UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENERGIA NA AGRICULTURA – NÍVEL MESTRADO

CLEBER AIMONI MARQUES

MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA PROPRIEDADE RURAL UTILIZANDO BIOGÁS COMO FONTE PRIMÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA

CASCAVEL-PR
JANEIRO/2012

CLEBER AIMONI MARQUES

MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA PROPRIEDADE RURAL UTILIZANDO BIOGÁS COMO FONTE PRIMÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.
Co-orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira.

CASCAVEL-PR
JANEIRO/2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

M316m Marques, Cleber Aimoni
Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás como fonte primária de energia elétrica. / Cleber Aimoni Marques — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
81 p.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Co-Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Biodigestores. 2. Suinocultura. 3. Biogás. 4. Energia renovável. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21ed. 628.74

CLEBER AIMONI MARQUES

"Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás como fonte primária de energia elétrica"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel

Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR/Medianeira

Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel

Cascavel, 25 de janeiro de 2012.

AGRADECIMENTOS

A DEUS pelo dom da vida e por todas as bênçãos que me concede sempre, pela sabedoria e oportunidade de elaborar esta dissertação.

Aos meus familiares, que me deram apoio incondicional em todos os momentos de minha vida, sempre valorizando meus potenciais.

A Jane que esteve sempre ao meu lado, pelos incansáveis momentos dedicados a essa pesquisa, por estar presente em distintos e importantes momentos da minha graduação e da minha vida.

A Elaine Gisele Rosso, pela amizade, mas principalmente pelo apoio e ajuda que foram essênciais a essa pesquisa.

Ao professor Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, que me orientou com sua sabedoria, pela oportunidade de elaborar essa pesquisa.

Ao professor Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, pela amizade e ensinamentos compartilhados durante a realização desta pesquisa.

Aos professores, Dr. José Airton Azevedo dos Santos e Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, pelas contribuições para aperfeiçoamento desta pesquisa.

A Vanderléia, pela paciência e atenção que sempre dedica a todos os alunos do PPGEA.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Energia na Agricultura, que proporcionaram a estrutura necessária para minha formação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Energia na Agricultura, que compartilharam seus conhecimentos, seja durante as disciplinas cursadas, nos seminários e palestras ou mesmo nas conversas pelos corredores da Unioeste.

Aos colegas e amigos do mestrado pelo companheirismo e amizade nesses dois anos.

A granja Colombari, especialmente ao Sr. José Columbari e seu filho Pedro, pela colaboração, disponibilidade e liberação da área para coleta de dados.

