICIPAL - PPM, 2014).

Segundo o IBGE, o efetivo de suínos foi de 37,9 milhões de cabeças em 2014, um aumento de 3,2% em relação a 2013. Quase metade do efetivo de suínos (49,3%) encontrava-se na região Sul, seguida pelas regiões Sudeste (18,5%), Nordeste (14,9%), Centro-Oeste (13,8%) e Norte (3,4%). Em relação a 2013, não houve grandes variações de participação das grandes regiões.

As regiões centro-oeste, sul e sudeste são altamente privilegiadas para a produção biogás por biodigestores, a Figura 10 representa o mapa do Brasil e destaca as regiões que possuem grande fonte de biomassa por meio de resíduos agropecuários um dos principais insumos para a produção de biogás por meio de biodigestores, além de contar com uma região beneficiada por indústrias, destacando a proximidade de matéria-prima, produção e consumidor final.

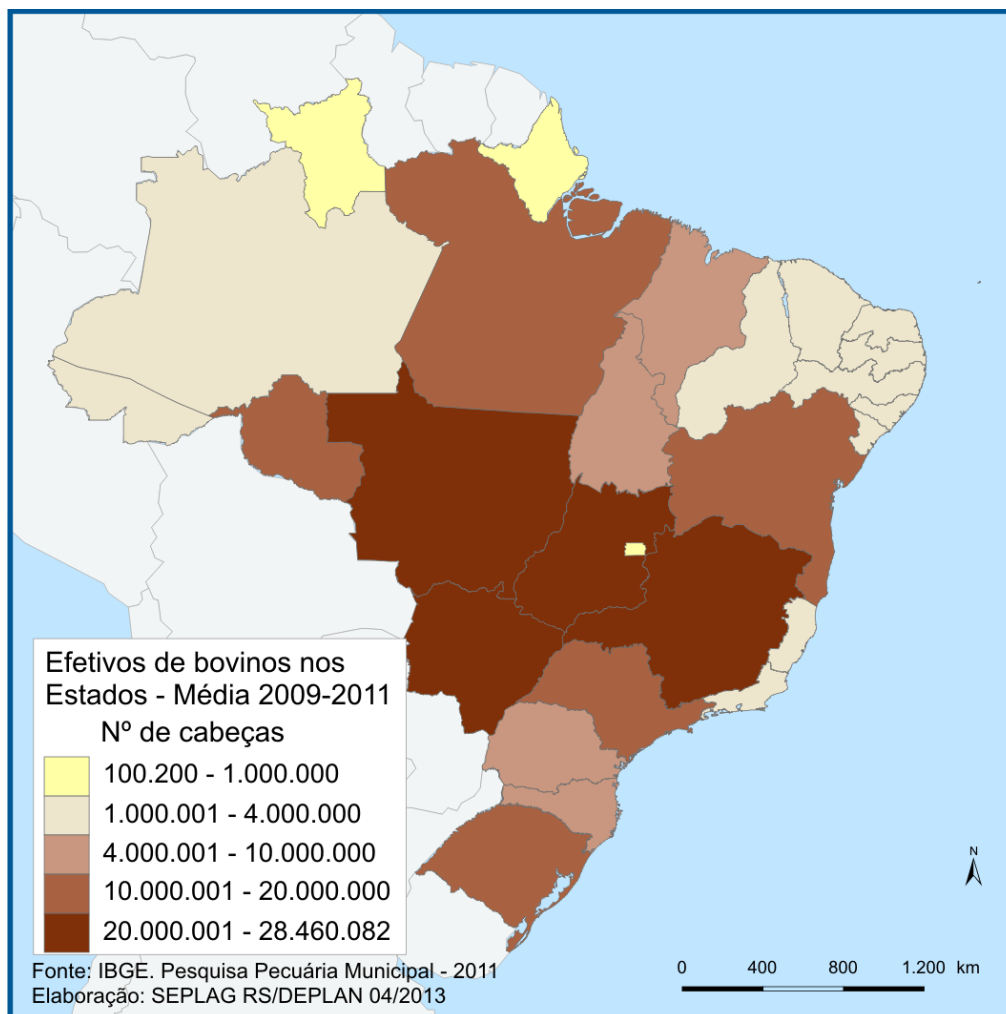


Figura 10: Efetivo de bovinos no Brasil 2009-2011. Fonte: http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu_filho=819&cod_menu=817&tipo_menu=ECONOMIA&cod_conteudo=1580. Acessado em 20/01/2016.

O principal componente do biogás é o gás metano, que é incolor e altamente combustível, e não produz fuligem. Em função da participação percentual do metano na composição do biogás, o poder calorífico deste pode variar de 20.920KJ a 29.288KJ (5.000KCal a 7.000KCal) por metro cúbico. Esse poder calorífico pode chegar a 50.208KJ (12.000KCal) por metro cúbico, se eliminado todo o gás carbônico da mistura (DEGANUTTI et al., 2002).

3.2.1.1 O Biodigestor

A primeira etapa de produção do biogás é a instalação do biodigestor, local, onde a biomassa sofre a digestão pelas bactérias anaeróbias, gerando um gás como resultado (JUNIOR, 2015).

Geralmente, um biodigestor consiste em um recipiente fechado, construído de alvenaria, concreto ou outros materiais, onde é depositado o material a ser digerido. O processo de decomposição da matéria orgânica resulta na produção de biogás e biofertilizante (JUNIOR, 2015).

Atualmente, existe uma gama muito grande de modelos de biodigestores, onde cada um adaptado a uma realidade e uma necessidade de biogás. Os biodigestores mais utilizados são o modelo Indiano e o Chinês:

3.2.1.1.1 Modelo Indiano

Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. O modelo indiano possui pressão de operação constante. O Processo é controlado por um gasômetro localizado sobre o substrato ou sobre o selo d'água, que reduz as perdas durante o processo de produção do gás. O abastecimento no modelo indiano é contínuo, e geralmente é alimentado por dejetos bovinos e/ou suínos, que apresentam certa regularidade no fornecimento de dejetos. Apresenta-se de fácil construção, contudo o gasômetro de metal pode encarecer o custo final, e também à distância da propriedade pode dificultar e encarecer o transporte inviabilizando a implantação deste modelo de biodigestor (DEGANUTTI ET. AL, 2015). A Figura 11 (a) representa um biodigestor Indiano em seu corte tridimensional onde é mostrando o interior do biodigestor Indiano, a Figura 11 (b) representa a vista frontal em corte do biodigestor Indiano com realce para os elementos fundamentais para sua construção.

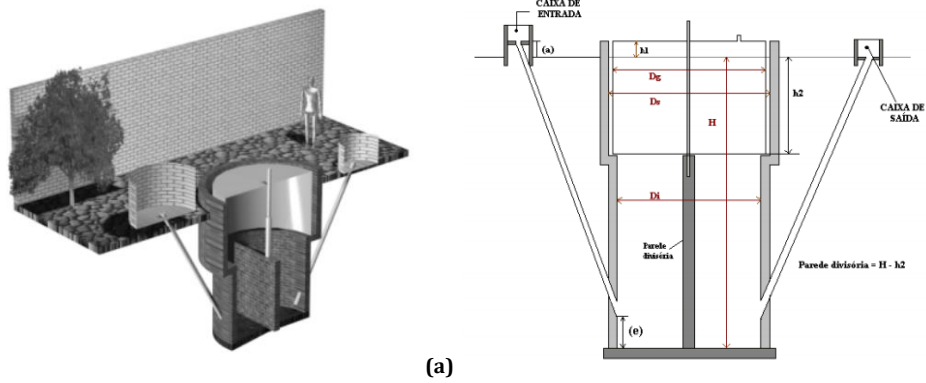


Figura 11: (a) Representação tridimensional em corte mostrando o interior do biodigestor Indiano. (b) Vista frontal em corte do biodigestor com realce para os elementos fundamentais para sua construção. (Deganutti et. al, 2015).

Onde,

H - altura do nível do substrato;

Di - diâmetro interno do biodigestor;

Dg - diâmetro do gasômetro;

Ds - diâmetro interno da parede superior;

h1 - altura ociosa (reservatório do biogás);

h2 - altura útil do gasômetro;

(a) - altura da caixa de entrada;

(e) - altura de entrada do cano com o afluyente.

3.2.1.1.2 Modelo Chinês

Este modelo é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) responsável pela fermentação, o teto é abobadado, para que haja uma impermeabilização, essa câmara é destinada ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona como uma prensa hidráulica, de onde o aumento de pressão em seu interior resultante do acúmulo de biogás resultará em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão. O modelo Chinês dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos, contudo podem ocorrer problemas com vazamento do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Neste tipo de biodigestor uma parcela do gás formado na caixa de saída é libertada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte (DEGANUTTI ET. AL, 2015). A Figura 12 (a) representa um biodigestor Chinês em seu corte tridimensional onde é mostrando o interior do biodigestor Chinês, a Figura 12 (b) representa a vista frontal em corte do biodigestor Chinês com realce para os elementos fundamentais para sua construção.

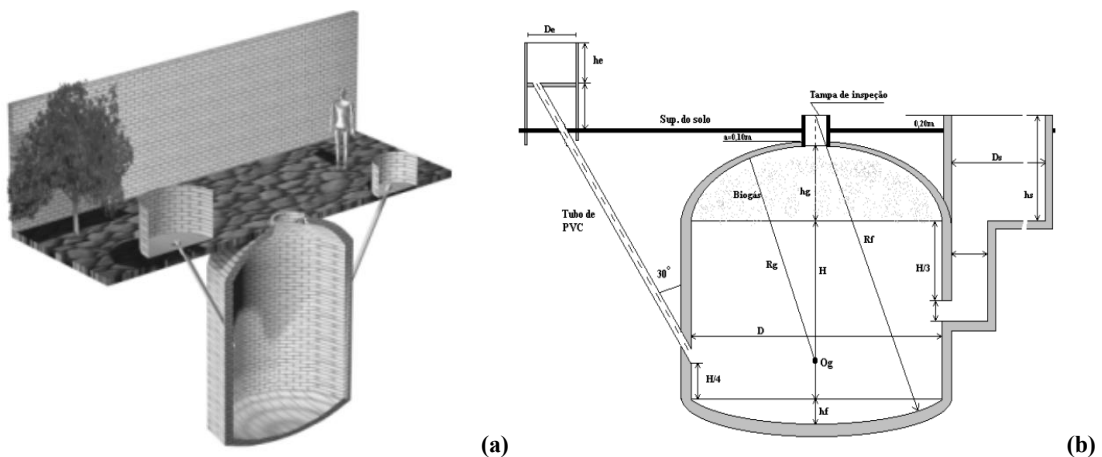


Figura 12: (a) Representação tridimensional em corte mostrando o interior do biodigestor Chinês. (b) Vista frontal em corte do biodigestor com realce para os elementos fundamentais para sua construção. (Deganutti et. al, 2015).

Onde,

H - altura do corpo cilíndrico;

Hg - altura da calota do gasômetro;

hf - altura da calota do fundo;

Of - centro da calota esférica do fundo;

Og - é o centro da calota esférica do gasômetro;

he - altura da caixa de entrada;

De - diâmetro da caixa de entrada;

hs - altura da caixa de saída;

Ds - diâmetro da caixa de saída;

A - altura da capacidade de afundar do gasômetro;

Após a instalação do biodigestor, a primeira etapa da produção do biogás é o depósito de matéria orgânica no biodigestor, onde a massa orgânica é biometanizada por bactérias, que se desenvolvem fora da presença de oxigênio. O termo biometanização consiste na definição do complexo processo realizado pelos micro-organismos responsáveis pela metabolização dos materiais orgânicos gerando, assim, o Biogás. Essas bactérias digerem de maneira anaeróbica as matérias envolvidas, como os carboidratos, as proteínas e os lipídios (LUCAS JUNIOR, 1994). O tempo de transformação em média do material orgânico em gás é de 35 dias (ROYA et al, 2011).

A Figura 13 representa uma esquematização da produção de biogás em um biodigestor. A produção é dividida em três estágios, onde o Estágio 1 consiste na hidrólise, fermentação e acidogênese da matéria orgânica, resultando em duas frentes de produtos, subproduto 1: H₂, CO₂ e ácido acético, subproduto 2: ácido propinônico, butínico e álcool diversos. No Estágio 2 ocorre a produção de CO₂, H₂ e ácido acético, através da acetogênese. No Estágio 3 o ácido acético posteriormente se transformará em metano e CO₂ através do processo de metanogênese.

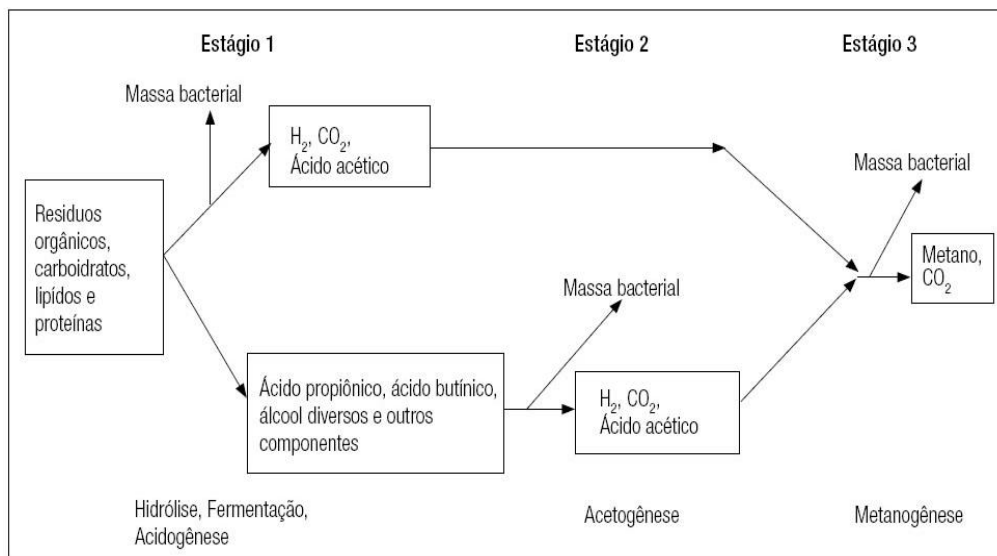


Figura 13: Etapas da Produção de um biodigestor. Fonte: Ferling, 2003.

O subprodutos do Estágio 3 são classificados em:

1. Produtos em Estado gasoso: Estado onde se obtém o biogás;
2. Produtos em Estado sólido: Biofertilizante, lodo e sólidos grosseiros, areia e espuma (espuma), subproduto da produção de biogás.
3. Produtos em Estado líquido: Efluente mineralizado (tratado), este pode ser usado na produção de microalgas que podem ser usados na piscicultura.

A utilização de Biodigestores, no Brasil, tem merecido importante destaque devido aos aspectos de saneamento e energia, além de estimular a reciclagem de nutrientes (OLIVEIRA E HIGARASHI, 2006).

Segundo Oliveira et al., no passado, o interesse pelo biogás no Brasil, teve seu ápice nas décadas de 70 e 80, especialmente entre os suinocultores. Uma série de fatores foi responsável pelo insucesso dos programas de biodigestores neste período, entre esses fatores, podem-se citar a falta de conhecimento técnico sobre a construção e operação dos biodigestores; o custo de implantação e manutenção elevada dos mesmos; equipamentos de distribuição com alto custo de aquisição, transporte e distribuição elevados; falta de equipamentos desenvolvidos

exclusivamente para o uso de biogás e a baixa durabilidade dos equipamentos adaptados para a conversão do biogás em energia; entre outros.

Somente após 30 anos desde o primeiro biodigestor, que surgiu a disponibilidade de novos materiais para a construção dos biodigestores e, tornando assim viável a utilização de biodigestores para a produção de biogás para energia elétrica.

Além dos ganhos já citados anteriormente, é importante ressaltar o ganho em créditos de carbono ao se utilizar o biogás, que é uma energia limpa que ajuda na diminuição do efeito estufa.

3.2.1.2 A produção de Biogás

Mesmo com a construção de um biodigestor dentro dos parâmetros exigidos, é necessário garantir que a produção seja constante. AMARAL ET AL (2004) fez em seus experimentos uma média de produção de biogás para biodigestores indianos e chineses, com uma produção variando entre 40, 30 e 20 dias conforme a Tabela 3, onde são apresentados os teores de sólidos totais e voláteis e a produção de biogás, no afluente e nos efluentes dos biodigestores Indiano e Chinês, nos tempo de retenção hidráulica de quarenta, trinta e vinte dias. Verificou-se que os teores de sólidos voláteis, representaram 83,36 %, 81,41 % e 79,10 % dos teores de sólidos totais, nos afluentes dos biodigestores, nos tempos de retenção de quarenta, trinta e vinte dias, respectivamente (AMARAL ET AL, 2004).

Conforme a Tabela 2, o potencial de produção de biogás por kg de estrume obtido no experimento foi em média $0,025\text{m}^3$ (AMARAL ET AL, 2004). O melhor fator utilizado para refletir o potencial de determinada biomassa é aquele que expressa a produção de biogás por kg de sólidos totais adicionados, pois elimina a interferência do teor de água presente na biomassa. No presente estudo, foram obtidos valores entre 0,10 e $0,12\text{m}^3$ por kg de sólidos totais adicionados. Já a produção de biogás por kg de sólidos voláteis adicionados esteve entre 0,12 e $0,15\text{m}^3$ (AMARAL ET AL, 2004).

Tabela 2: Teores de sólidos totais e voláteis e produção de biogás por kg estrume, por kg sólidos totais (ST) adicionados e por kg de sólidos voláteis (SV) adicionados e reduzidos, no afluente e nos efluentes dos biodigestores modelo Indiano e Chinês, nos tempos de retenção hidráulica de quarenta, trinta e vinte dias. Fonte: AMARAL ET AL, 2004.