Ao ITAI (Instituto de Tecnologia Aplicada e Inovação), a FPTI (Fundação Parque Tecnológico de Itaipu), a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) pelo apoio incondicional.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS ii
LISTA DE FIGURAS iii
LISTA DE FIGURAS iii
RESUMO iv
ABSTRACT v
1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
2.1 ENERGIA 3
2.1.1 Energia de Biomassa **5**
2.2 ATIVIDADE DE SUINOCULTURA 11
2.3 BIOGÁS 12
2.3.1 Digestão Anaeróbia **16**
2.3.2 Biodigestores **18**
2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA 22
2.4.1 Microgeração de Energia Elétrica com Biogás **25**
2.4.2 Motores Geradores de Energia Elétrica a biogás **29**
2.4.3 Qualidade de Energia Elétrica **33**
3. MATERIAIS E MÉTODOS 37
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA 37
3.1.1 Barracões (Baias) **38**
3.1.2 Biodigestores **39**
3.1.3 Transporte do biogás **40**
3.1.4 Motor-gerador **41**
3.2 COLETA DE DADOS 43
3.2.1 Produção de Biogás **43**
3.2.2 Produção de Eletricidade **45**
3.2.3 Eficiência da Conversão de Biogás em Energia Elétrica **47**
3.2.4 Qualidade de Energia Elétrica **48**
3.2.5 Custo da Produção de Biogás e Energia **49**
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 52
4.1 AVALIAÇÕES DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA PROPRIEDADE 52
4.2 AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA PROPRIEDADE 54
4.3 EFICIÊNCIA DA CONVERSÃO DO BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA 56
4.4 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA 58
4.5. CUSTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA 61
5. CONCLUSÃO 67
6. REFERÊNCIAS 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de Biomassa (MtEP) 7
Tabela 2 - Composição Básica do Biogás 13
Tabela 3 - Equivalência por m^3 de biogás 14
Tabela 4 - Poder calorífico inferior de combustíveis gasosos 14
Tabela 5 - Peso específico e poder calorífico inferior do biogás em função da composição química 14
Tabela 6 - Eficiência elétrica e eficiência de cogeração por fonte de energia 23
Tabela 7- Valores de MWh por fonte de geração 24
Tabela 8- Níveis de Tensão Eficaz em regime permanente 34
Tabela 9 - Distorção Harmônica Total 35
Tabela 10 - Flutuação de Tensão 35
Tabela 11- Motor a biogás MWM 6.12T - Ciclo Diesel convertido para Ciclo Otto 41
Tabela 12 - Gerador: Gramaco / G2R 200MB 4 41
Tabela 13 - Potência (kW) / Consumo (m^3. h^{-1}) / Consumo específico (m^3. kWh^{-1}) 56
Tabela 14 - O produtor somente produz energia elétrica 62
Tabela 15 - O produtor produz energia elétrica e recebe 10% do valor pago de crédito de carbono 63
Tabela 16 - O produtor produz energia elétrica e recebe 100% do valor pago de crédito de carbono 63
Tabela 17 - O produtor somente produz energia elétrica 64
Tabela 18 - O produtor produz energia elétrica e recebe 10% do valor pago de crédito de carbono 65
Tabela 19 - O produtor produz energia elétrica e recebe 100% do valor pago de crédito de carbono 65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura dos diferentes processos para produção de energia a partir da biomassa 9
Figura 2 - Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia 17
Figura 3 - Biodigestor tipo canadense 21
Figura 4 - Biodigestor seguido de esterqueira revestida 21
Figura 5 - Fluxograma resumido das possíveis formas de utilização do biogás 28
Figura 6 - Fluxograma resumido do sistema de geração na propriedade 37
Figura 7 - Micro-geração de energia elétrica na propriedade 38
Figura 8 - Pocilga de confinamento dos animais 38
Figura 9 - Biodigestores 39
Figura 10 - Sistema de captação e medição do biogás 40
Figura 11 - Motor Gerador 100kVA instalado na propriedade 42
Figura 12 - Sistema de distribuição 42
Figura 13 - Medidor Roots Meter Dresser (DRESSER, 2011) 44
Figura 14 - Medidor de vazão mássica Thermatel TA2 Enhanced (MAGNETROL, 2011) 44
Figura 15 - Esquema de ligação do analisador no quadro de comando 46
Figura 16 - Medidor WOODWARD GCP -20 48
Figura 17- Produção diária de biogás por animais alojados 52
Figura 18- Produção diária de biogás em função da temperatura 53
Figura 19 - Qualidade do biogás 53
Figura 20- Geração de energia elétrica (kWh) 54
Figura 21 - Potência ativa (kW) 55
Figura 22 - Potência (kW) / Consumo (m^3. h^{-1}) / Consumo especifico (m^3. kWh^{-1}) 55
Figura 23 - Eficiência energética (η) de acordo com a carga (KW) 57
Figura 24 - Consumo específico típico de um grupo motor gerador 57
Figura 25 - Corrente da Fase A fornecida pelo grupo gerador 58
Figura 26 - Taxa de distorção harmônica de corrente. 58
Figura 27 - Tensões entre fases 59
Figura 28 - Taxa de distorção harmônica de tensão. 59
Figura 29- Fator de desequilíbrio de tensão 60
Figura 30 - Frequência de operação do grupo gerador. 60
Figura 31- Fator de Potência 61

RESUMO

MARQUES, Cleber Aimoni, M.sc.,Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Janeiro de 2012. **Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás como fonte primária de energia elétrica**. Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza. Coorientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira.