Biodigestores	Indiano			Chinês		
	1	2	3	1	2	3
Tempo de retenção hidráulica (dias)	40	30	20	40	30	20
Sólidos totais contidos no afluente	11,54	8,34	7,56	11,54	8,34	7,56
Sólidos totais contidos no efluente	7,51	6,29	5,74	7,47	5,72	4,79
Sólidos voláteis contidos no afluente	9,62	6,79	5,98	9,62	6,79	5,98
Sólidos voláteis contidos no efluente	5,85	4,97	4,40	5,71	4,50	3,65
Produção média de biogás (m ³ /kg estrume)	0,0255	0,0244	0,0231	0,0233	0,0358	0,0279
Produção média de biogás por kg de sólidos totais adicionados (m ³ /kg ST adicionados)	0,1104	0,1162	0,1019	0,1013	0,1232	0,0279
Produção média de biogás por kg de sólidos voláteis adicionados(m ³ /kg SV adicionados)	0,1325	0,1427	0,1288	0,1215	0,1513	0,1558
Produção média de biogás por kg de sólidos voláteis reduzidos (m ³ /kg SV reduzidos)	0,3381	0,5324	0,4877	0,2989	0,4488	0,3999

Segundo Trani et al (2008) , Uma vaca pesando 453kg produz 23,5kg de esterco por dia, um cavalo de 385kg produz 16,3kg, um porco de 72kg produz 3,4kg de esterco e um frango pesando 1,6 kg produz 100g de esterco e urina. Logo, para se obter uma média para se trabalhar com a viabilidade do biogás, foi considerada uma produção de 30 dias, onde para os bovinos com uma média de peso de 500 kg, a produção de dejetos foi de 25kg/dia de dejetos sólidos, gerando uma produção diária de biogás de 0,625m³ de biogás por kg de dejetos sólidos. A estimativa de produção de biogás estimada acima foi feita para condições de 1atm. e 20°C CAETANO (1985).

3.3 Processos de Redução e Injeção de Material Auxiliar em Altos-Fornos

3.3.1 Alto-Forno

O alto-forno é um reator metalúrgico que tem como proposta produzir o ferro gusa, que é um estado líquido do ferro a uma temperatura em torno de 1500°C, que possui aproximadamente um teor de 4,5% de carbono. Ferro-gusa é o produto da redução do minério de ferro em alto-forno que contém elevado teor de carbono, devido ao contato próximo com o coque ou carvão vegetal, os quais atuam como combustível e redutor simultaneamente (SILVA, 2011). As

matérias-primas para a produção do ferro gusa são carregadas pelo topo do forno e são compostas basicamente por minério de ferro e combustível sólido, que é o agente redutor. Para auxiliar a produção e aumentar a eficiência da produção, se utiliza alguns tipos de combustíveis auxiliares, que podem ser carvão pulverizado, gás natural, óleos e materiais alternativos (BISWAS, 1981).

O alto-forno é considerado o reator metalúrgico mais complexo. Em seu interior ocorrem mais de 100 reações químicas e estão presentes os três estados da matéria: sólido, líquido e gasoso. Neste reator existe um elevado gradiente de temperatura (SOUZA, 2015). Em outras palavras, é um aparelho metalúrgico destinado à fusão redutora do minério de ferro. De funcionamento contínuo e é constituído de um recinto único. Caracteriza-se pelo fato de que, em funcionamento, fica em contato com a carga e os gases, produzindo grandes reações entre eles (SILVA, 2011).

A Figura 14 representa a estrutura esquemática de uma estrutura um alto-forno, entre eles se encontram os sistemas de carregamento, os dutos de gases, queimadores de gases, etc.

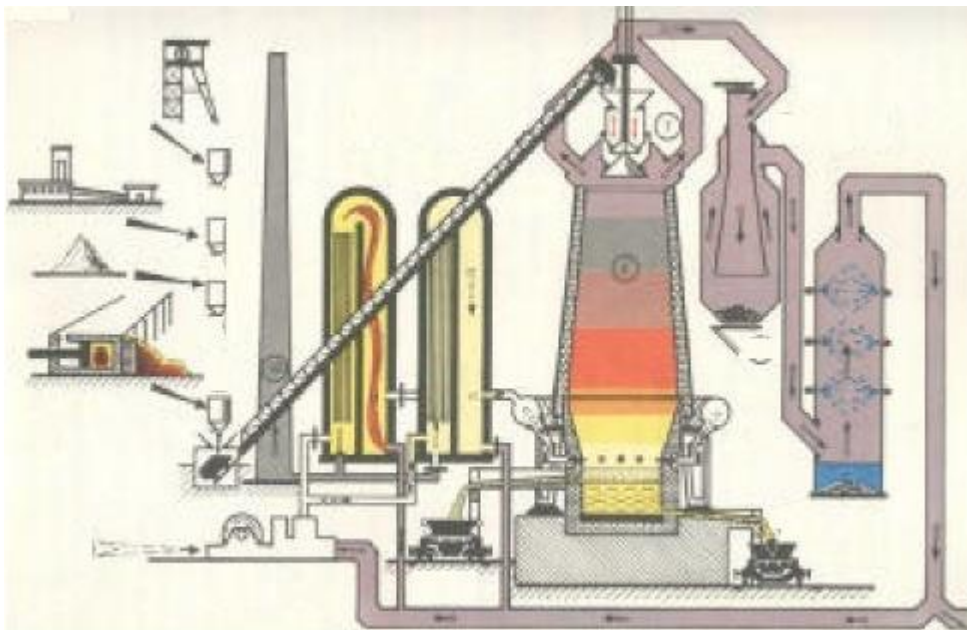


Figura 14: O alto-forno e suas instalações anexas. Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAOeAAJ/fundentes-na-siderurgia>. Acessado em 13/02/2016.

A Figura 15 representa um corte em um perfil de um alto-forno, onde é possível observar as partes principais deste reator.

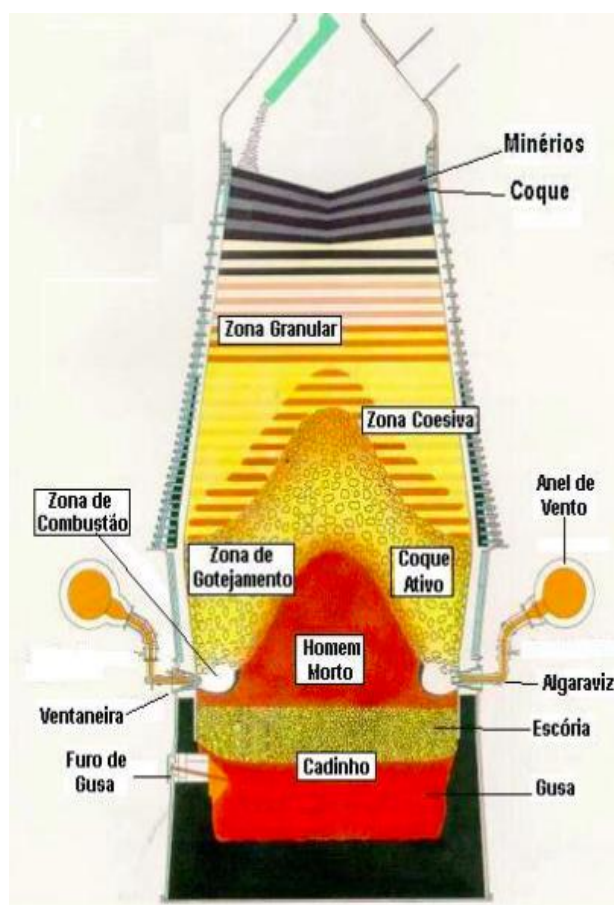


Figura 15: Corte vertical de um Alto-Forno (Fonte: <http://www.eeimvr.uff.br/psmetal.htm>). Acessado em 15/05/2015.

A operação do alto-forno consiste no carregamento de matérias primas que são adequadamente preparados com uma carga equilibrada de uma carga ferrosa e uma carga redutora. A grande vantagem do alto-forno é que a matéria-prima pode ser carregada diretamente através dos silos, sem qualquer tratamento, apenas com granulometria adequada (BISWAS, 1981).

O processo de redução consiste na utilização de um combustível redutor na maioria dos casos é utilizado coque ou carvão vegetal. Na maioria dos altos-fornos utilizados no mundo é usada a técnica de injeção de material auxiliar em ventaneiras, técnica que reduz a quantidade de matéria-prima injetada no alto-forno (CALIXTO, 2013).

3.3.2 As regiões de um alto-forno

O alto-forno se divide basicamente em cinco grandes zonas:

- Zona Granular
- Zona de Coesão
- Zona de Gotejamento
- Zona de Combustão
- Cadinho

A Figura 15 representa as zonas citadas anteriormente. Entre as mais de 100 reações que ocorrem no alto-forno, é correto dizer que o combustível inicial desses processos vem da transferência de calor oriunda dos gases que circulam no reator, que ao combinar com os elementos químicos presentes nas matérias-primas, formam gases que irradiam e absorvem calor. O alto-forno é considerado um reator de contra corrente devido ao fluxo vertical dos gases.

3.3.3 O Processo de Redução

O processo de redução do metal é algo complexo e é algo que foi se aprofundando com os anos, o grande marco foi em 1962, quando R. L. Stephenson foi o primeiro cientista a entender o papel da reação de gaseificação do carbono, ou *Solution Loss* (JÚNIOR, 2012). Até então, acreditava-se que esta reação entre o dióxido de carbono com o carbono gerando monóxido de carbono ($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$) era puro desperdício de combustível.

Stephenson demonstrou que a redução do óxido de ferro é uma combinação entre a chamada redução indireta e redução direta, e que a redução indireta seguida da reação de gaseificação do carbono é a redução direta.

Para se entender a diferença básica entre redução direta e indireta é necessário uma breve passagem pelo diagrama de Chaudron, cujas coordenadas são, composição dos gases

(CO/CO₂) versus temperatura, conforme a Figura 16.

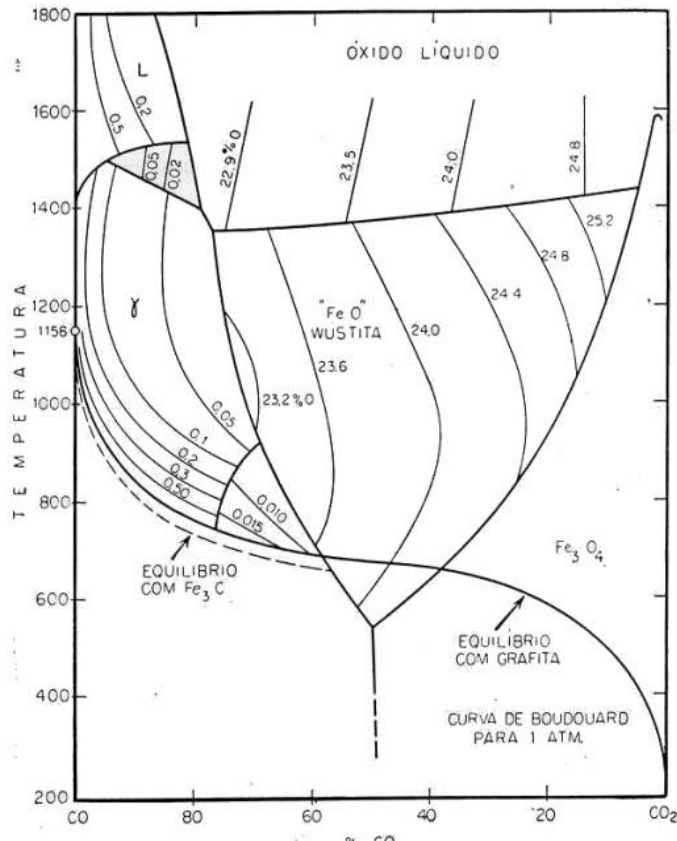
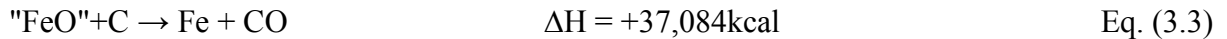
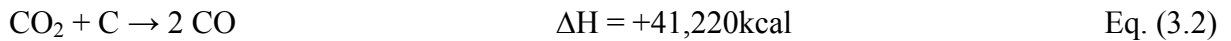
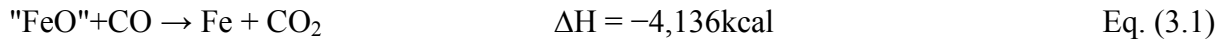


Figura 16: Diagrama de Chaudron (Oxi-redução). Fonte: JÚNIOR, 2012. Acessado em 02/04/2015.

Nesse diagrama está representada a curva da reação de Boudouard ($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$), responsável por definir o equilíbrio entre o Carbono e as suas fases gasosas CO e CO₂, também é projetada sobre o diagrama de Chaudron. Neste diagrama, à esquerda da curva de Boudouard (baixas temperaturas), o dióxido de carbono (CO₂) é a fase gasosa estável. Neste caso, o monóxido de carbono (CO) tende a se decompor em CO₂ e Carbono, ou seja, reação reversa de Boudouard. Para maiores temperaturas, o CO₂ reage com Carbono para produzir CO, em mais um exemplo do Princípio de Le Chatelier, pois sendo esta reação endotérmica, é favorecida pelas altas temperaturas (JÚNIOR, 2012).

Observa-se na Figura 16 que acima de 1000°C a reação de Boudouard é essencialmente completa, ou seja, a fase gasosa consiste de 100% CO, ou seja, termodinamicamente CO₂ não pode existir na presença de Carbono para temperaturas acima de 1000°C. Entretanto a redução dos óxidos ocorre, devido às reações representadas pelas Equações 3.1 e 3.2 que

ocorrem separadamente. Estas duas reações podem ser combinadas, para indicar a reação global:



A reação representada pela Equação 3.3 é chamada de redução direta pelo carbono, enquanto que a reação representada pela equação 3.1 é chamada de redução indireta pelo carbono (JÚNIOR, 2012). A redução indireta ocorre quando não existe mais a regeneração do poder redutor do gás, ou seja, para baixas temperaturas, quando não ocorre mais a reação de Boudouard, ocorre apenas redução indireta.

A boa interpretação do diagrama da Figura 16 faz toda a diferença para o entendimento do funcionamento do Alto-Forno, nota-se que a curva de equilíbrio da reação de Boudouard cruza a curva do equilíbrio wustita-ferro à aproximadamente 700°C e a curva de equilíbrio magnetita-wustita à cerca de 650°C. Novamente isto significa que, termodinamicamente, wustita não pode ser reduzida diretamente em temperaturas menores do que 700°C e magnetita não podem ser reduzidas em temperaturas menores do que 650°C, pelo fato de que o CO tende a se decompor em CO₂ e C, sem reduzir os óxidos desejados (JÚNIOR, 2012).

3.3.4 Técnica de injeção de carvão pulverizado (PCI)

A injeção de carvão pulverizado em alto-forno por ventaneiras é uma técnica utilizada em todo o mundo em muitas usinas siderúrgicas integradas. O principal objetivo desta técnica é reduzir o consumo de coque em altos-fornos e reduzir a emissão de CO₂ e conseqüentemente diminuir o custo de ferro-gusa (BARBIERI, 2013).

Recentemente, o carvão pulverizado também é injetado em altos-fornos, chamada de PCI ou ICP (injeção de carvão pulverizado), essa tecnologia foi introduzida nas indústrias de aço de alguns países desenvolvidos desde que o custo do carvão tornou-se mais razoável do que o do óleo (ISHII, 2000).

A substituição de parte do material redutor granulado, colocado na parte superior do alto-forno, por um combustível de baixo custo injetado diretamente através de ventaneiras, é o objetivo principal da PCI (ASSIS, 2006).

Segundo o Professor Assis (2006), em seu estudo sobre injeção de carvão pulverizado, o PCI consiste em:

- Redução do custo de agente redutor;
- Maior economia de operação em um alto-forno com injeção;
- Aumento de produtividade;
- Maior estabilidade operacional do reator devido à maior eficiência do controle térmico através da injeção.

A região onde ocorre a injeção é chamada de zona de combustão, que é uma região localizada em frente às ventaneiras que possui uma temperatura elevada, de aproximadamente 2000°C a 2400°C, onde existe uma elevada energia cinética do sopro de ar quente (injetado com velocidade de 180 a 280 m/s e pressões de 3 a 5 kgf/m²) e onde ocorre o consumo de combustível proveniente das injeções para se formar CO e H₂. A combustão do carvão na zona de combustão interfere diretamente no Coke-Rate, que é a relação de quanto de coque é consumido no processo de redução (QUINTANILLA, 2012).

Segundo Quintanilla (2012), o formato da zona de combustão é definido pela energia cinética do ar soprado e é influenciado pela qualidade do redutor, que afeta a direção dos gases que saem desta zona. A Figura 17 mostra como é feita a injeção de material auxiliar em uma ventaneira simples.

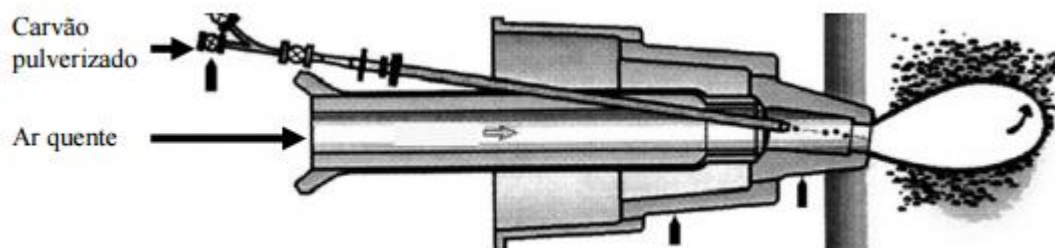


Figura 17: Injeção de carvão pulverizado através das ventaneiras. Fonte: MOSCKEM, 2010.

3.3.5 Injeção de materiais alternativos em ventaneiras

Segundo Fernandes (2007), o coque é o permeabilizador da carga do alto-forno, ele é o único material capaz de manter a permeabilidade do leito ao gás ascendente, bem como a da escória líquida e metal descendente. Devido a essa propriedade, o redutor sólido carregado pelo topo, é um dos grandes responsáveis pela permeabilidade do alto-forno, sendo necessário tamanho e distribuição adequada do coque para um bom funcionamento do forno. Porém a outra propriedade do coque, que é de assumir um de agente térmico, pode ser assumida por outros combustíveis, podendo ser líquidos (óleo combustível de petróleo e alcatrão de carvão mineral), gasosos de alto poder calorífico (gás redutor, gás natural e gás de coqueria) ou sólido (principalmente, carvão mineral), injetado pelas ventaneiras do forno. Assim, esses combustíveis auxiliares também participam como fontes de calor e de gás redutor para o processo (FERNANDES, 2007).

A partir do início da década de 80, a técnica de injeção de carvão foi aperfeiçoada, sendo implantada em todos os grandes altos-fornos. Porém o passar dos anos outros materiais foram sendo testados, muitos combustíveis como gás natural, gás de coqueria, alcatrão, e carvão pulverizado, puderam ser injetados através das ventaneiras do alto-forno. A injeção de gás natural permite que, além do carbono contido no gás substituindo o da carga de coque, seja aproveitado também o hidrogênio dissociado como redutor (ARAÚJO, 1997).

Desde os anos 90 iniciaram estudos sobre a injeção de gás natural em altos-fornos no Brasil, com o objetivo de reduzir o consumo específico de coque. Um exemplo a ser citado é o trabalho de CAVALIERO (2000), onde ele fala sobre um trabalho da empresa COSIPA, onde

a mesma injeta gás natural nos seus fornos. A Tabela 3 representa a injeção de gás natural nos altos-fornos da Cosipa em 1997.

Tabela 3: Injeção de gás natural nos altos-fornos da Cosipa em 1997. Fonte Adaptada: Cavaliero, 2000.

Dados	Alto-Forno 1	Alto-Forno 2
Produção de ferro gusa com injeção (tgusa) - Pinj.(ano)	1.449.580	2.206.834
Consumo específico de coque com injeção e aumento de produtividade (tcoque/tgusa)	0,484	0,467
Taxa de injeção (tGN/tgusa) - Tinj.	0,0231	0,0282
Taxa de Substituição (tcoque/tGN) - Tsubst.	1,2	1,20
Aumento de produtividade – Ptv (%)	0,07	0,09

Segundo o trabalho de CAVALIERO (2000) e as informações da Tabela 3, conclui-se que com a utilização de gás natural a economia de coque nos dois altos-fornos da COSIPA foi de 257.593t de coque. Este valor representa 332.378t carvão metalúrgico economizados e corresponde a 13% do consumo total de carvão metalúrgico na COSIPA.

Ainda nesse estudo, Cavaliero demonstrou como a injeção de gás natural diminuiu as emissões de CO₂ na atmosfera. Os resultados encontrados por Cavaliero estão na Tabela 4, onde se relatam as emissões de CO₂ da COSIPA em 1997.

Tabela 4: Emissão de CO₂ da COSIPA em 1997. Fonte: CAVALIERO, 1998.

Energéticos	Consumo (TJ)	Fator emissão (tC/TJ)	Emissão "C" (tC)	Emissão "C" (Gg)	Fração "C" Oxidada	Emissão "C" (Gg)	Emissão "CO ₂ " (Gg)
Carvão metalúrgico	67.142	25,8	1.732.262,0	1.732,2	0,98	1.697,62	6.224,59
Coque de petróleo	2.529	20,0	50.580,5	50,6	0,99	50,07	183,61
Ol. Combustível	2.015	21,1	42.509,2	42,5	0,99	42,08	154,31
Gás natural	10.063	15,3	153.963,9	154,0	1,00	154,00	564,56
Ól. Diesel	69	20,2	1.404,0	1,2	0,99	1,39	5,10
Gasolina	4	18,9	77,7	0,1	0,99	0,08	0,28

3.4 O estudo da viabilidade técnica do Biogás

No processo de produção de gusa são frequentes as pesquisas em busca de meios de redução dos custos do produto final, além de adequações do processo à escassez de matéria-prima e tudo isso com o intuito final de garantir a lucratividade do setor. A preocupação com os impactos ambientais do processo também é assunto frequentemente levantado por profissionais da área devido à sua igual grande importância.

Através da injeção de materiais pulverizados e gases através das ventaneiras de um reator, é possível conseguir economia de gastos com adição de carvão de topo. Por esse motivo, e também visando à redução dos malefícios causados pela liberação de gases diretamente na atmosfera, que surgiu a ideia da injeção de biogás pelas ventaneiras. Assim é possível evitar a liberação de CH_4 diretamente na atmosfera, que é um gás altamente prejudicial ao ecossistema no planeta, além de reduzir o consumo de carvão vegetal no alto-forno.

Para que seja possível a injeção de biogás em ventaneiras de altos-fornos, é necessário o estudo da sua viabilidade técnica no processo de redução. Existem várias formas de calcular essa viabilidade, fixando parâmetros desejáveis no alto-forno, como *coke-rate*, temperatura de chama, etc.

A Figura 18 sintetiza as etapas que foram observadas neste trabalho e que tem por objetivo calcular a viabilidade técnica e econômica do biogás aplicados em siderúrgicas, onde foram estabelecidos os custos e benefícios do sistema. Serão determinados o custo por metro cúbico de biogás e o fluxo de caixa do projeto, baseando-se em cada etapa: (1) implantação e produção dos biodigestores, (2) transporte do biogás e (3) utilização do biogás em ventaneiras.

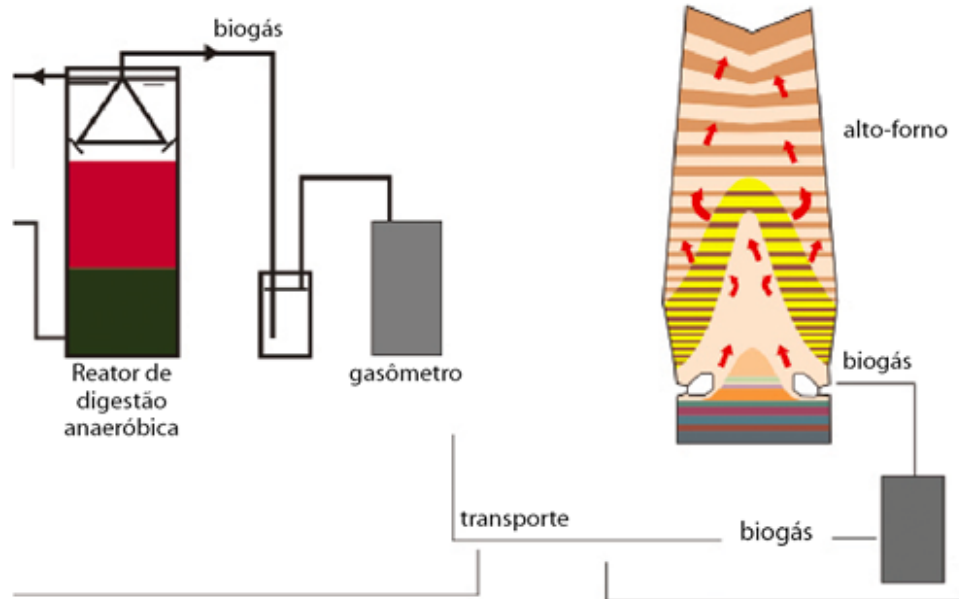


Figura 18: Figura sintetiza parte da cadeia do biogás: da produção em reator de digestão anaeróbica até o uso como combustível em alto-forno siderúrgico, uma das aplicações da tecnologia. Fonte: <https://www.ufmg.br/boletim/bol1747/5.shtml>. Acessado em 05/05/2015.

3.4.1 Injeção de biogás em ventaneiras de alto-forno e a Temperatura de Chama

Dentre as diferentes variáveis que são medidas e controladas para o bom funcionamento do alto-forno, umas das principais é a temperatura de chama, que é a temperatura oriunda dos gases ao saírem da zona de combustão.

A temperatura de chama para um alto-forno a coque pode ser estimada através do balanço térmico, conforme Equação 3.4 (CASTRO, 1998), onde a obtenção do seu valor e controle é de grande importância para a operação do alto-forno. Ela tem influência nos níveis térmicos do forno, afetando assim as temperaturas do ferro gusa e da escória, o escoamento gasoso e a incorporação de elementos ao gusa (CASTRO, 1998).

$$T_{\text{CHAMA}} = 1267,9 + 0,9742 \times T_s + 57,6358 \times E_{\text{ar}} - 7,1458 \times U_{\text{ar}} - 5_{\text{TG}} \quad \text{Equação (3.4)}$$

Onde,

T_{CHAMA} é a temperatura de chama ($^{\circ}\text{C}$);

T_s é a temperatura do ar de sopro ($^{\circ}\text{C}$);

E_{ar} é a taxa de enriquecimento de oxigênio no ar de sopro (%);

U_{ar} é a umidade do ar de sopro (m^3);

T_{GN} é a temperatura do gás natural ($^{\circ}\text{C}$);

A temperatura de chama do alto-forno está diretamente ligada aos gases estudados nesse trabalho, onde a variação da quantidade e tipo de gás injetado irá alterar diretamente a temperatura de chama final do alto-forno.

A injeção de gás natural juntamente com o combustível pulverizado resulta em redução do consumo de coque no topo, já que parte do carbono é adicionado pelas ventaneiras (levando à redução direta dos custos de produção de gusa), tem-se também a redução do volume de escória e da temperatura de chama que é resultado do efeito refrigerante do gás natural e do carvão pulverizado (SILVA, 2009).

O processo de produção de ferro-gusa nos altos-fornos requer determinados valores de temperatura de chama para que a redução do minério ocorra de maneira adequada (ASSUNÇÃO, 2011). Como já foi mencionado anteriormente no Capítulo 3.3.4, a respeito de injeção de materiais auxiliares em altos-fornos, o ar aquecido é injetado nas ventaneiras a velocidades de 180 a 280m/s, formando uma cavidade, que é a “zona de combustão. A Figura 19 representa a zona de combustão de um alto-forno, onde o tamanho da zona de combustão pode variar na faixa de 1,5 a 2,5m além do bico das ventaneiras.

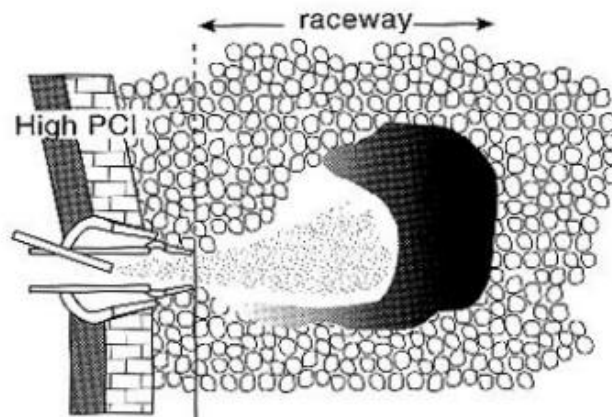
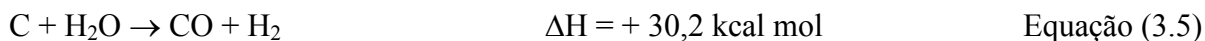


Figura 19: Representação de uma zona de combustão de um alto-forno. Fonte:
http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/93305/mod_resource/content/1/altoforno%20proc%20met.pdf
 Retirado em 04/03/2015

A injeção de CH₄ provoca um efeito refrigerante sobre a temperatura de chama. A Equação 3.5 representa a reação responsável pelo efeito refrigerante.



Quando se pratica a técnica de injeção em altos-fornos, costuma-se injetar certa quantidade de vapor junto com o ar de modo a manter constante a umidade do ar e exercer melhor controle sobre a temperatura de chama, que em altos-fornos a coque, que deve ser mantida na faixa de 2000°C a 2400°C para altos-fornos a coque (STOA USP, 2015).

3.5 O estudo da viabilidade econômica do Biogás

A produção de biogás por meio de biodigestão anaeróbia representa um avanço para equacionar o problema dos dejetos produzidos pela suinocultura e disponibilidade de energia no meio rural (CERVI et al, 2010). Para se verificar se um projeto é realmente viável é necessário se fazer um estudo de fatores que são determinantes para a implantação do projeto, como por exemplo, retorno de investimento, custos de manutenção, etc.

O propósito desse trabalho é utilizar o biogás como material auxiliar em altos-fornos e para que esse objetivo seja atingido, é preciso se avaliar a principal barreira, o custo. Hoje em dia

muito se aplica em grandes usinas a injeção gás natural junto à ventaneiras de injeção de PCI, porém já existe uma estrutura para que o gás natural chegue até as Usinas. O biogás ainda é uma novidade como material auxiliar em alto-forno, surgindo daí a necessidade de se estruturar a implantação, a cadeia logística e de produção, para então se comparar o investimento do biogás frente ao gás natural. Esse detalhamento será feito através do estudo da viabilidade econômica do biogás.

Os parâmetros utilizados nesse trabalho para o estudo de viabilidade se baseiam no trabalho de CERVI ET AL (2010) e da professora Dulce Maria Pereira, professora da Universidade Federal de Ouro Preto, onde por meio de um estudo de viabilidade econômica e custos de implantação de biogás, foram estabelecidos parâmetros para o cálculo de viabilidade.

3.5.1 A produção de biogás

Para se estudar a viabilidade econômica do biogás é necessário estimar a quantidade necessária para se atender uma usina anualmente.

3.5.1.1 Alimentação do Alto-Forno

Para fins de estudos da viabilidade técnica do alto-forno desse trabalho, devidos a padrões pré-estabelecidos pelo simulador, à simulação técnica foi feita utilizando um alto-forno, onde se é produzido diariamente 6.000t de ferro gusa por dia, porém, para fins de cálculo de viabilidade econômica, foi considerado um alto forno mais próximo da realidade brasileira.

O alto-forno em questão produz 3.000t de ferro gusa por dia utiliza em torno de 300.000m³ de gás natural, totalizando 9.000.000 metros cúbicos de gás natural por mês.

3.5.1.2 Produção Anual de Biogás

A produção anual de biogás será estimada por meio do trabalho de CERVI et al (2010), onde ele faz uso da Equação 3.6 para o devido cálculo:

$$P_{AB} = P_{DB} + T$$

Equação (3.6)

onde,

PAB - produção anual de biogás, $m^3 \text{ ano}^{-1}$;

PDB - produção diária de biogás, $m^3 \text{ dia}^{-1}$, e

T - disponibilidade anual da planta, dias ano^{-1} .

3.5.1.3 CAPEX e OPEX

Segundo CASTINERÃ (2008), o CAPEX representa os investimentos realizados durante a fase de desenvolvimento de campo, incluindo custos como construções de biodigestores, vias de escoamento de produção e etc. O OPEX engloba os custos necessários para manter a produção, tais como manutenção e operação, custos que serão mantidos até o final da operação do projeto.

3.5.1.3.1 Investimento inicial

O investimento inicial é classificado como o investimento necessário para a implantação das instalações e aquisição dos materiais e equipamentos. A estimativa do valor do investimento inicial será feito pelo somatório de todos o investimento inicial necessário ao investimento do projeto, que serão definidos como CAPEX na planilha de trabalho.

3.5.1.3.2 Custos Anuais do Sistema

Os custos anuais do sistema serão determinados considerando-se os custos fixos referentes à depreciação e aos juros sobre o capital imobilizado; e os custos variáveis referem-se à manutenção e à operação, onde será definido como OPEX.

3.5.1.4 Transporte

Atualmente existem cinco alternativas tecnológicas para o transporte de gás natural da fonte de produção até o destino final. Segundo BENDEZÚ (2009), são elas:

1. Gasoduto;
2. Transporte com redução de volume como GNC, GNL e HGN;
3. Conversão em outros produtos (GTL);
4. Conversão para outra forma de energia, como energia elétrica e transmissão por cabo submarino para a costa terrestre (GTW)
5. Transporte do gás como commodity (GTC).

Esse trabalho irá contemplar as duas principais formas de transporte de gás, o transporte do gasoduto e o transporte por gás comprimido (GNC).

3.5.1.4.1 Transporte por gás comprimido (GNC)

Essa técnica consiste em processar e acondicionar o gás natural em cilindros, à temperatura ambiente e pressão próxima à condição de mínimo fator de compressibilidade, aproximadamente a 220bar normalmente (BENDEZÚ, 2009). O gás natural comprimido ocupada um volume 268 vezes menor que em condições normais.

Segundo BENDEZÚ (2009), o gás pode ser transportado em taxas de compressão de 3.000psig ou 200bar. A Figura 20 demonstra esquematicamente a três etapas do processo de transporte de gás natural: compressão, transporte e descompressão.

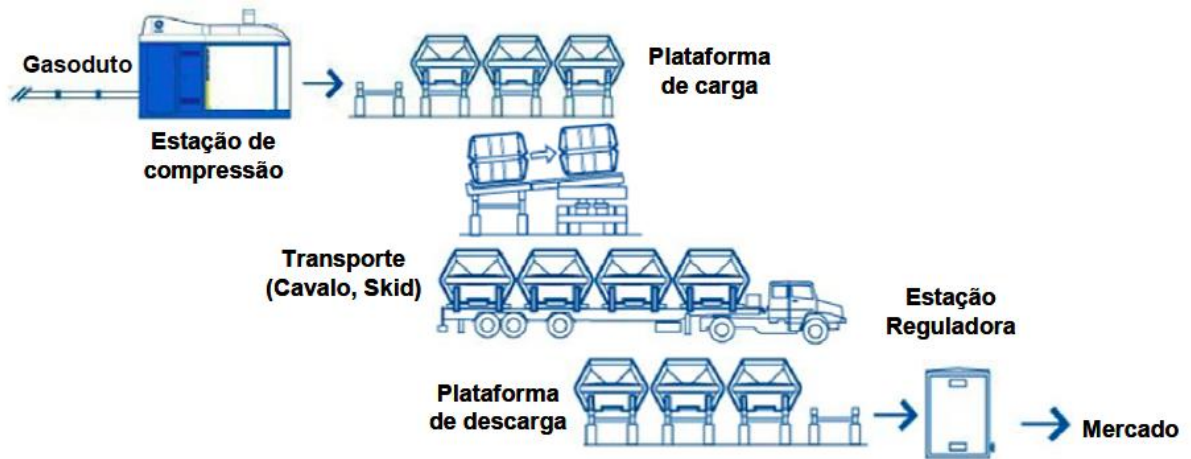


Figura 20: Esquemática do transporte de gás via GNC. Fonte: BENDEZÚ, 2009.

3.5.1.4.2 Transporte por gasoduto

Os gasodutos transportam gás natural na forma gasosa, sendo do tipo “ponto a ponto”. A operação é simples e segura. A Figura 21 representa a esquematização desse transporte, onde é composto por tubulações, estações de compressão, regulador de pressão com medidor de vazão, válvula de bloqueio, estação de supervisão e controle, proteção catódica e revestimento externo e interno Burman (BENDEZÚ, 2009).

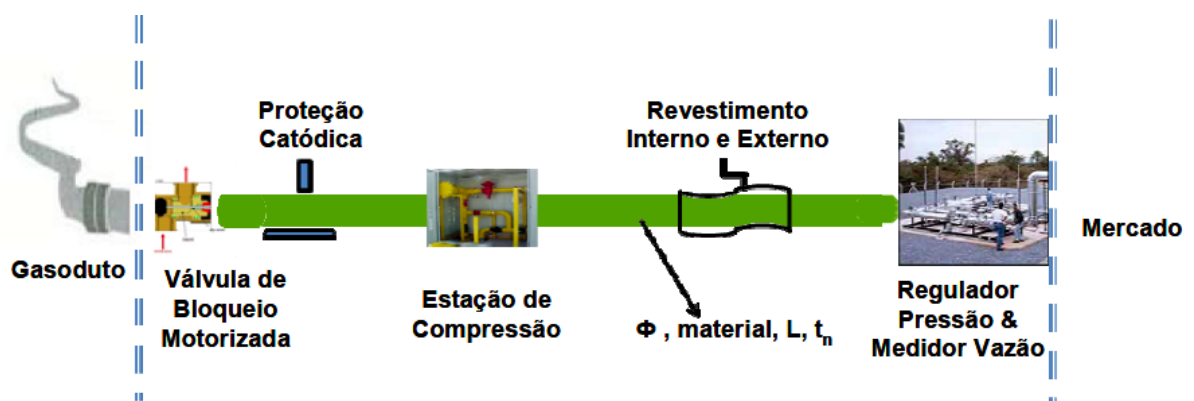


Figura 21: Vista esquemática do gasoduto. Fonte: BendeZú, 2009.