A energia é de fundamental importância para toda a sociedade, pois é necessária para inúmeras atividades do dia-a-dia, como cozinhar, aquecer, refrigerar, iluminar, entre tantas outras. Atualmente, com o aumento populacional, o uso crescente de máquinas industriais e agrícolas e também da frota de veículos automotores, gerou-se um aumento na demanda por energia, especialmente de combustíveis fósseis ou não renováveis. Devido a esse crescimento, surgem alguns problemas socioambientais, pois a maioria das fontes utilizadas para geração de combustíveis e eletricidade é de origem fóssil (petróleo, carvão, gás natural), e a queima desses combustíveis, libera vários gases que são responsáveis pela poluição atmosférica. Muitos países têm investido na produção de energia limpa e renovável. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de biogás proveniente dos dejetos suínos e a geração de energia elétrica utilizando o biogás como fonte primária de energia. O biogás é produzido em uma propriedade rural localizada na cidade de São Miguel do Iguaçu/PR, a qual utiliza dois biodigestores para produção de biogás, cuja conversão em eletricidade é realizada num moto-gerador de 100 kVA ou 76 kW. Os dados de produção de biogás foram coletados utilizando um medidor de gás modelo *Roots Meter Series B3.* Para o monitoramento do consumo de biogás (m^3/h), pelo motor para geração de energia elétrica (kWh), utilizou-se um transmissor de fluxo de massa de dispersão térmica, modelo *Thermatel TA2.* A produção de energia elétrica (kWh) na propriedade foi medida com um SMART METER T, o qual é um medidor e registrador portátil de grandezas elétricas. Para uma quantidade média de 4672 animais alojados foi produzido 553 m^3/dia de biogás, sendo esse biogás utilizado na geração de 847 kWh/dia de eletricidade. O consumo específico médio de biogás no motor gerador de 76 kW foi de 0,68 $m^3.kWh^{-1}$ e com uma eficiência de 22,21%. O custo de produção de eletricidade utilizando-se o biogás foi de 0,45 R$/kWh, por outro lado o valor da energia paga pela concessionária é de 0,14 R$/kWh, mostrando que não há viabilidade. Por outro lado verificou-se que se ocorrer a venda de créditos de carbono e a ampliação da produção de biogás a energia torna-se competitiva.

Palavras Chaves: Biodigestores, Suinocultura, Energias Renováveis, Biogás.

ABSTRACT

MARQUES, Cleber Aimoni, M.Sc., State University of West of Paraná, in January 2012. **Microgeneration of electricity on a farm using biogas as a primary source of electricity**. Adviser: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza. Co-adviser: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira.

The energy is of fundamental importance to society, it is necessary for numerous activities of day-to-day, such as cooking, heating, refrigeration, lighting, among many others. Currently, with increasing population, the increasing use of industrial and agricultural machinery as well as fleet vehicles, there has been an increased demand for energy, especially fossil fuels renewable or not. Due to this growth, social and environmental problems arise because most of the sources used to produce fuel and electricity is produced from fossil fuels (oil, coal, natural gas), and burning these fuels releases various gases that are responsible for air pollution. Many countries have invested in the production of clean and renewable energy. This study aimed to evaluate the production of biogas from pig manure and generate electricity using biogas as a primary energy source. Biogas is produced on a farm located in São Miguel do Iguaçu / PR, which uses two digesters for biogas production, whose conversion into electricity is conducted in a motor-generator of 100 kVA or 76 kW. The biogas production data were collected using a gas meter model Roots Meter Series B3. For monitoring the consumption of biogas (m^3 / h), the engine to generate electricity (kWh) used a mass flow transmitter of thermal dispersion model Thermatel TA2. The production of electricity (kWh) on the property was measured with a SMART METER T, which is a meter and recorder portable electrical quantities. For an average number of animals housed 4672 was 553 m^3/day of biogas produced, making biogas used to generate 847 kWh / day of electricity. The average specific consumption of biogas in the engine 76 kW generator was 0.68 $m^3.kWh^{-1}$ and with an efficiency of 22.21%. The cost of producing electricity using the biogas was 0.45 R$ / kWh, on the other hand the value of energy paid by the concessionaire is 0.14 R$ / kWh, showing no viability. Moreover it was found that if there is a credit sale carbon and the increased production of biogas energy becomes competitive.

Keywords: Biodigestors, Poultry, Renewable Energy, Biogas

1. INTRODUÇÃO

O atual nível de desenvolvimento econômico do Brasil e dos brasileiros gerou um aumento significativo na demanda por energia elétrica. Devido ao crescimento econômico dos brasileiros, o acesso a bens duráveis de consumo como televisores, geladeiras, entre outros, aumentou o acesso à eletricidade para população e também para a indústria nacional. A nível mundial, em países em desenvolvimento e com índice populacional elevado, onde o consumo de energia elétrica é proporcional à população, a necessidade de fontes alternativas de energia tornou-se um ponto de extremo interesse e destaque na pauta de assuntos dos governos.

As fontes alternativas de energia, particularmente a biomassa, são soluções que além de trazerem sustentabilidade ambiental aos países, também resolvem parte dos problemas relacionados ao aproveitamento dos resíduos animais e orgânicos em áreas urbanas, com o aproveitamento do biogás proveniente de aterros sanitários e também em áreas rurais e pequenas propriedades agroindustriais, com o aproveitamento do biogás proveniente da biomassa gerada por dejetos animais.

De acordo com MASSOTTI (2011), o crescimento da demanda de energia no mundo, aliada à necessidade de redução do lixo levou a estudos relacionados ao reaproveitamento dos resíduos orgânicos. O aproveitamento destes resíduos é realizado através do processo de biodigestão anaeróbica, e mesmo esse processo sendo conhecido a longos tempos, recentemente foi que se desenvolveu e ganhou força mundialmente.

Um dos países que mais utiliza o biogás, para atender a demanda de iluminação doméstica e ainda para cozimento em áreas rurais é a China, já possuindo inclusive um modelo próprio de biodigestor, como será visto no decorrer do presente trabalho. Outro país que também já desenvolveu um modelo próprio de biodigestor é a Índia, possuindo inúmeras unidades instaladas em funcionamento.

No Brasil, somente a partir de 1996 foram iniciados estudos sobre a produção de energia elétrica com biogás de maneira mais intensa. Mesmo assim, já foram alcançados resultados suficientes para demonstrar um bom domínio da tecnologia de produção de biogás, podendo inclusive ser qualificado

como competente para desenvolver programas no âmbito nacional, tanto em áreas rurais e agroindustriais como também em áreas urbanas e industriais.

Uma das áreas de produção de biogás que tem se desenvolvido expressivamente no panorama econômico nacional é a produção do biogás proveniente da biomassa gerada por dejetos da atividade suinícola. Devido aos resultados socioeconômicos e pela competitividade alcançada por este segmento, caracteriza-se como uma atividade sólida para estudos e implantações de unidades de geração de energia elétrica a partir do biogás.

Na suinocultura, devido à legislação ambiental e o aumento da preocupação com a poluição dos solos e das águas, tornou-se inviável a criação de suínos sem um manejo adequado dos dejetos, o que levou os produtores a adotar uma nova atitude diante da gestão ambiental. Diante não apenas da necessidade, mas principalmente das vantagens competitivas apresentadas, a geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da biomassa de dejetos suínos, ganhou evidência dentro da atividade suinícola, pois além de reaproveitar também valoriza os subprodutos da produção.

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a produção de biogás, a geração de energia elétrica e o custo de geração em uma propriedade rural, localizada no município de São Miguel do Iguaçu - PR.

Os objetivos específicos foram:

- Determinação da produção de biogás na propriedade suinícola;
- Avaliação do potencial de geração de eletricidade e qualidade de energia;
- Determinação do custo de produção de biogás e eletricidade.

Para realização deste trabalho realizou-se uma pesquisa de campo, por meio de um estudo de caso numa propriedade suinícola.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA

A energia foi considerada segundo EDP (2011), propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho, podendo ter várias formas: potencial, mecânica, química, eletromagnética, elétrica, calorífica entre outras, havendo variações nas formas que estas podem ser transformadas umas nas outras.

Com o atual desenvolvimento econômico do país e dos brasileiros, com conseqüente aumento nos consumos residencial, comercial e industrial, a demanda por energia elétrica cresce a passos largos. Devido a esse desenvolvimento econômico, a população teve acesso a bens de consumo duráveis, como geladeiras e televisores, o que causou ampliação do acesso à energia elétrica de todas as camadas sociais e também pela indústria nacional.