Das duas soluções apresentadas, a mais segura e economicamente viável é a por gasoduto, porém para que ela seja utilizável é necessária à construção de uma linha de gasoduto que

atenta os pontos de abastecimento e entrega do gás, o que dependendo da região, não é possível encontrar.

A desvantagem do transporte do GNC é o preço, que devido ao seu elevado valor, inviabiliza a implantação do projeto.

3.5.1.5 Depreciação

Depreciação é a redução do valor dos bens pelo desgaste ou perda de utilidade por uso, ação da natureza ou obsolescência (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2010).

O método de depreciação a ser utilizado será o da depreciação linear, descrito por NOGUEIRA (2001), conforme mostra a Equação (3.7):

$$D = \frac{C_i - C_f}{V_u} \quad \text{Equação (3.7)}$$

Onde,

D - depreciação anual, R\$ ano⁻¹;

C_i - custos de materiais depreciáveis, R\$;

C_f - valor final do ativo, R\$, e

V_u - vida útil, anos.

3.5.1.6 Fluxo de caixa do projeto

O Fluxo de caixa é a representação gráfica do conjunto de entradas (receitas) e saídas (despesas) relativo a um certo intervalo de tempo (PAMPLONA E MONTEVECHI, 1999). Um exemplo de fluxo de caixa pode ser visto na Figura 22.

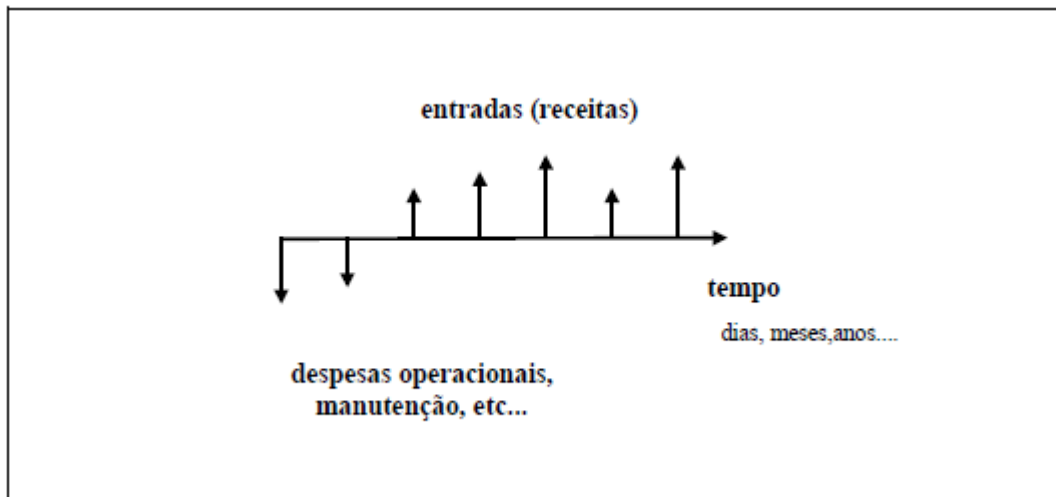


Figura 22: Fluxo de Caixa. Fonte: PAMPLONA E MONTEVECHI, 1999.

4. PARTE EXPERIMENTAL

4.1 Estudo de Viabilidade Técnica do Biogás

Para se obter um estudo mais aprofundado, foi necessário antes de tudo verificar a eficácia do Biogás como agente redutor em altos-fornos.

Essa etapa foi concluída com a ajuda de um programa de simulação computacional baseado no Modelo Rist onde são inseridas informações sobre carga e principais condições de trabalho do alto-forno. O programa de simulação utilizado é pertencente ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto.

As composições dos gases que foram utilizadas para simulação computacional foi uma média baseada em gases provenientes da biodigestão de dejetos suínos e bovinos, que foram retiradas da literatura, e que foram citadas na Tabela 1, da referência bibliográfica. A composição química do gás natural foi a usual, 100% CH₄.

O programa utilizado reproduz simulação de balanço de massa e realiza simulação de balanço térmico, ambos em linguagem Fortran baseando-se no modelo criado no IRSiD (*Institut de Recherche de la Sidérurgie*), hoje conhecido como Arcelor Mittal de Lorraine no Nordeste da França. As Figuras 23 e 24 representam a tela do programa no momento que se insere os inputs de matéria-prima.

```

C:\DOCUMENTOS\NAVIOP~1\Desktop\KERLLY~1\AFA_1.EXE

As seguintes matérias-primas (as composições podem ser alteradas
posteriormente) estão disponíveis para o carregamento :

01 - Coque           02 - Carvão Vegetal   03 - Minério I
04 - Minério II     05 - Sinter           06 - Pelota
07 - Calcário       08 - Dolomita         09 - M. manganês
10 - Bauxita        11 - Quartzo

As seguintes matérias primas foram escolhidas :
1      5      7      11

Alguma alteração ? (s/n)

```

Figura 23: Matérias-primas - Simulação Computacional feita em AFA_1.

```

C:\DOCUMENTOS\NAVIOP~1\Desktop\KERLLY~1\AFA_1.EXE

Os dados referentes a Gas de Coqueria são mostrados na tabela abaixo.
As composições são expressas em percentagem volumétrica, enquanto que
vazão se refere a Nm3 de gas injetado pelas ventaneiras por hora
de operação. Especifique, também, a temperatura de injeção

Injetado : Gas de coqueria

01- Vazão      02- % N2      03- % O2      04- % CO      05- % CO2
25.000        .000         .000         .000         30.000

06- % H2       07- % CH4     08- % H2O     09- Temperatura
.000          70.000       .000         25.000 C

Alguma alteração ? (s/n)n

```

Figura 24: Gases de Injeção - Simulação Computacional feita em AFA_1.

O Programa utilizado fornecia sugestões de inputs com informações de funcionamento do alto-forno, como variáveis de temperatura, matéria-prima e etc. A utilização do programa é livre, onde se é possível fixar algumas variáveis, como por exemplo, *coke-rate*, temperatura de chama, etc, e ir simulando e analisando o funcionamento do alto-forno a cada corrida.

As simulações realizadas foram feitas com injeção de gás natural e/ou biogás juntamente com a injeção de carvão pulverizado, sendo em todos esses materiais, considerada as composições utilizadas em grandes siderúrgicas do território nacional.

Para se realizar o cálculo térmico global do alto-forno em análise, foram consideradas as seguintes variáveis:

- %H₂ no gás de topo seco e vazão de ar;
- % da razão CO/CO₂ no topo e vazão de ar;
- %H₂ no gás de topo seco e razão CO/CO₂;
- %N₂ no gás de topo seco e vazão de ar.

A massa e composição de carvão mineral injetado, coque, minério, sinter, pó de alto-forno, materiais voláteis do coque são determinadas previamente, pois esses são dados de entrada do programa. Além disso, os dados de entrada devem ser padrão, pois a variação deles pode levar a erros nos resultados encontrados, impossibilitando uma análise comparativa dos mesmos.

As Tabelas 5 e 6 representam as matérias-primas pré-definidas do programa de simulação onde é demonstrado os valores considerados para as composições de massa de cada item. Porém era possível fazer todas as alterações de composições de matéria-prima, uma vez que seu balanço térmico fizesse sentido.

Tabela 5: Composição e massa de coque para produzir 1 tonelada de gusa

kg/t	%Fe	%Mn	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃
400	0.57	0	6	2.99
%CaO	%MgO	%FeO	%TiO ₂	%P ₂ O ₅
0.21	0.09	0	0.16	0.07
%S	%C _{fixo}	%H ₂ O		
0.6	85.24	2		

Tabela 6: Composição e massa de minério para produzir 1 tonelada de gusa

kg/t	%Fe	%Mn	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃
243.75	67.62	0.185	0.89	0.767
%CaO	%MgO	%FeO	%TiO ₂	%P ₂ O ₅
0.274	0.051	0.76	0	0
%S	%C _{fixo}	%H ₂ O		
0	0	2.8		

Durante a simulação do programa os dados são adicionados de acordo com a solicitação do mesmo, e então é feito o cálculo da perda térmica global desejada. Esse valor por sua vez serve de dado de entrada em outra simulação no programa, resultando no cálculo da

quantidade de biogás a ser injetado para que as condições de operação do Alto-Forno fiquem próximas das condições de operação com o uso de gás natural.

Além das perdas térmicas, o programa utiliza o desvio de Rist e a diferença de temperatura da carga e dos gases no PINCH POINT como dados de entrada e calcula a temperatura dos gases de topo, a partir de dados de operação como leito de fusão, percentagem de H₂ no gás de topo e perdas térmicas. O manual do programa sugere que seja considerado que 85% das perdas térmicas ocorrem na zona de elaboração e 15% na zona de preparação.

O programa possui algumas restrições, uma vez que não são considerados fatores como a distribuição e permeabilidade da carga, a velocidade de produção e a profundidade do sopra.

Para se testar a viabilidade técnica do biogás, foram estabelecidas as seguintes simulações:

- Simulação 1. Injeção 100% de gás natural;
- Simulação 2. Injeção 75% de gás natural e 25% biogás;
- Simulação 3. Injeção 50% de gás natural e 50% biogás;
- Simulação 4. Injeção 25% de gás natural e 75% biogás;
- Simulação 5. Injeção 100% biogás.

Durante a simulação foi utilizada uma taxa de injeção de gases de 100Nm³/t. Assim, os testes foram realizados com injeções de biogás e gás natural variando em proporções de 0-100% em quantidade injetada de volume de gás.

A taxa de injeção de carvão pulverizado (150 kg/t) e todos os outros parâmetros foram considerados os mesmos em todos os balanços, variando apenas as taxas de injeção de gás natural e biogás.

A temperatura de injeção do biogás, do gás natural e do carvão mineral foi 25°C. O carregamento do alto-forno foi contínuo e com aproximadamente 50% pelota, 30% de síter e 20% de minério.

O programa oferece apenas as opções de gás natural e gás de coqueria, logo a injeção de biogás foi feita atrás do input de gases, conforme Figura 23, onde era colocada a porcentagem de CH₄ e CO₂ desejada, compondo assim a fração de biogás e gás natural. A composição do gás natural usada foi 100% de CH₄ para melhor viabilidade de estudo e foi considerado um volume de biogás com uma taxa de 60% de CH₄ e 40% de CO₂, que é a proporção mais frequente desse gás.

4.2 Estudo de Viabilidade Econômica do Biogás

4.2.1 Levantamento de Custos com o Investimento

A primeira etapa fase do projeto consistiu na escolha do Biodigestor. Através de estudos chegou-se a conclusão que o Biodigestor que melhor atenderia a demanda, seria o Indiano, que é o biodigestor capaz de atender a uma grande demanda de produção de biogás sem grandes perdas.

O segundo passo foi procurar um modelo adaptado do biodigestor indiano que melhor adaptaria as condições de uso no Brasil. O biodigestor escolhido biodigestor rural descrito por OLIVEIRA JÚNIOR (2015) em seu trabalho publicado pela Universidade PUC Minas. A escolha se deu pela facilidade de aquisição dos materiais e ao menor preço em relação a outros biodigestores do mesmo modelo.

A Tabela 7, apresenta a lista de Materiais especificados para a instalação de um biodigestor indiano sugerido por Júnior (2015):

Tabela 7: lista de Materiais especificados para a instalação de um biodigestor. Fonte: Anexo B

Material	Quantidade
Caixa de fibra de 3000 litros	1 unidade
Sacos de cimento	10 unidades
Barra Ferro 6,3mm	1 unidade
Arame galvanizado 12	50 metros
Brita 01	6 latas
Areia	100 latas
Placa de zinco 0,40 cm	5 metros
Tijolos 6 furos	200 unidades
Cano PVC esgoto 100 mm	6 metros
Cano PVC rígido 50mm	3,5 metros
Cano de ferro 40mm	1,5 metros
Cano PVC 60mm	1 metro
Cano PVC 75mm azul	1 metro
Cano PVC rígido 20mm	30 metros
Cola PVC pequena	2 unidades
Joelho PVC rígido LR 20mm	3 unidades
CAP 75mm azul	1 unidade
T PVC rígido 20mm	1 unidade
Parafuso 29cm 3/8	1 unidade
Luva de união 20mm	2 unidades
Joelho PVC rígido 20mm	8 unidades
Flange 60x60mm	1 unidade
Flanges 20mm	3 unidades
Registros de esfera 20mm	3 unidades
Mangueira cristal trançada 20mm	5 metros
Luvras LR 20mm	6 unidades
Adaptador interno para mangueira PVC 20mm	3 unidades
Abraçadeiras rosca sem fim ½"	4 unidades
Vasilhame 20L acrílico (Água mineral)	1 unidade
Tábua 15cm x 4cm	2 metros
Barrote de madeira de 10	7 metros
Telha de fibra 1,50 x 0,80cm	1 unidade
Parafusos 8cm3/4	1 unidade
Pregos para telha Brasilit	4 unidades
Tela de nylon 1,50x0,80	1 metro
Veda rosca	2 unidades
Cano PVC rígido 25 mm	1 metro
Furadeira elétrica	1 unidade
Serra copo para furadeira elétrica	1 unidade

4.2.2 Levantamento de OPEX

Foi feito um estudo que levantou os gastos com transporte, manutenção e operação da planta. Tais custos levaram em conta dois tipos de transporte de gás, gasoduto e CGN, além de custo com pessoal.

Além dos gastos fixos mensais, para fins de cálculo de viabilidade do projeto, foi levado em conta à inflação (o valor considerado foi o atual, levando em conta o dia 25 de Janeiro de 2016, onde constava 10,45%), e depreciação conforme Equação 3.7.

Foi levado em consideração os impostos fixos da receita, PIS/COFINS (9,25%) e o ICMS (18%).

Para fins de melhor entendimento, foi feito um DRE simples, onde são apresentados os principais itens de um fluxo de caixa, conforme representado na Figura 25:

Descrição
Receita Bruta
(-) Impostos Prop.
Receita Líquida
Custo Var. Prod.
Custo Fixo Prod.
Lucro Bruto
Desp. Ger. Var.
Desp. Ger. Fixas
Depreciação
Despesas Finan.
Lucro Antes IR
IR/Contrib. Social
Lucro Líq. Após IR
(+) Depreciação
(-) Amortização
(-) Investimentos
(+) Liber. Financiam.
(+) Valor Residual
Fluxo de Caixa Empr.

Figura 25: Demonstrativo de resultado/Fluxo de caixa

Para fins de melhor controle de resultado, foi gerada uma planilha de Excel com todas as simulações que serão apresentadas ao decorrer desse trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Viabilidade Técnica do Biogás em Altos-fornos

Como já citado anteriormente, existem diversos parâmetros que permitem calcular a viabilidade técnica do alto-forno, uma das maneiras é fixando um parâmetro de grande importância no alto-forno, como por exemplo, o *coke-rate*, a temperatura de chama, etc, e simular o funcionamento do alto-forno, acompanhando os resultados dessa simulação.

Para esse trabalho, umas das variáveis escolhidas foi variação da Temperatura de Chama frente o efeito da utilização de biogás em Altos-Fornos, mantendo-se esse parâmetro como parâmetro variável, esperou-se que todos os outros parâmetros estivessem dentro do comportamento esperado de funcionamento de um alto-forno.

A outra variável escolhida foi o *coke-rate*, variável de grande importância que define o consumo de redutor no alto-forno. Essa é uma das variáveis mais controladas na produção do ferro gusa, primeiro pelo seu alto-custo e segundo pelas emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa.

5.1.1 Temperatura de Chama

Após a realização dos testes foi observado que quanto maior a injeção de biogás na composição da mistura do gás injetado, maior será o declínio da temperatura de chama. Após a substituição completa de gás natural por biogás, houve um declínio significativo na temperatura de chama. Isso se deve ao fato de que o CO_2 presente no biogás, que assim como o gás natural, ter o efeito endotérmico, devido à reação de Boudouard, ou seja, a presença de CO_2 implica que haverá a transformação a CO , gerando uma perda de energia na zona de combustão.

As Tabelas 8 e 9 representam os resultados feitos nos programas de simulação em duas etapas. A Tabela 8 consiste na injeção de biogás no alto-forno sem temperatura de chama fixa, ou seja, foi feita a simulação computacional sem fixar parâmetros, para se obter os resultados provocados pela injeção. Verificados os resultados da primeira etapa, onde ocorreu uma baixa temperatura de chama no processo, fixou-se a temperatura de chama em torno de

2250°C com o auxílio da injeção de oxigênio e uma temperatura de sopro de 1200°C, e assim se obtiveram *coke-rates* mais elevadas, conforme a Tabela 9.

Tabela 8: Relação Temperatura de Chama e Coke-Rate sem Temperatura de chama fixa e sem auxílio de oxigênio na injeção.

Injeção	CR (kg/t)	TC (°C)
100% NG	383,6	1907,0
75% NG 25% BG	387,0	1896,3
50% NG 50% BG	390,5	1885,0
25% NG 75% BG	393,9	1862,5
100% BG	397,4	1843,9

Tabela 9: Relação Temperatura de Chama e Coke-Rate com temperatura de chama fixa.

Injeção	CR (kg/t)	TC (°C)
100% NG	274,7	2251,7
75% NG 25% BG	285,2	2250,0
50% NG 50% BG	291,7	2249,1
25% NG 75% BG	295,1	2250,0
100% BG	298,6	2250,1

O consumo de redutor variou nos testes, mostrando que a substituição de gás natural por biogás provoca uma variação no consumo teórico de coque e na temperatura de chama. A escolha da temperatura de chama fixa 2250°C, condiz com as temperaturas de chama reais encontradas nos altos-fornos a coque. Adotou-se a tática de enriquecimento do ar em oxigênio para manter os níveis térmicos na zona de combustão.

Conforme resultados apresentados, ou uma queda significativa de temperatura de chama e para solucionar o problema de redução da eficiência térmica de projeto é necessário aumentar o aporte térmico através enriquecimento do ar com oxigênio ou adicionando mais carbono no reator. Porém é preciso estar atento aos efeitos dessas alterações do rendimento do forno e vários parâmetros operacionais, para não prejudicar o funcionamento do Alto-Forno.

A injeção de gases no Alto-forno causa uma maior redução na temperatura adiabática de chama por unidade, se comparado à injeção de carvão, que permite taxas de injeção mais altas.