Segundo o MME (2011), o consumo de energia elétrica em 2010 cresceu 7,8% comparado a 2009. E esse aumento no consumo exigirá que o setor elétrico aumente em cerca de 71,3 GW a capacidade instalada brasileira até 2019, procedente de fontes variadas, o que segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2019 será a base para um crescimento econômico sustentável de aproximadamente 5,2% ao ano.

A energia elétrica pode ser gerada através de inúmeras fontes, essas fontes dividem-se em dois grupos, as energias não renováveis geradas a partir de combustíveis fósseis ou nucleares, como o petróleo, e as energias renováveis geradas a partir de recursos da natureza que se renovam constantemente, como a água, sol, ventos e biomassa.

O Brasil possui um grande potencial de geração de energia elétrica através de fontes renováveis, pois além de possuir a maior reserva de água mundial, também dispõe de inúmeras unidades de produção de biomassa, distribuídas em pequenas ou grandes propriedades rurícolas, e também alguns campos de energia eólica.

Devido à grande dependência energética mundial, e o aumento da poluição pela emissão de gases tóxicos, oriundos da queima de combustíveis ou da produção de energia através de fontes secundárias, todos os países tem

demonstrado uma preocupação crescente com a produção de energia elétrica limpa, utilizando recursos renováveis.

O Tratado de Kyoto, em vigor desde fevereiro de 2005, propõe aos países que o ratificaram, a obrigação de reduzir a quantidade de gases poluentes em pelo menos 5,2% até 2012, em relação aos níveis de 1990 (PINTO, 2008).

De acordo com o MME (2011), a produção de eletricidade a partir da energia eólica em 2010 apresentou um aumento de 75,8% em relação a 2009, grande parte desse aumento deve-se a inauguração de catorze parques eólicos, aumentando a potência instalada para geração eólica no país em 54,1%. Dentre as fontes renováveis de energia, foi a que apresentou maior crescimento.

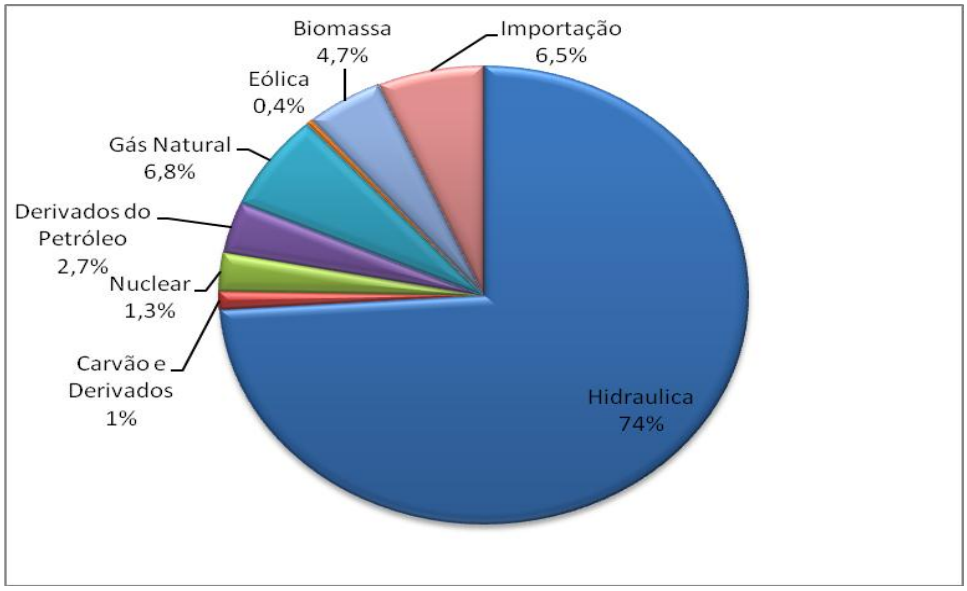
Também, de acordo com o MME (2011), a maior parte da geração de energia elétrica provem da matriz hidráulica com 74% da produção. Porém, a geração de energia por autoprodutores em 2010 apresentou expressivo crescimento de 18,4% com relação a 2009, já sendo considerado o agregado de todas as fontes utilizadas.

De acordo com a ANEEL (2008) a biomassa é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética, reduzindo assim a dependência por combustíveis fósseis.