5.1.2 Coke-Rate

Outras variáveis trabalhadas durante os teste de injeção, foi o *coke-rate*. Como já mencionado anteriormente, tal variável é de imensa importância, uma vez que é um dos objetivos desse trabalho é diminuir o consumo de combustível para a operação do Alto-Forno.

A Tabela 10 representa valores de simulações feitas utilizando o programa de simulação, onde foi fixada a temperatura de chama em 2250°C e foi injetado oxigênio em 2%, A taxa de injeção de carvão pulverizado (150 kg/t), com ressalva para o Experimento 1, onde não foi utilizado nenhuma forma de injeção de material auxiliar.

Tabela 10: Experimento com Injeção de Material Auxiliar

Experimento	Injeção	CR (kg/t)	FR (Kg/t)	FT (°C)	O ₂ (Nm ³ /t)
1	Sem injeção	344,753	495,753	2250°C	0,2977
2	100% Injeção GN	230,734	485,652	2250°C	26,5366
3	50% BG and 50% GN	265,658	549,035	2250°C	26,2786
4	100% Injeção BG	300,581	612,417	2250°C	26,0207

Onde,

1. Experimento sem injeção de material auxiliar;
2. Experimento com 100% de injeção de GN;
3. Experimento com 50% de injeção de GN e 50% de injeção de BG;
4. Experimento com 100% de injeção de BG.

A Figura 24 representa um gráfico onde é relacionado o *coke-rate* com *fuel-rate* em kg/t, tais valores são resultados obtidos pelas simulações e representados na Tabela 10, onde

mostra que a melhor relação seria com a injeção total de Gás Natural, porém a relação de 50% de BG e 50% de GN atende aos valores desejados de *coke-rate*, que seria de aproximadamente 250kg/t.

De acordo com a Figura 26, quando se injeta 100% de Biogás no Alto-Forno, o *coke-rate* fica em torno de 300kg/t, sendo um valor elevado, em relação ao que se objetiva para a operação do Alto-Forno, que seria em torno de 250kg/t

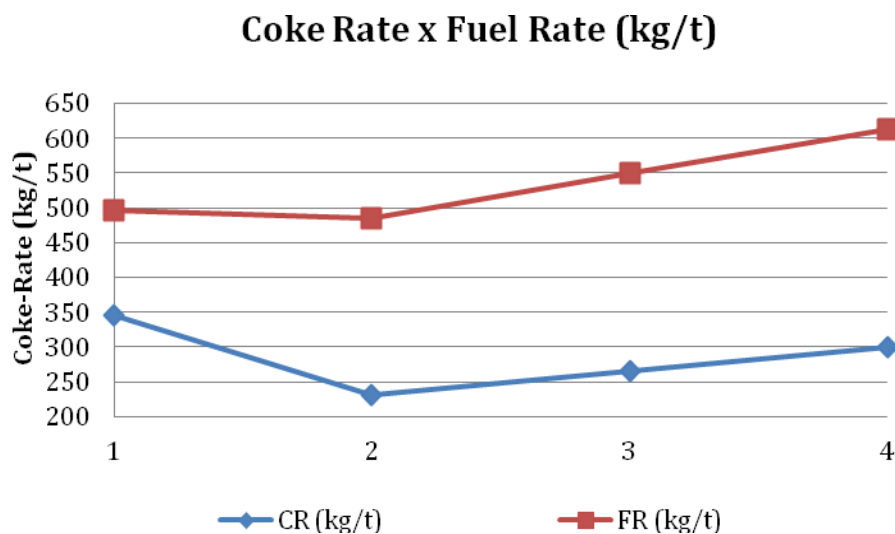


Figura 26: Relação Coke Rate x Fuel Rate com injeção de BG e GN.

Onde,

1. Experimento sem injeção de material auxiliar;
2. Experimento com 100% de injeção de GN;
3. Experimento com 50% de injeção de GN e 50% de injeção de BG;
4. Experimento com 100% de injeção de BG.

Após os experimentos de simulação computacional, chegou-se a conclusão que a viabilidade técnica do biogás é mantida quando se injeta 50% de BG e 50% de GN, conforme resultados apresentados acima, tanto para temperatura de chama quando para *coke-rate*, essa é a melhor proporção. Será utilizado uma temperatura de chama de aproximadamente 2250°C e um *coke-rate* em torno de 260kg/t.

5.2 Viabilidade Econômica do Biogás em Usinas Siderúrgicas

5.2.1 CAPEX

A primeira etapa de estudo de viabilidade foi o levantamento do Investimento necessário para se iniciar o investimento necessário para suprir 4.500.000 metros cúbicos de biogás mensalmente. Foram calculadas as quantias necessárias de biodigestores e equipamentos auxiliares baseando-se na lista de materiais do Capítulo 4.2.1, o resultado foi a Tabela 11.

Tabela 11: CAPEX do projeto de uso de biogás.

Cálculo de Volume de Biogás				
Descrição				
1.	Terrenos	m2	R\$/m2	Total
1.1	Fazenda	270.000	R\$ 11,11	3.000.000
2.	Construções	Quantidade	Preço Unitário	Total
2.1	Adaptação casa sede	1	R\$ 150.000,00	R\$ 150.000,00
2.2	Caixa de fibra de 3000 litros	300	R\$ 879,00	R\$ 263.700,00
2.3	Sacos de cimento	3.000	R\$ 13,49	R\$ 40.470,00
2.4	Barra Ferro 6,3mm	300	R\$ 12,90	R\$ 3.870,00
2.5	50 m Arame galvanizado 12	300	R\$ 10,90	R\$ 3.270,00
2.6	Lata Brita 01	1.800	R\$ 2,30	R\$ 4.140,00
2.7	Latas Areia	30.000	R\$ 1,42	R\$ 42.600,00
2.8	Placa de zinco 0,40 cm x 5m	1.200	R\$ 39,90	R\$ 47.880,00
2.9	Tijolos 6 furos	60.000	R\$ 0,48	R\$ 28.800,00
2.10	barra /6m Cano PVC esgoto 100 mm	600	R\$ 25,90	R\$ 15.540,00
2.11	Cano PVC rígido 3,5m x50mm	300	R\$ 37,91	R\$ 11.371,50
2.12	Cano de ferro 3,5m x 40mm	300	R\$ 90,86	R\$ 27.258,00
2.13	Cano PVC 60mm x 1,5 m	300	R\$ 7,66	R\$ 2.296,50
2.14	Cano PVC 75mm x 1m azul	300	R\$ 22,90	R\$ 6.870,00
2.15	Cola PVC pequena	600	R\$ 3,99	R\$ 2.394,00
2.16	Cano PVC rígido 20mm x 30 m	3.000	R\$ 18,75	R\$ 56.250,00
2.17	Joelhos PVC rígido LR 20mm	900	R\$ 0,60	R\$ 540,00
2.18	CAP 75mm azul	300	R\$ 3,09	R\$ 927,00
2.19	PVC rígido 20mm x 1m	300	R\$ 1,20	R\$ 360,00
2.20	Parafuso 29cm 3/8	300	R\$ 2,40	R\$ 720,00
2.21	Luva de união 20mm	600	R\$ 1,97	R\$ 1.182,00
2.22	Joelho PVC rígido 20mm	2.400	R\$ 0,26	R\$ 624,00
2.23	Flange 60x60mm	300	R\$ 4,39	R\$ 1.317,00
2.24	Flanges 20mm	900	R\$ 4,39	R\$ 3.951,00
2.25	Registros de esfera 20mm	900	R\$ 15,99	R\$ 14.391,00
2.26	Mangueira cristal trançada 20mm x 1m	1.500	R\$ 2,53	R\$ 3.795,00
2.27	Luvas LR 20mm	1.800	R\$ 1,03	R\$ 1.854,00
2.28	Adaptador interno para mangueira PVC 20mm	900	R\$ 0,40	R\$ 360,00
2.29	Abraçadeiras rosca sem fim ½"	1.200	R\$ 6,29	R\$ 7.548,00
2.30	Vasilhame 20L acrílico (Água mineral)	300	R\$ 9,89	R\$ 2.967,00
2.31	Tábua 15cm x 4cm x 2 m	600	R\$ 44,16	R\$ 26.496,00
2.32	Barrote de madeira de 10 - 7 m	600	R\$ 57,86	R\$ 34.716,00
2.33	Telha de fibra 1,50 x 0,80cm	300	R\$ 32,70	R\$ 9.810,00
2.34	Parafusos 8cm3/4	300	R\$ 0,08	R\$ 25,14
2.35	Pregos para telha Brasilit	1.200	R\$ 0,28	R\$ 341,40
2.36	Tela de nylon 1,50x0,80	300	R\$ 4,95	R\$ 1.485,00
2.37	Veda rosca	600	R\$ 3,89	R\$ 2.334,00
2.38	Cano PVC rígido 25 mm x 1 m	300	R\$ 8,97	R\$ 2.690,00
3.	Equipamentos			
3.1	Tanques de armazenamento de biogás	30	R\$ 850,00	R\$ 25.500,00
3.2	1 Furadeira elétrica	1	R\$ 89,90	R\$ 89,90
3.3	1 Serra copo para furadeira elétrica	1	R\$ 121,90	R\$ 121,90
3.4	Gasômetro	300	R\$ 2.125,00	R\$ 637.500,00
3.5	Compressor de gás	30	R\$ 12.750,00	R\$ 382.500,00
Total de Investimentos				R\$ 4.870.855,34

5.2.2 OPEX

Na Segunda etapa foram levantados os custos com OPEX, onde se priorizou o custo com pessoal, matéria-prima, equipamentos para manutenção e funcionamento da planta. A Tabela 12 e 13 representam o OPEX, onde estão calculados todos os custos de operação.

Tabela 12: OPEX do projeto de uso de biogás.

Cálculo de Volume de Biogás									
Volume	m3/mês	m3/ano	OBS						
1. Quantidade necessária	4.500.000	54.000.000	Quantidade avaliada pra alto forno de 3k ton/dia						
Cálculo do Volume de Esterco necessário									
Volume	DIA			MÊS			ANO		
	Qde Biogás Dias Necessária	Esterco ton	Bovinos necess.	Qde Biogás Dias Necessária	Esterco ton	Bovinos necess.	Qde Biogás Dias Necessária	Esterco ton	Bovinos necess.
1. Quantidade necessária	150.000	417	41.667	4.500.000	12.500	1.250.000	54.000.000	150.000	15.000.000
Cálculo de Matéria Prima (Esterco/ano)									
Volume	Kg/ano	R\$/kg	Total Ano	OBS					
1. Quantidade necessária	150.000	R\$ 2,95	R\$ 442.500,00						
Cálculo de Matéria Prima (Água/ano)									
Volume	Litros/ano	Valor/mês	Total Ano	OBS					
1. Quantidade necessária	150.000	R\$ 81.775,25	R\$ 981.303,00						
Cálculo de Matéria Prima (Energia Elétrica/ano)									
Volume	Litros/ano	Valor/mês	Total Ano	OBS					
1. Quantidade necessária	150.000	R\$ 81.775,25	R\$ 981.303,00						
Transporte									
Volume	Litros/Mês	Valor/mês	Total Ano	OBS					
1. Transporte Terrestre	4.500.000	R\$ 74.573.506,88	R\$ 894.882.082,50	O Biogás tem compressão 12x , equando do GN 283x					
2. Gasoduto	4.500.000	R\$ 5.895.000,00	R\$ 70.740.000,00	O valor pode variar de acordo com a Concessionária					

Tabela 13: Despesas com Mão de Obra

Mão de Obra						
Descrição						
1.	Descrição de Cargo	Quantidade	Salário	Custo Func. Com Impostos	Custo Anual	
1.1	Operador	10	R\$ 1.200,00	R\$ 2.640,00	R\$	34.320,00
1.2	Coordenador	1	R\$ 3.000,00	R\$ 6.600,00	R\$	85.800,00
1.3	Administrador	1	R\$ 1.700,00	R\$ 3.740,00	R\$	48.620,00
1.4	Contador	1	R\$ 2.000,00	R\$ 4.400,00	R\$	57.200,00
Total		13	R\$ 7.900,00	R\$ 17.380,00	R\$	225.940,00

Premícias	Encargos	2,2
	Total Meses	13,0

5.2.3 Transporte

A partir dessa etapa, onde é calculado o custo com o transporte de biogás, foram feitas variações nas análises, onde se fez o estudo da viabilidade considerando as seguintes situações:

1. Viabilidade do Biogás considerando transporte por gás comprimido;
2. Viabilidade do Biogás considerando transporte por gasoduto;
3. Viabilidade do Biogás sem considerar o transporte com o biogás.

A Primícia utilizada para todas as contas foi a seguinte:

Inflação (Variação no período - em %)	
IPCA (Acumulado 12 meses) - Fonte: Valor Econômico	10,36%

5.2.3.1 Transporte via gás comprimido

Durante essa etapa da pesquisa, houve uma grande dificuldade na cotação de valores do transporte de gás via gás comprimido, as empresas responsáveis por esse tipo de serviço são fechadas e a maioria não foi favorável quando se solicitou o orçamento desse transporte para fins de pesquisa.

Para essa quantidade mensal de biogás são necessários 3.000 biodigestores, uma vez que cada biodigestor considerado nesse estudo tem a capacidade de produzir aproximadamente 500m³ de biogás em certa de 30-40 dias, sendo possível a retirada de 50m³ de biogás diariamente de cada biodigestor.

A tabela 14(a) e 14(b) demonstram o gasto estimado com o transporte de gás natural, sendo fornecido por uma empresa de logística localizada no sudeste do Brasil, onde o valor cobrado foi de R\$ 0,7267 por metro cúbico de biogás transportado, considerando uma distância de aproximadamente 160km, que seria a **distância de um zona rural na cidade de viçosa até uma usina siderúrgica de grande porte localizada** dentro de Ouro Branco.

Tabela 14(a): Frete de Biogás via gás comprimido.

OPEX para Transporte Terrestre

Descrição	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
1. Custo variável de produção				
1.1 Matéria-Prima				
1.1.1 Esterco Bovino	R\$ 442.500	R\$ 488.343,00	R\$ 538.935,33	R\$ 594.769,04
1.1.2 Água	R\$ 981.303	R\$ 1.082.965,99	R\$ 1.195.161,27	R\$ 1.318.979,97
Total Parcial	R\$ 1.423.803	R\$ 1.571.309	R\$ 1.734.097	R\$ 1.913.749
1.2 Frete				
1.2.1 Gás Comprimido - Transporte Terrestre	R\$ 894.882.082,50	R\$ 987.591.866,25	R\$ 1.089.906.383,59	R\$ 1.202.820.684,93
1.3 Mão de Obra Direta	R\$ 225.940	R\$ 249.347,38	R\$ 275.179,77	R\$ 303.688,40
1.4 Energia Elétrica (processo produtivo)	R\$ 48.000	R\$ 52.972,80	R\$ 58.460,78	R\$ 64.517,32
Total Parcial	R\$ 898.003.629	R\$ 991.036.804	R\$ 1.093.708.217	R\$ 1.207.016.389
2. Custo Fixo de Produção				
2.1 Manutenção	R\$ 243.542,77	R\$ 268.773,80	R\$ 296.618,76	R\$ 327.348,47
2.2 Seguros	R\$ 29.225,13	R\$ 32.252,86	R\$ 35.594,25	R\$ 39.281,82
2.3 Demanda de Energia Elétrica	R\$ 48.000,00	R\$ 52.972,80	R\$ 58.460,78	R\$ 64.517,32
2.4 Aluguel	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Total Parcial	R\$ 320.767,90	R\$ 353.999,45	R\$ 390.673,80	R\$ 431.147,60
3. Despesa Geral Variável				
3.1 Despesas Variáveis com Vendas (Comissão de vendedores)	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3.2 Despesas Financeiras com Desconto de Duplicatas	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3.3 Eventuais	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Total Parcial	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
4. Despesa Geral Fixa				
4.1 Despesas Administrativas	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
4.2 Impostos fixos (IPTU, Taxas diversas)	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00
Total Parcial	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00
5. Impostos Proporcionais				
5.1 ICMS	R\$ 20.474.423,46	R\$ 22.595.573,73	R\$ 24.936.475,17	R\$ 27.519.894,00
5.2 IPI	R\$ 11.517.060,00	R\$ 12.710.227,42	R\$ 14.027.006,98	R\$ 15.480.204,90
5.3 PIS/FINSOCIAL	R\$ 2.303.412,00	R\$ 2.542.045,48	R\$ 2.805.401,40	R\$ 3.096.040,98
Total Parcial	R\$ 34.294.895,46	R\$ 37.847.846,63	R\$ 41.768.883,54	R\$ 46.096.139,88
Custo Global	R\$ 934.060.095	R\$ 1.030.826.959	R\$ 1.137.618.871	R\$ 1.255.474.425

Tabela 14(b): Frete de Biogás via gás comprado.

Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
R\$ 656.387,11	R\$ 724.388,81	R\$ 799.435,49	R\$ 882.257,01	R\$ 973.658,84	R\$ 1.074.529,89
R\$ 1.455.626,30	R\$ 1.606.429,18	R\$ 1.772.855,25	R\$ 1.956.523,05	R\$ 2.159.218,84	R\$ 2.382.913,91
R\$ 2.112.013	R\$ 2.330.818	R\$ 2.572.291	R\$ 2.838.780	R\$ 3.132.878	R\$ 3.457.444
R\$ 1.327.432.907,89	R\$ 1.464.954.957,15	R\$ 1.616.724.290,71	R\$ 1.784.216.927,22	R\$ 1.969.061.800,88	R\$ 2.173.056.603,46
R\$ 335.150,52	R\$ 369.872,11	R\$ 408.190,86	R\$ 450.479,43	R\$ 497.149,10	R\$ 548.653,75
R\$ 71.201,31	R\$ 78.577,77	R\$ 86.718,43	R\$ 95.702,46	R\$ 105.617,23	R\$ 116.559,17
R\$ 1.332.063.287	R\$ 1.470.065.043	R\$ 1.622.363.781	R\$ 1.790.440.669	R\$ 1.975.930.323	R\$ 2.180.636.704
R\$ 361.261,77	R\$ 398.688,49	R\$ 439.992,61	R\$ 485.575,85	R\$ 535.881,51	R\$ 591.398,83
R\$ 43.351,41	R\$ 47.842,62	R\$ 52.799,11	R\$ 58.269,10	R\$ 64.305,78	R\$ 70.967,86
R\$ 71.201,31	R\$ 78.577,77	R\$ 86.718,43	R\$ 95.702,46	R\$ 105.617,23	R\$ 116.559,17
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ 475.814,49	R\$ 525.108,88	R\$ 579.510,15	R\$ 639.547,41	R\$ 705.804,52	R\$ 778.925,87
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00
R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00
R\$ 30.370.955,01	R\$ 33.517.385,95	R\$ 36.989.787,14	R\$ 40.821.929,09	R\$ 45.051.080,94	R\$ 49.718.372,93
R\$ 17.083.954,13	R\$ 18.853.851,77	R\$ 20.807.110,82	R\$ 22.962.727,50	R\$ 25.341.666,07	R\$ 27.967.062,67
R\$ 3.416.790,83	R\$ 3.770.770,35	R\$ 4.161.422,16	R\$ 4.592.545,50	R\$ 5.068.333,21	R\$ 5.593.412,53
R\$ 50.871.699,97	R\$ 56.142.008,08	R\$ 61.958.320,12	R\$ 68.377.202,08	R\$ 75.461.080,22	R\$ 83.278.848,13
R\$ 1.385.539.814	R\$ 1.529.079.978	R\$ 1.687.490.902	R\$ 1.862.313.199	R\$ 2.055.247.085	R\$ 2.268.168.922

5.2.3.2 Transporte via gasoduto

Para se fazer a simulação do preço do biogás via gasoduto foi feita levantamento de quanto seria a margem que o custo com transporte representa no valor final do gás natural. A pesquisa mostrou que o valor representa em média 48% do preço final do gás natural (INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA O GASODUTO DE REFERÊNCIA, NOS TEMPOS DO ART. 8ª, §2º, DO DECRETO Nº 7.382/2010).

Atualmente no estado de Minas Gerais existe uma concessionária de transporte de gás natural, a GASMIG, que é responsável pelo transporte de gás natural no estado de Minas Gerais via gasoduto. A Tabela 15 representa a tabela de preços de gás natural para abastecimento industrial. O preço final do gás natural varia de acordo com demanda que se necessita ser transportada.

No caso desse trabalho, a faixa necessária a ser transportado (4.500.000m³/mês), o valor considerado é de R\$1,3130.

Tabela 15: Preço do Gás Natural para fornecimento industrial. Fonte: Gasmig. Acessado em 03/01/16

Industrial

Consumo (m ³ /quinzena) aplicado em cascata	Tarifa sem impostos (R\$/m ³)	Tarifa com impostos (R\$/m ³)
1 a 1.250	1,7697	2,2473
1.251 a 2.500	1,2509	1,5885
2.501 a 6.250	1,2316	1,5639
6.251 a 12.500	1,2012	1,5253
12.501 a 62.500	1,1940	1,5162
62.501 a 187.500	1,1902	1,5114
187.501 a 375.000	1,1708	1,4867
375.001 a 750.000	1,1529	1,4640
750.001 a 1.500.000	1,1220	1,4248
1.500.001 a 2.000.000	1,1021	1,3995
2.000.001 a 3.000.000	1,0698	1,3585
3.000.001 a 4.000.000	1,0349	1,3142
4.000.001 e acima	1,0066	1,2782
Demanda	0,1037	0,1317
Sobredemanda	1,8734	2,3789

De acordo com o que foi levantado em relação ao percentual do custo do transporte do gás natural, o valor final de frete via gasoduto é estimulado em R\$0,63 metro cúbico por km, o que significa dizer que 1m³ = R\$1,3130*48%.

A Tabela 16 (a) e (b) representa os gastos com transporte via gasoduto.

Tabela 16(a): Frete via Gasoduto

OPEX para Transporte Gasoduto				
Descrição	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
1. Custo variável de produção				
1.1 Matéria-Prima				
1.1.1 Esterco Bovino	R\$ 442.500	R\$ 488.343,00	R\$ 538.935,33	R\$ 594.769,04
1.1.2 Água	R\$ 981.303	R\$ 1.082.965,99	R\$ 1.195.161,27	R\$ 1.318.979,97
Total Parcial	R\$ 1.423.803	R\$ 1.571.309	R\$ 1.734.097	R\$ 1.913.749
1.2 Frete				
1.2.1 Gasoduto	R\$ 70.740.000,00	R\$ 78.068.664,00	R\$ 86.156.577,59	R\$ 95.082.399,03
1.3 Mão de Obra Direta	R\$ 225.940	R\$ 249.347,38	R\$ 275.179,77	R\$ 303.688,40
1.4 Energia Elétrica (processo produtivo)	R\$ 48.000	R\$ 52.972,80	R\$ 58.460,78	R\$ 64.517,32
Total Parcial	R\$ 73.861.546	R\$ 81.513.602	R\$ 89.958.411	R\$ 99.278.103
2. Custo Fixo de Produção				
2.1 Manutenção	R\$ 243.542,77	R\$ 268.773,80	R\$ 296.618,76	R\$ 327.348,47
2.2 Seguros	R\$ 29.225,13	R\$ 32.252,86	R\$ 35.594,25	R\$ 39.281,82
2.3 Demanda de Energia Elétrica	R\$ 48.000,00	R\$ 52.972,80	R\$ 58.460,78	R\$ 64.517,32
2.4 Aluguel	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Total Parcial	R\$ 320.767,90	R\$ 353.999,45	R\$ 390.673,80	R\$ 431.147,60
3. Despesa Geral Variável				
3.1 Despesas Variáveis com Vendas (Comissão de vendedores)	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3.2 Despesas Financeiras com Desconto de Duplicatas	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3.3 Eventuais	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Total Parcial	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
4. Despesa Geral Fixa				
4.1 Despesas Administrativas	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
4.2 Impostos fixos (IPTU, Taxas diversas)	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00
Total Parcial	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00
5. Impostos Proporcionais				
5.1 ICMS	R\$ 20.474.423,46	R\$ 22.595.573,73	R\$ 24.936.475,17	R\$ 27.519.894,00
5.2 IPI	R\$ 11.517.060,00	R\$ 12.710.227,42	R\$ 14.027.006,98	R\$ 15.480.204,90
5.3 PIS/FINSOCIAL	R\$ 2.303.412,00	R\$ 2.542.045,48	R\$ 2.805.401,40	R\$ 3.096.040,98
Total Parcial	R\$ 34.294.895,46	R\$ 37.847.846,63	R\$ 41.768.883,54	R\$ 46.096.139,88
Custo Global	R\$ 109.918.012	R\$ 121.303.757	R\$ 133.869.065	R\$ 147.736.139

Tabela 16(b): Frete via Gasoduto

Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
R\$ 656.387,11	R\$ 724.388,81	R\$ 799.435,49	R\$ 882.257,01	R\$ 973.658,84	R\$ 1.074.529,89
R\$ 1.455.626,30	R\$ 1.606.429,18	R\$ 1.772.855,25	R\$ 1.956.523,05	R\$ 2.159.218,84	R\$ 2.382.913,91
R\$ 2.112.013	R\$ 2.330.818	R\$ 2.572.291	R\$ 2.838.780	R\$ 3.132.878	R\$ 3.457.444
R\$ 104.932.935,57	R\$ 115.803.987,69	R\$ 127.801.280,82	R\$ 141.041.493,51	R\$ 155.653.392,24	R\$ 171.779.083,67
R\$ 335.150,52	R\$ 369.872,11	R\$ 408.190,86	R\$ 450.479,43	R\$ 497.149,10	R\$ 548.653,75
R\$ 71.201,31	R\$ 78.577,77	R\$ 86.718,43	R\$ 95.702,46	R\$ 105.617,23	R\$ 116.559,17
R\$ 109.563.314	R\$ 120.914.074	R\$ 133.440.772	R\$ 147.265.236	R\$ 162.521.914	R\$ 179.359.184
R\$ 361.261,77	R\$ 398.688,49	R\$ 439.992,61	R\$ 485.575,85	R\$ 535.881,51	R\$ 591.398,83
R\$ 43.351,41	R\$ 47.842,62	R\$ 52.799,11	R\$ 58.269,10	R\$ 64.305,78	R\$ 70.967,86
R\$ 71.201,31	R\$ 78.577,77	R\$ 86.718,43	R\$ 95.702,46	R\$ 105.617,23	R\$ 116.559,17
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ 475.814,49	R\$ 525.108,88	R\$ 579.510,15	R\$ 639.547,41	R\$ 705.804,52	R\$ 778.925,87
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00
R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00
R\$ 30.370.955,01	R\$ 33.517.385,95	R\$ 36.989.787,14	R\$ 40.821.929,09	R\$ 45.051.080,94	R\$ 49.718.372,93
R\$ 17.083.954,13	R\$ 18.853.851,77	R\$ 20.807.110,82	R\$ 22.962.727,50	R\$ 25.341.666,07	R\$ 27.967.062,67
R\$ 3.416.790,83	R\$ 3.770.770,35	R\$ 4.161.422,16	R\$ 4.592.545,50	R\$ 5.068.333,21	R\$ 5.593.412,53
R\$ 50.871.699,97	R\$ 56.142.008,08	R\$ 61.958.320,12	R\$ 68.377.202,08	R\$ 75.461.080,22	R\$ 83.278.848,13
R\$ 163.039.842	R\$ 179.929.009	R\$ 198.567.893	R\$ 219.137.765	R\$ 241.838.676	R\$ 266.891.402

5.2.3.3 Biogás sem Considerar transporte

Para finalizar, foi considerado o custo biogás sem transporte, nesse cenário a produção de biogás seria feita do lado da usina siderúrgica e não existiria gasto com transporte de biogás, uma vez que o gás é captado diretamente de onde é produzido.

A Tabela 17 (a) e (b) representa os gastos considerando esse cenário.

Tabela 17(a): Opex do Biogás sem considerar transporte

OPEX para Transporte Gasoduto					
Descrição		Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
1.	Custo variável de produção				
1.1	Matéria-Prima				
1.1.1	Esterco Bovino	R\$ 442.500	R\$ 488.343,00	R\$ 538.935,33	R\$ 594.769,04
1.1.2	Água	R\$ 981.303	R\$ 1.082.965,99	R\$ 1.195.161,27	R\$ 1.318.979,97
	Total Parcial	R\$ 1.423.803	R\$ 1.571.309	R\$ 1.734.097	R\$ 1.913.749
1.2	Frete				
1.2.1	Sem Transporte	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
1.3	Mão de Obra Direta	R\$ 225.940	R\$ 249.347,38	R\$ 275.179,77	R\$ 303.688,40
1.4	Energia Elétrica (processo produtivo)	R\$ 48.000	R\$ 52.972,80	R\$ 58.460,78	R\$ 64.517,32
	Total Parcial	R\$ 3.121.546	R\$ 3.444.938	R\$ 3.801.834	R\$ 4.195.704
2.	Custo Fixo de Produção				
2.1	Manutenção	R\$ 243.542,77	R\$ 268.773,80	R\$ 296.618,76	R\$ 327.348,47
2.2	Seguros	R\$ 29.225,13	R\$ 32.252,86	R\$ 35.594,25	R\$ 39.281,82
2.3	Demanda de Energia Elétrica	R\$ 48.000,00	R\$ 52.972,80	R\$ 58.460,78	R\$ 64.517,32
2.4	Aluguel	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Total Parcial	R\$ 320.767,90	R\$ 353.999,45	R\$ 390.673,80	R\$ 431.147,60
3.	Despesa Geral Variável				
3.1	Despesas Variáveis com Vendas (Comissão de vendedores)	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3.2	Despesas Financeiras com Desconto de Duplicatas	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
3.3	Eventuais	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
	Total Parcial	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
4.	Despesa Geral Fixa				
4.1	Despesas Administrativas	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
4.2	Impostos fixos (IPTU, Taxas diversas)	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00
	Total Parcial	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00
5.	Impostos Proporcionais				
5.1	ICMS	R\$ 20.474.423,46	R\$ 22.595.573,73	R\$ 24.936.475,17	R\$ 27.519.894,00
5.2	IPI	R\$ 11.517.060,00	R\$ 12.710.227,42	R\$ 14.027.006,98	R\$ 15.480.204,90
5.3	PIS/FINSOCIAL	R\$ 2.303.412,00	R\$ 2.542.045,48	R\$ 2.805.401,40	R\$ 3.096.040,98
	Total Parcial	R\$ 34.294.895,46	R\$ 37.847.846,63	R\$ 41.768.883,54	R\$ 46.096.139,88
	Custo Global	R\$ 39.178.012	R\$ 43.235.093	R\$ 47.712.488	R\$ 52.653.740

Tabela 17(b): Opex do Biogás sem considerar transporte

Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
R\$ 656.387,11	R\$ 724.388,81	R\$ 799.435,49	R\$ 882.257,01	R\$ 973.658,84	R\$ 1.074.529,89
R\$ 1.455.626,30	R\$ 1.606.429,18	R\$ 1.772.855,25	R\$ 1.956.523,05	R\$ 2.159.218,84	R\$ 2.382.913,91
R\$ 2.112.013	R\$ 2.330.818	R\$ 2.572.291	R\$ 2.838.780	R\$ 3.132.878	R\$ 3.457.444
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ 335.150,52	R\$ 369.872,11	R\$ 408.190,86	R\$ 450.479,43	R\$ 497.149,10	R\$ 548.653,75
R\$ 71.201,31	R\$ 78.577,77	R\$ 86.718,43	R\$ 95.702,46	R\$ 105.617,23	R\$ 116.559,17
R\$ 4.630.379	R\$ 5.110.086	R\$ 5.639.491	R\$ 6.223.742	R\$ 6.868.522	R\$ 7.580.101
R\$ 361.261,77	R\$ 398.688,49	R\$ 439.992,61	R\$ 485.575,85	R\$ 535.881,51	R\$ 591.398,83
R\$ 43.351,41	R\$ 47.842,62	R\$ 52.799,11	R\$ 58.269,10	R\$ 64.305,78	R\$ 70.967,86
R\$ 71.201,31	R\$ 78.577,77	R\$ 86.718,43	R\$ 95.702,46	R\$ 105.617,23	R\$ 116.559,17
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ 475.814,49	R\$ 525.108,88	R\$ 579.510,15	R\$ 639.547,41	R\$ 705.804,52	R\$ 778.925,87
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00
R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00
R\$ 30.370.955,01	R\$ 33.517.385,95	R\$ 36.989.787,14	R\$ 40.821.929,09	R\$ 45.051.080,94	R\$ 49.718.372,93
R\$ 17.083.954,13	R\$ 18.853.851,77	R\$ 20.807.110,82	R\$ 22.962.727,50	R\$ 25.341.666,07	R\$ 27.967.062,67
R\$ 3.416.790,83	R\$ 3.770.770,35	R\$ 4.161.422,16	R\$ 4.592.545,50	R\$ 5.068.333,21	R\$ 5.593.412,53
R\$ 50.871.699,97	R\$ 56.142.008,08	R\$ 61.958.320,12	R\$ 68.377.202,08	R\$ 75.461.080,22	R\$ 83.278.848,13
R\$ 58.106.907	R\$ 64.125.021	R\$ 70.766.612	R\$ 78.096.272	R\$ 86.185.284	R\$ 95.112.318

5.2.4 Receita

Para se analisar o preço do transporte do biogás em relação ao gás natural, foi feita a consideração de que o preço final do biogás seria o equivalente a 70% do gás natural, uma vez que a mistura BG e GN teria 70% de CH₄.

A Tabela 18 representa a tabela de preços de gás natural para uso industrial no estado de Minas Gerais. A GASMIG vende o gás natural a R\$1,313 (Tabela 15), o valor a ser considerado nesse trabalho, devido à porcentagem de CH₄ presente no Biogás (70%), será de R\$0,92, onde 1m³ de biogás = R\$1,3130*70%.

A Tabela 18 representa o valor da receita, levando em conta as considerações citadas anteriormente e um valor de 54milhões de metros cúbicos de biogás produzidos por ano.

Outro subproduto oriundo da produção de biogás, como já dito anteriormente, são os fertilizantes. Considerando o tipo de fertilizante produzido e fazendo um levantamento segundo as suas características, chegou-se ao fertilizante a base de Ureia, rico em Nitrogênio (45%), que tem no mercado um preço aproximado de R\$15,00 / kg (Preço fornecido pela loja digital Toca do Verde, acessado em 13/03/2016).

Tabela 18(a): Receita gerada pela produção de Biogás anual (54.000.000m3/ano).

RECEITAS

Premícias

Inflação (Variação no período - em %)	
IPCA (Acumulado 12 meses) - Fonte: Valor Econômico	10,36%

Preço Gás Natural na Gasmig	R\$	1,31	% do valor GN
Preço Sugerido Biogás	R\$	0,39	30%

Descrição	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
1. Quantidade Vendida				
1.1 Biogás - m3/ano	54.000.000	54.000.000	54.000.000	54.000.000
1.2 Fertilizante - ton/ano	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000
2. Preço				
2.1 Biogás	R\$ 21.270.600,00	R\$ 23.474.234,16	R\$ 25.906.164,82	R\$ 28.590.043,49
2.2 Fertilizante	R\$ 93.900.000,00	R\$ 103.628.040,00	R\$ 114.363.904,94	R\$ 126.212.005,50
Total Parcial	R\$ 115.170.600,00	R\$ 127.102.274,16	R\$ 140.270.069,76	R\$ 154.802.048,99
3. Receita de Vendas				
3.1 Biogás	R\$ 21.270.600,00	R\$ 23.474.234,16	R\$ 25.906.164,82	R\$ 28.590.043,49
3.2 Fertilizante	R\$ 93.900.000,00	R\$ 103.628.040,00	R\$ 114.363.904,94	R\$ 126.212.005,50
Total Parcial	R\$ 115.170.600,00	R\$ 127.102.274,16	R\$ 140.270.069,76	R\$ 154.802.048,99
4. Receita sem IPI	R\$ 115.170.600,00	R\$ 127.102.274,16	R\$ 140.270.069,76	R\$ 154.802.048,99
5. IPI	R\$ 11.517.060,00	R\$ 12.710.227,42	R\$ 14.027.006,98	R\$ 15.480.204,90
4.1 Biogás	R\$ 2.127.060,00	R\$ 2.347.423,42	R\$ 2.590.616,48	R\$ 2.859.004,35
4.2 Fertilizante	R\$ 9.390.000,00	R\$ 10.362.804,00	R\$ 11.436.390,49	R\$ 12.621.200,55
5. Receita Bruta	R\$ 115.170.600,00	R\$ 127.102.274,16	R\$ 140.270.069,76	R\$ 154.802.048,99

Tabela 18(b): Receita gerada pela produção de Biogás anual (54.000.000m3/ano).

Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
54.000.000	54.000.000	54.000.000	54.000.000	54.000.000	54.000.000
6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000
R\$ 31.551.972,00	R\$ 34.820.756,30	R\$ 38.428.186,65	R\$ 42.409.346,79	R\$ 46.802.955,12	R\$ 51.651.741,27
R\$ 139.287.569,27	R\$ 153.717.761,44	R\$ 169.642.921,53	R\$ 187.217.928,20	R\$ 206.613.705,56	R\$ 228.018.885,45
R\$ 170.839.541,27	R\$ 188.538.517,74	R\$ 208.071.108,18	R\$ 229.627.274,99	R\$ 253.416.660,67	R\$ 279.670.626,72
R\$ 31.551.972,00	R\$ 34.820.756,30	R\$ 38.428.186,65	R\$ 42.409.346,79	R\$ 46.802.955,12	R\$ 51.651.741,27
R\$ 139.287.569,27	R\$ 153.717.761,44	R\$ 169.642.921,53	R\$ 187.217.928,20	R\$ 206.613.705,56	R\$ 228.018.885,45
R\$ 170.839.541,27	R\$ 188.538.517,74	R\$ 208.071.108,18	R\$ 229.627.274,99	R\$ 253.416.660,67	R\$ 279.670.626,72
R\$ 170.839.541,27	R\$ 188.538.517,74	R\$ 208.071.108,18	R\$ 229.627.274,99	R\$ 253.416.660,67	R\$ 279.670.626,72
R\$ 17.083.954,13	R\$ 18.853.851,77	R\$ 20.807.110,82	R\$ 22.962.727,50	R\$ 25.341.666,07	R\$ 27.967.062,67
R\$ 3.155.197,20	R\$ 3.482.075,63	R\$ 3.842.818,67	R\$ 4.240.934,68	R\$ 4.680.295,51	R\$ 5.165.174,13
R\$ 13.928.756,93	R\$ 15.371.776,14	R\$ 16.964.292,15	R\$ 18.721.792,82	R\$ 20.661.370,56	R\$ 22.801.888,55
R\$ 170.839.541,27	R\$ 188.538.517,74	R\$ 208.071.108,18	R\$ 229.627.274,99	R\$ 253.416.660,67	R\$ 279.670.626,72

5.2.5 Custo de produção por metro cúbico de biogás

Para fim de análises de custo de cada situação proposta anteriormente, foi utilizada uma série uniforme, onde pelo cálculo das despesas calculado individualmente para cada situação (transporte terrestre, gasoduto e sem transporte) se calculou o custo de cada metro cúbico de biogás, considerando a quantidade produzida.

A Tabela 19 representa o custo de produção de biogás por metro cúbico.

Tabela 19: Custo de produção por metro cúbico de biogás

Cenário	Preço/m3 BG
Transporte Terréo	R\$ 17,30
Gasoduto	R\$ 2,04
Sem Transporte	R\$ 0,73

De acordo com a Tabela 19 é de fácil verificação que o transporte térreo é a alternativa mais cara para a produção de biogás. A produção via gasoduto tem um valor menor, porém é uma alternativa mais cara do que o gás natural.

De acordo com a Tabela 19 a alternativa mais viável seria onde não se levasse em conta o transporte, ou seja, a fazenda produziria o biogás ao lado da Usina, zerando o custo com logística, uma vez que pela proximidade, a própria usina faria a capitação do gás.

5.2.6 Fluxo de caixa para as situações propostas

O Fluxo de caixa foi calculado de forma simples, uma vez que serão levados em consideração apenas os custos para cálculo de viabilidade. Não foi levada em consideração a depreciação, uma vez que não foi considerado o imposto de renda, pois o objetivo desse trabalho está voltado apenas para custos, que já foi apresentado no Capítulo 5.2.4.

5.2.6.1 Fluxo de caixa considerando transporte térreo

As Tabelas 20(a) e (b) representa o fluxo de caixa onde o empreendimento conta com transporte por via térrea.

Tabela 16(a): Fluxo de Caixa considerando transporte por via térrea.

Quadro do Fluxo Financeiro do Empreendimento - Transporte por via Térrea					
Descrição	0	1	2	3	4
Receita Bruta	R\$ 115.170.600,00	R\$ 127.102.274,16	R\$ 140.270.069,76	R\$ 154.802.048,99	
(-) Impostos Prop.					
Receita Líquida	R\$ 80.875.704,54	R\$ 89.254.427,53	R\$ 98.501.186,22	R\$ 108.705.909,12	
Custo Var. Prod.	R\$ 899.427.431,50	R\$ 992.608.113,40	R\$ 1.095.442.313,95	R\$ 1.208.930.137,68	
Custo Fixo Prod.	R\$ 320.767,90	R\$ 353.999,45	R\$ 390.673,80	R\$ 431.147,60	
Lucro Bruto	-R\$ 818.872.494,86	-R\$ 903.707.685,33	-R\$ 997.331.801,53	-R\$ 1.100.655.376,16	
Desp. Ger. Var.	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
Desp. Ger. Fixas	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	
Depreciação					
Despesas Finan.					
Lucro Antes IR	-R\$ 818.889.494,86	-R\$ 903.724.685,33	-R\$ 997.348.801,53	-R\$ 1.100.672.376,16	
IR/Contrib. Social					
Lucro Líq. Após IR					
(+) Depreciação					
(-) Amortização					
(-) Investimentos	-R\$ 4.870.855,34				
(+) Liber. Financiam.					
(+) Valor Residual					
Fluxo de Caixa Empr.	-R\$ 4.870.855,34	-R\$ 818.889.494,86	-R\$ 903.724.685,33	-R\$ 997.348.801,53	-R\$ 1.100.672.376,16

Tabela 20(b): Fluxo de Caixa considerando transporte por via térrea.

5		6		7		8		9		10	
R\$	170.839.541,27	R\$	188.538.517,74	R\$	208.071.108,18	R\$	229.627.274,99	R\$	253.416.660,67	R\$	279.670.626,72
R\$	119.967.841,30	R\$	132.396.509,66	R\$	146.112.788,06	R\$	161.250.072,90	R\$	177.955.580,45	R\$	196.391.778,59
R\$	1.334.175.299,94	R\$	1.472.395.861,01	R\$	1.624.936.072,22	R\$	1.793.279.449,30	R\$	1.979.063.200,24	R\$	2.184.094.147,79
R\$	475.814,49	R\$	525.108,88	R\$	579.510,15	R\$	639.547,41	R\$	705.804,52	R\$	778.925,87
-R\$	1.214.683.273,14	-R\$	1.340.524.460,23	-R\$	1.479.402.794,31	-R\$	1.632.668.923,80	-R\$	1.801.813.424,31	-R\$	1.988.481.295,07
R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-
R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00
-R\$	1.214.700.273,14	-R\$	1.340.541.460,23	-R\$	1.479.419.794,31	-R\$	1.632.685.923,80	-R\$	1.801.830.424,31	-R\$	1.988.498.295,07
-R\$	1.214.700.273,14	-R\$	1.340.541.460,23	-R\$	1.479.419.794,31	-R\$	1.632.685.923,80	-R\$	1.801.830.424,31	-R\$	1.988.498.295,07

5.2.6.2 Fluxo de caixa considerando transporte por gasoduto

As Tabelas 21 (a) e (b) representa o fluxo de caixa onde o empreendimento conta com transporte por gasoduto.

Tabela 21(a): Fluxo de Caixa considerando transporte por via gasoduto.

Quadro do Fluxo Financeiro do Empreendimento - Gasoduto								
Descrição	0	1	2	3	4			
Receita Bruta	R\$	115.170.600,00	R\$	127.102.274,16	R\$	140.270.069,76	R\$	154.802.048,99
(-) Impostos Prop.								
Receita Líquida	R\$	80.875.704,54	R\$	89.254.427,53	R\$	98.501.186,22	R\$	108.705.909,12
Custo Var. Prod.	R\$	75.285.349,00	R\$	83.084.911,16	R\$	91.692.507,95	R\$	101.191.851,78
Custo Fixo Prod.	R\$	320.767,90	R\$	353.999,45	R\$	390.673,80	R\$	431.147,60
Lucro Bruto	R\$	5.269.587,64	R\$	5.815.516,92	R\$	6.418.004,47	R\$	7.082.909,74
Desp. Ger. Var.	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-
Desp. Ger. Fixas	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00
Depreciação								
Despesas Finan.								
Lucro Antes IR	R\$	5.252.587,64	R\$	5.798.516,92	R\$	6.401.004,47	R\$	7.065.909,74
IR/Contrib. Social	R\$	787.888,15	R\$	869.777,54	R\$	960.150,67	R\$	1.059.886,46
Lucro Líq. Após IR	R\$	4.464.699,49	R\$	4.928.739,38	R\$	5.440.853,80	R\$	6.006.023,28
(+) Depreciação								
(-) Amortização								
(-) Investimentos	-R\$	4.870.855,34						
(+) Liber. Financiam.								
(+) Valor Residual								
Fluxo de Caixa Empr.	-R\$ 4.870.855,34	R\$ 4.464.699,49	R\$ 4.928.739,38	R\$ 5.440.853,80	R\$ 6.006.023,28			

Tabela 21(b): Fluxo de Caixa considerando transporte por via gasoduto.

5	6	7	8	9	10						
R\$	170.839.541,27	R\$	188.538.517,74	R\$	208.071.108,18	R\$	229.627.274,99	R\$	253.416.660,67	R\$	279.670.626,72
R\$	119.967.841,30	R\$	132.396.509,66	R\$	146.112.788,06	R\$	161.250.072,90	R\$	177.955.580,45	R\$	196.391.778,59
R\$	111.675.327,62	R\$	123.244.891,56	R\$	136.013.062,33	R\$	150.104.015,58	R\$	165.654.791,60	R\$	182.816.628,01
R\$	475.814,49	R\$	525.108,88	R\$	579.510,15	R\$	639.547,41	R\$	705.804,52	R\$	778.925,87
R\$	7.816.699,19	R\$	8.626.509,22	R\$	9.520.215,58	R\$	10.506.509,91	R\$	11.594.984,34	R\$	12.796.224,71
R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-	R\$	-
R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00	R\$	17.000,00
R\$	7.799.699,19	R\$	8.609.509,22	R\$	9.503.215,58	R\$	10.489.509,91	R\$	11.577.984,34	R\$	12.779.224,71
R\$	1.169.954,88	R\$	1.291.426,38	R\$	1.425.482,34	R\$	1.573.426,49	R\$	1.736.697,65	R\$	1.916.883,71
R\$	6.629.744,31	R\$	7.318.082,84	R\$	8.077.733,24	R\$	8.916.083,42	R\$	9.841.286,69	R\$	10.862.341,01
R\$	6.629.744,31	R\$	7.318.082,84	R\$	8.077.733,24	R\$	8.916.083,42	R\$	9.841.286,69	R\$	10.862.341,01

5.2.6.3 Fluxo de caixa sem considerar despesas com transporte

As Tabelas 22 (a) e (b) representa o fluxo de caixa onde o empreendimento conta com transporte por gasoduto.

Tabela 22(a): Fluxo de caixa sem considerar despesas com transporte

Quadro do Fluxo Financeiro do Empreendimento - Gasoduto						
Descrição	0	1	2	3	4	
Receita Bruta		R\$ 115.170.600,00	R\$ 127.102.274,16	R\$ 140.270.069,76	R\$ 154.802.048,99	
(-) Impostos Prop.						
Receita Líquida		R\$ 80.875.704,54	R\$ 89.254.427,53	R\$ 98.501.186,22	R\$ 108.705.909,12	
Custo Var. Prod.		R\$ 1.697.743,00	R\$ 1.873.629,17	R\$ 2.067.737,16	R\$ 2.281.954,73	
Custo Fixo Prod.		R\$ 320.767,90	R\$ 353.999,45	R\$ 390.673,80	R\$ 431.147,60	
Lucro Bruto		R\$ 78.857.193,64	R\$ 87.026.798,90	R\$ 96.042.775,27	R\$ 105.992.806,79	
Desp. Ger. Var.		R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	
Desp. Ger. Fixas		R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	
Depreciação						
Despesas Finan.						
Lucro Antes IR		R\$ 78.840.193,64	R\$ 87.009.798,90	R\$ 96.025.775,27	R\$ 105.975.806,79	
IR/Contrib. Social						
Lucro Líq. Após IR						
(+) Depreciação						
(-) Amortização						
(-) Investimentos		-R\$ 4.870.855,34				
(+) Liber. Financiam.						
(+) Valor Residual						
Fluxo de Caixa Empr.	-R\$ 4.870.855,34	R\$ 78.840.193,64	R\$ 87.009.798,90	R\$ 96.025.775,27	R\$ 105.975.806,79	

Tabela 22(b): Fluxo de caixa sem considerar despesas com transporte

	5	6	7	8	9	10
R\$	170.839.541,27	R\$ 188.538.517,74	R\$ 208.071.108,18	R\$ 229.627.274,99	R\$ 253.416.660,67	R\$ 279.670.626,72
R\$	119.967.841,30	R\$ 132.396.509,66	R\$ 146.112.788,06	R\$ 161.250.072,90	R\$ 177.955.580,45	R\$ 196.391.778,59
R\$	2.518.365,24	R\$ 2.779.267,88	R\$ 3.067.200,03	R\$ 3.384.961,95	R\$ 3.735.644,01	R\$ 4.122.656,73
R\$	475.814,49	R\$ 525.108,88	R\$ 579.510,15	R\$ 639.547,41	R\$ 705.804,52	R\$ 778.925,87
R\$	116.973.661,57	R\$ 129.092.132,91	R\$ 142.466.077,88	R\$ 157.225.563,55	R\$ 173.514.131,93	R\$ 191.490.196,00
R\$	-	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
R\$	17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00	R\$ 17.000,00
R\$	116.956.661,57	R\$ 129.075.132,91	R\$ 142.449.077,88	R\$ 157.208.563,55	R\$ 173.497.131,93	R\$ 191.473.196,00
R\$	116.956.661,57	R\$ 129.075.132,91	R\$ 142.449.077,88	R\$ 157.208.563,55	R\$ 173.497.131,93	R\$ 191.473.196,00

6. CONCLUSÃO

Conforme dito por GOLDEMBERG (2009), com o crescente aumento dos preços de óleo e gás natural, e com os novos incentivos gerados pela emergência do mercado de carbono, o gás de aterros sanitários, bagaço da cana-de-açúcar, biodiesel, etc, estão também se tornando opções atrativas, logo o biogás, como uma forma de energias similar as citadas anteriormente é um grande investimento para a produção de energia limpa.

O Brasil possui grande potencial de geração de biogás através da produção suína e principalmente bovina, onde ele se encontra entre os principais países com maior representatividade de rebanho bovino do mundo, ficando atrás apenas da Índia (USDA, 2015).

A Pesquisa de Produção da Pecuária municipal realizada em 2014 mostrou que a região Centro-Oeste é a principal região produtora de gado no Brasil, sendo responsável por 33,5% da produção nacional. Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Pará respondem juntos 54,0% do efetivo nacional. Coincidentemente essas são as regiões brasileiras com grande concentração de usinas siderúrgicas.

De acordo com os resultados obtidos no estudo de viabilidade técnica do biogás, ele é um combustível de alto potencial térmico e pode substituir o gás natural em usinas siderúrgicas em até 50%.

Em reações aos custos, chegou-se a conclusão de que o melhor investimento seria o caso onde a fazenda de biodigestores ficasse próxima à usina siderúrgica, pois dessa forma, não havia custos com logística, que é sem dúvida um dos custos mais altos desse investimento.

Em relação ao custo de produção por metro cúbico para transporte terrestre, o que encarece significativamente a produção é o custo do transporte, que além de ser o mais caro devido ao fato de se ter que comprimir o gás e descomprimir ao fim da entrega ao consumir, outro fato que precisa necessariamente se levar em conta é a compressibilidade do biogás, que é da ordem de 1:12, enquanto a do gás natural é de 1:268, sendo assim necessário de

aproximadamente uma frota 22 vezes maior de caminhão para se transportar o biogás, o que encareceu ainda mais o custo.

Em relação ao transporte por gasoduto, é de fato um custo bem inferior ao por transporte de via térrea, mas é importante ressaltar que o custo que foi estimado nesse trabalho pode sofrer alterações, uma vez que a concessionária responsável pelo transporte de gás pode alterar os preços de acordo com sua conveniência.

Conclui-se que a melhor opção para que se obter a viabilidade do uso de biogás em usinas siderúrgicas, é optar pelo alternativa onde se instalaria a fazenda de biodigestores próxima a usina siderúrgica, tendo o melhor custo benefício.

Além da viabilidade econômica e técnica, é um importante lembrar que o uso do biogás contribui para a redução de emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera, podendo gerar crédito de carbono, sendo um aditivo ao processo siderúrgico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amaral, C. M. C. D., Amaral, L. A. D., Lucas Júnior, J. D., Nascimento, A. A. D., Ferreira, D. D. S., & Machado, M. R. F. (2004). Biodigestão anaerobia Amaral, C. M. C. D., Amaral, L. A. D., Lucas Júnior, J. D., Nascimento, A. A. D., Ferreira, D. D. S., & Machado, M. R. F. (2004). Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. *Ciência Rural*, 34(6), 1897-1902.
2. ASSIS, P. S. et alli. Curso de injeção de materiais pulverizados em altos-fornos. Livro publicado pela ABM, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006, 292p.
3. ASSUNÇÃO, C.S. Redução do consumo de oxigênio em um alto-forno a partir do aumento da eficiência energética dos aquecedores de ar. Revista: Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. Publicação: 10.4322/tmm.2011.012. 2011. <Disponível em: <http://tecnologiammm.com.br/files/v8n2/v8n2a01.pdf>> . Acessado em 10/02/2016.
4. BARBIERI, Cláudia Caroline Teixeira. Dissertação. Título: Estudo de misturas de carvões e biomassa visando a combustão em alto-forno Orientação: Prof. Dr. Eduardo Osório Banca examinadora: Prof. Dr. Nilson Romeu Marcílio – PPGEQ/UFRGS, Dra. Janaína Gonçalves Maria da Silva Machado – VALE/BH/MG, Prof.Dr. – Ing.Antônio Cezar Faria Vilela – DEMET/UFRGS. Ano: 2013.
5. BENDEZÚ, Marco Antônio Lopez. Avaliação técnico-econômico das alternativas tecnológicas de transporte de gás natural. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação de mestrado (Engenharia Mecânica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.
6. BIOENERGY TASK 40 IEA - DIVISÃO ESPECIALIZADA EM BIOENERGIA DA AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA . Publicado em Agosto de 2015. Disponível em: <<http://www.bioenergytrade.org/index.html>>. Acessado em 10/01/2016.
7. BISWAS, A. K., Principles of Balst Furnace Ironmaking, University of Queensland, Brisbane, Australia, SBA Publications, 1981.

8. CAETANO, L. *Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás*. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.
9. CALIXTO, O. C, MARTINS, C. A., MARTINS M. E., ASSIS, P. S. Brazilian potential of biogas use as fuels in Metallurgy: Process, Management and Costs. Pensilvânia, PR-364-054 – 2013. AISTech Conference Proceedings.
10. CALIXTO, K.O., SANTOS, L.C., RODOLFO, V., MÁRTINS, M.E., ASSIS, P.S., Potencial brasileiro do biogás usado como combustível na metalurgia, Congresso ABM, 68; Congresso Anual da ABM - Internacional, 68; ABM International Annual Congress, 68; Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 13; ENEMET, 13, Belo Horizonte MG BR.
11. CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. *Análise de investimentos: matemática financeira engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial*. 10.ed. São Paulo: Atlas, 2007468 p.
12. CASTIÑEIRA, Paulo Panaro 2008. Monografia: Estudo da Viabilidade Econômica de Projetos de Recuperação suplementar para campo com alto grau de exploração. Rio de Janeiro, dezembro de 2008.
<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000158.pdf>. Acessado em 10/01/2016.
13. CASTRO, LUIZ F. A.; TAVARES, ROBERTO P. T., *Tecnologia de Fabricação de Ferro Gusa em Alto-fornos*, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1998.
14. CAVALIERO, C.K.N. JANNUZZI, G.M. A injeção de combustível auxiliar em alto-forno como medida de redução das emissões de co2 do segmento siderúrgico nacional: estudo de casos na Acesita e Cosipa, 2000, São Paulo. Anais: São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1998. p. 53-67.
15. CAVALIERO,C.K.N., JANNUZZI, G.M. A Importância do Segmento Siderúrgico nas Emissões de CO₂ Nacional e do Estado de São Paulo, In: SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, Seminário de Energia, XXI Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Vitória, ES.
16. CAVALIERO, C.K.N.; JANNUZZI, G.M., A Importância do Segmento Siderúrgico nas Emissões de CO₂ Nacional e do Estado de São Paulo, In: SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 20, 1998, São Paulo. Anais: São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1998. p. 53-67.

17. CO₂ SÉRIE DE TEMPO 1990-2014 POR PAÍS / REGIÃO. Agência de Avaliação Ambiental da Holanda. Holanda. Publicado em 30/11/2015. Disponível em: <http://www.pbl.nl/en/publications> Acessado em 13/02/2016.
18. DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. do C.J.P.; ROSSI, M. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Anais eletrônicos. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=pt&nrm=abn>. Acessado em: 16/07/2015.
19. DIVESTOPEDIA. Disponível em: <<https://www.divestopedia.com/definicao/5081/sustaining-capital-reinvestment>> Acessado em 13/02/2016).
20. ESPERANCINI, M.S.T., COLEN, F., BUENO, O.C., PIMENTEL, A.E.B., SIMON, E.J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, 2007.
21. EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL (1970-2013) SETOR DE AGROPECUÁRIA. Pesquisa desenvolvida pelo Observatório do Clima – SEEG. Imaflora, Agosto de 2015. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/seeg.tracersoft.com.br/wpcontent/uploads/2015/08/agropecuaria_2015.pdf> Acessado em 10/01/2016.
22. FERNANDES, M. V. Efeito do Tipo de Carvão Injetado nas Ventaneiras do Alto-Forno no Consumo de Combustíveis (Fuel-Rate). Dissertação de Mestrado (Engenharia metalúrgica) Orientador: Prof. Dr. Ing. Varadarajan Seshadri. DEMET /UFMG. Setembro/2007.
23. GERSSEN-GONDELACH, S.J., SAYGIN, D., WICK, B. E PATEL, M.K., A.P.C Faaij, Competindo usos da biomassa : avaliação e comparação do desempenho de de base biológica de calor , energia, combustíveis e materiais . Energy Reviews, Elsevier, 2014, pp 964-998.
24. GOLDEMBERG, J., Biomassa e energia. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 32, n. 3, p.

- 582-587, 2009 . Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300004&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 09/02/2016.
25. CERVI, R. G., ESPERANCINI, M. S. T., BUENO, O. C., VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS PRODUZIDO EM GRANJA SUÍNÍCOLA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.5, p.831-844, set./out. 2010.
26. CIÊNCIA E SAÚDE. FOLHA UOL. 2015. Disponível em:
<<http://folhagospel.com/modules/news/article.php?storyid=31610>>. Acessado em 12/01/2016.
27. HOSSEINI, S.E., WAHID, M.A. Desenvolvimento de combustão de biogás na geração de calor e energia combinados, Elsevier, Volume 40, Dezembro de 2013, Páginas 868–875.
28. HOSSEINI, S. E., WAHID, M. A, High-Speed Reacting Flow Laboratory, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.2041364-0321/&>> ElsevierLtd. Allrightsreserved. Acessado em: 15/07/2015.
29. IBGE, Pesquisa Agrícola Municipal 2011. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2012/>. Acessado em 12/01/2016.
30. ISHII, K., Book: Advanced Pulverized Coal Injection Technology and Blast Furnace Operation, 1st Edition.
31. JÚNIOR, J. H. N., Contribuição ao estudo da cinética de redução de briquetes auto-redutores; (Dissertação de mestrado). Departamento de ciência dos materiais e metalurgia; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica. Rio de Janeiro, Setembro 2002.
32. JÚNIOR, F. A. O. Ensino não formal da diminuição da carga poluidora de dejetos animais a partir da produção de biogás e biofertilizante em pequenas propriedades rurais. 2013. 70 folhas. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – PUCMG, 2013.

33. JÚNIOR, F. A. O., (Manual de construção do biodigestor rural.http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20140917140023.pdf. Acessado em 02/08/2015.
34. JÚNIOR, R.A. SILVA, Assis, P.S., Novos processos e aplicações para o biogás na metalurgia, Ouro Preto Universidade Federal de Ouro Preto. 2010, Monografia de Graduação apresentada ao curso da Escola de Metalúrgica Minas da Universidade Federal de Ouro Preto para o grau de Engenheiro Metalúrgico. Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/demet/download/monografias/NovosProcessosEAplicacoesParaOBiogasNaMetalurgia.pdf>>. Acessado em 10/09/2014;
35. L.A. ARAÚJO, Manual de siderurgia, São Paulo: Editora Arte & Ciência, 1997, v.1., Cap. 8: Alto-forno. p. 195-258
36. LUCAS, J. J., Estudo comparativo de biodigestores modelos Indiano e Chinês. Botucatu, 114p. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista, 1987.
37. MINISTÉRIO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE, Biomassa, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>;. Brasil. Acessado em: 28/10/2014.
38. MOSCKEM, S. L. Análise do emprego de materiais alternativos no alto forno da arcelormittal tubarão. 2010. 95 Folhas. Dissertação (Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2010.
39. NOGUEIRA, E. Análise de investimentos. In: BATALHA, M. O. Gestão agroindustrial. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2001. v.1. 692 p.
40. NOGUEIRA, C.E.C.; ZÜRN, H.H. Modelo de dimensionamento otimizado para sistemas energéticos renováveis em ambientes rurais. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.2, p.341-348, 2005.

41. OBSERVATÓRIO CLIMA: ANÁLISE DE EMISSÕES BRASILEIRAS DE GEE NO BRASIL 1970-2013. Agosto/2015. Disponível em: < <http://seeg.eco.br/analise-de-emissoes-brasileiras-de-gee-no-brasil-1970-2013/>. Acessado em 10/02/2016.
42. OLIVEIRA E HIGARASHI, Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Concordia, Santa Catarina, 2006. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_14177t4r.PDF>. Acessado em 08/10/2015.
43. PAMPLONA, E.O, MONTEVECHI, J. A. B., Engenharia econômica I, 1999. Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfprsAC/engenharia-economica-ii-iepg>>. Acessado em 03/03/2016.
44. QUINTANILLA, J. E. A, Reatividade ao CO₂ de Carvões Minerais de Biomassas e Coques. Dissertação de Mestrado - Orientador: Prof. José Carlos D'Abreu – Rio de Janeiro, 2012.
45. ROYA, B., FREITAS, E., BARROS, E., ANDRADE, F., P. Michael, SILVA, D. J. A. Revista Eletrônica Novo Enfoque, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149.
46. SILVA, José Nazareno Santos, 2011. Siderurgia / José Nazareno Santos Silva – Belém : IFPA : Santa Maria : UFSM, 2011. 110p. I. Siderurgia II. Escola Técnica Aberta do Brasil. II. Título. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico_metalurgica/siderurgia.pdf>. Acessado em 04/01/2015.
47. SOUZA, Líria Alvez, Países que lideram a emissão de gás carbônico. Mundo Educação, Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/paises-que-lideram-emissao-gas-carbonico.htm>>. Acessado em 12/01/2016>.
48. SOUZA, S.N.M.; PEREIRA, W.C.; NOGUEIRA, C.E.C.; PAVAN, A.A.; SORDI, A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor-gerador utilizando biogás da suinocultura. Acta Scientiarum Technology, Maringá, v.26, p.127-133, 2004.
49. SMILL, V., 2005, Energy at the crossroads: Global perspectives and uncertainties, MIT Press, Cambridge, UK. Disponível em: <<https://mitpress.mit.edu/books/energy-crossroads>>. Acessado em 14/10/2014.

50. STOA – Apoio as disciplinas da USP. Disponível em: <http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/93305/mod_resource/content/1/altoforno%20proc%20met.pdf>. Acessado em 10/02/2014.
51. THE UK ENERGY RESEARCH CENTER. Inglaterra. Disponível em: <<http://www.ukerc.ac.uk/>>. Acessado em 14/10/2014.
52. TOLMASQUIM, M. T., Guerreiro, A. e Gorini, R. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: Uma prospectiva. Novembro 2007, Brasil. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/nec/n79/03.pdf>>. Acessado em 14/02/2016.
53. TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. Novos Estudos - CEBRAP, São Paulo, n. 79, p.47-69, nov. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003 . Acesso em: 10/02/2016.
54. TRANI, P.E.; CAMARGO, M.S. do; TRANI, A.L.; PASSOS, F.A. Superfosfato simples com esterco animal: um bom fertilizante organomineral. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/organomineral/index.htm>. Acesso em: 14/2/2016.

ANEXO A

Levantamento de Materias de construção por Preço

Material	Quantidade	Valor	Total
1 Caixa de fibra de 3000 litros	1	879	879
10 Sacos de cimento	10	13,49	134,9
1 Barra Ferro 6,3mm	1	12,9	12,9
50 m Arame galvanizado 12	1	10,9	10,9
6 latas Brita 01	6	2,3	13,8
100 latas Areia	100	1,42	142
5 m Placa de zinco 0,40 cm	4	39,9	159,6
200 Tijolos 6 furos	200	0,48	96
1 barra /6m Cano PVC esgoto 100 mm	2	25,9	51,8
3,5m Cano PVC rígido 50mm	1	37,905	37,905
3,5 m Cano de ferro 40mm	1	90,86	90,86
1,5 m Cano PVC 60mm	1	7,655	7,655
1 m Cano PVC 75mm azul	1	22,9	22,9
2 Cola PVC pequena	2	3,99	7,98
30 m Cano PVC rígido 20mm	10	18,75	187,5
3 Joelhos PVC rígido LR 20mm	3	0,6	1,8
1 CAP 75mm azul	1	3,09	3,09
1 T PVC rígido 20mm	1	1,2	1,2
1 Parafuso 29cm 3/8	1	2,4	2,4
2 Luva de união 20mm	2	1,97	3,94
8 Joelhos PVC rígido 20mm	8	0,26	2,08
1 Flange 60x60mm	1	4,39	4,39
3 Flanges 20mm	3	4,39	13,17
3 Registros de esfera 20mm	3	15,99	47,97
5 m Mangueira cristal trançada 20mm	5	2,53	12,65

6 Luvas LR 20mm	6	1,03	6,18
3 Adaptador interno para mangueira PVC 20mm	3	0,4	1,2
4 Abraçadeiras rosca sem fim ½"	4	6,29	25,16
1 Vasilhame 20L acrílico (Água mineral)	1	9,89	9,89
2 m Tábua 15cm x 4cm	2	44,16	88,32
7 m Barrote de madeira de 10	2	57,86	115,72
1 Telha de fibra 1,50 x 0,80cm	1	32,7	32,7
1 Parafusos 8cm3/4	1	0,084	0,084
4 Pregos para telha Brasilit	4	0,2845	1,138
1 m Tela de nylon 1,50x0,80	1	4,95	4,95
2 Veda rosca	2	3,89	7,78
1 m Cano PVC rígido 25 mm	1	8,97	8,97
1 Furadeira elétrica	1	89,9	89,9
1 Serra copo para furadeira elétrica	1	121,9	121,9

ANEXO B

Levantamento de Materias de construção – Referencia

Material	Referência
1 Caixa de fibra de 3000 litros	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-714388677-caixa-dagua-3000-litros-fibra-de-vidro-frete-incluso-_JM
10 Sacos de cimento	http://www.leroymerlin.com.br/cimento-cp-ii-e-32-cinza-25kg-votoran_85981980
1 Barra Ferro 6,3mm	http://www.leroymerlin.com.br/vergalhao-ca-50-6,3mm--1-4--gerdau_86736265
50 m Arame galvanizado 12	http://www.leroymerlin.com.br/aramo-galvanizado-floricultura-fio-26-50m_86500666
6 latas Brita 01	http://www.leroymerlin.com.br/pedra-britada-1-saco-de-20kg-mazal_87694656
100 latas Areia	http://www.leroymerlin.com.br/areia-media-saco-de-6kg-ab-areias_88192671?origin=7caa9f86bf2a2c4741e627ba
5 m Placa de zinco 0,40 cm	http://www.leroymerlin.com.br/rufo-externo-300x28cm-calha-forte_85819930
200 Tijolos 6 furos	http://www.leroymerlin.com.br/bloco-ceramico-vedacao-6-furos-9x19x19cm-ceramica-italia_87953915?origin=865a0774997cff746f508273
1barra /6m Cano PVC esgoto 100 mm	http://www.leroymerlin.com.br/cano-branco-pvc-esgoto-100mm-ou-4-3m-tigre_86009581
3,5m Cano PVC rígido 50mm	http://www.leroymerlin.com.br/cano-marrom-pvc-soldavel-50mm-ou-1-1-2-3-00m-tigre_85949913
3,5 m Cano de ferro 40mm	http://www.copafer.com.br/tubo-galvanizado-6-metros-34-apollo-1/p537400?&partner=GoogleShopping&gclid=Cj0KEQiA89u1BRDz8enExq7rvNOBEiQAaFCHm_fsFXdEBtd-hjd7sYkZwBWOWaCni5pkXcPUyGaPW90aAvkZ8P8HAQ
1,5 m Cano PVC 60mm	http://www.taqi.com.br/produto/tubos/tubo-de-pvc-soldavel-amanco-60-mm-10462/041397/
1 m Cano PVC 75mm azul	http://www.leroymerlin.com.br/cano-branco-pvc-esgoto-75mm-ou-3-3m-equation_87958052
2 Cola PVC pequena	http://www.leroymerlin.com.br/cola-para-pvc-bisnaga-75g-plastilit_88539542
30 m Cano PVC rígido 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/cano-branco-pvc-roscavel-20mm-ou-1-2-3-00m-tigre_86266845
3 Joelhos PVC rígido LR 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/joelho-45o-marrom-pvc-soldavel-20mm-ou-1-2-plastilit_88136125
1 CAP 75mm azul	http://www.leroymerlin.com.br/cap-branco-pvc-esgoto-75mm-ou-3-plastilit_88135502
1 T PVC rígido 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/derivacao-t-de-pvc-branco-20x100mm-xb-apoio_86913743
1 Parafuso 29cm 3/8	http://www.leroymerlin.com.br/cartela-com-2-parafusos-3-8x2mm-cabeca-sextavada_86944284
2 Luva de união 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/luva-branca-pvc-roscavel-20mm-ou-1-2-tigre_85295175
8 Joelhos PVC rígido 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/joelho-90o-marrom-pvc-soldavel-20mm-ou-1-2-plastilit_88125695
1 Flange 60x60mm	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-693867128-adaptador-pcaixa-dagua-flange-2025324050-e-60mm-_JM
3 Flanges 20mm	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-693867128-adaptador-pcaixa-dagua-flange-2025324050-e-60mm-_JM
3 Registros de esfera 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/registro-de-esfera-volante-20mm-ou-1-2-plastilit_88112906
5 m Mangueira cristal trançada 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/conjunto-mangueira-trancada-cristal-30m-ibira_88443012

6 Luvas LR 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/luva-branca-pvc-roscavel-20mm-ou-1-2-plastilit_88143503
3 Adaptador interno para mangueira PVC 20mm	http://www.leroymerlin.com.br/adaptador-marrom-pvc-roscavel-e-soldavel-20mm-ou-1-2-plastilit_88133724
4 Abraçadeiras rosca sem fim ½"	http://www.leroymerlin.com.br/abracadeira-tipo-u-1-1-2-uso-geral-aco-zincado-zamar_88304636
1 Vasilhame 20L acrílico (Água mineral)	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-669198946-galo-de-agua-mineral-de-20-litros-_JM
2 m Tábua 15cm x 4cm	http://www.leroymerlin.com.br/tabua-de-pinus-autoclavado-bruto-15x2,5x300cm-schneider_88078942?origin=55413bd6ce3fcee91e682054
7 m Barrote de madeira de 10	http://www.leroymerlin.com.br/viga-pinus-bruta-15x5x360cm-schneider_88077192
1 Telha de fibra 1,50 x 0,80cm	http://www.leroymerlin.com.br/telha-de-fibra-vegetal-classica-acetinada-verde-95x200cm-onduline_85225623
1 Parafusos 8cm3/4	http://www.leroymerlin.com.br/caixa-com-500-parafusos-3-16x3-4-cabeca-panela-fenda-phillips_89229511
4 Pregos para telha Brasilit	http://www.leroymerlin.com.br/kit-com-20-pregos-galvanizados-18x27-e-20-anilhas-em-pead-para-telhas-vermelhas-onduline_87825871
1 m Tela de nylon 1,50x0,80	http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-687821016-tela-nylon-mosquiteiro-anti-dengue-150-m-largura-por-metro-_JM
2 Veda rosca	http://www.leroymerlin.com.br/fita-veda-rosca-18mmx10m-plastilit_87957933?origin=a11f0ffc9bf44ce3e624a331
1 m Cano PVC rígido 25 mm	http://www.leroymerlin.com.br/cano-branco-pvc-roscavel-25mm-ou-3-4-3-00m-tigre_86768115
1 Furadeira elétrica	http://www.shoptime.com.br/produto/115134771/furadeira-blackedecker-imp.3-8-tm500?epar=4024&opn=BUSCAPE&loja=01
1 Serra copo para furadeira elétrica	http://www.leroymerlin.com.br/serra-copo-diamantada-45mm-worker_88447751