Segundo a IEA (2011), a energia renovável tornou-se uma prioridade para os governos dos países membros da IEA e também das economias emergentes. Os países estão reconhecendo cada vez mais o potencial das energias renováveis, devido a baixas emissões de carbono e do custo competitivo das tecnologias de energias renováveis, capazes de gerar segurança energética, acesso a energia, mesmo com o desafio das mudanças climáticas.

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, sendo aproximadamente 86% da eletricidade do Brasil originada de fontes renováveis (MME 2011). O gráfico 1 demonstra a oferta de energia elétrica por fonte no Brasil:

Gráfico 1- Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte - 2010



Fonte: MME (2011) – Balanço Energético Nacional

A biomassa merece destaque dentre as mais variadas fontes de energias renováveis pela sua quantidade disponível e por ser a mais sustentável dentre as demais. Segundo o MME (2011), a participação da biomassa na geração de eletricidade no Brasil é de 4,7% na oferta interna de energia elétrica e de acordo com a ANEEL (2008) tem sido crescente no Brasil, principalmente em sistemas de cogeração dos setores industriais e de serviços.

2.1.1 Energia de Biomassa

Segundo a ANEEL (2011) biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia.

Como biomassa designa-se, em geral, a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço vital. Desta maneira, pertencem a biomassa todas as plantas e todos os animais incluindo os seus resíduos bem como, em um sentido mais amplo, as matérias orgânicas transformadas como resíduos de indústria transformadora da madeira e indústria alimentar. Estes elementos primários de biomassa podem ser transformados pelas diferentes tecnologias de conversão em biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos e, finalmente, nos produtos finais energias térmica, mecânica e elétrica (STAISS *et al* 2001).

De acordo com o CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa (2011) a biomassa é utilizada desde os tempos antigos como fonte de energia e somente no século XX, com o programa do álcool no Brasil, teve início o uso da biomassa moderna, ou seja, conversão de dejetos animais, lixo, entre outros, como matéria prima para produção de energia elétrica, baseada em um modelo ambiental sustentável.

No Brasil, o maior exemplo de utilização da biomassa é como biocombustível. De acordo com COELHO (2005), o Programa do Álcool, foi responsável pelo crescimento do setor sucroalcooleiro e promoveu o desenvolvimento tecnológico de processos industriais e da agroindústria.

Nas ilhas Maurício, a utilização da biomassa foi responsável pela redução da dependência externa de petróleo e ainda pela diversificação da matriz energética, através da co-geração de energia a partir de resíduos de cana-de-açúcar, que em 2002, foi responsável pelo atendimento de 40% da demanda nacional de eletricidade (VERAGOO, 2003 *apud* KAREKESI et al, 2005).

Embora grande parte do planeta esteja desprovido de florestas, a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas, o que significa cerca de 400 toneladas per capita. Em termos energéticos, isso corresponde a mais ou menos 3.000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano) (RAMAGE & SCURLOCK, 1996).

Devido ao uso não comercial da biomassa, é difícil a contabilização da quantidade mundialmente utilizada e segundo a IEA(1998), estima-se que ela possa representar até 14% de todo o consumo mundial de energia primária. Já em países em desenvolvimento essa porcentagem aumenta para 34% e chega a 60% na África, conforme se verifica na tabela 1 que dispõe o consumo de biomassa.

Tabela 1 - Consumo de Biomassa (MtEP)

País ou Região	**Biomassa**	**Outros**	**Total**	**%**
Mundial	930	5.713	6.643	14
China	206	649	855	24
Leste Asiático	106	316	422	25
Sul da Ásia	235	188	423	56
América Latina	73	342	415	18
África	205	136	341	60
Países em Desenvolvimento	825	1.632	2.457	34
Países da OCDE	81	3044	3125	3

Fonte: IEA (1998).

Ainda que várias tecnologias de aproveitamento e transformação da biomassa estejam em fase de desenvolvimento e aplicação, estimativas da Agência Internacional de Energia (IEA) indicam que, futuramente, a biomassa ocupará na matriz energética mundial uma menor proporção, cerca de 11% em 2020 (IEA, 1998). Projeções da Agência Internacional de Energia (1998) indicam que ela deverá passar de 10TWh em 1995 para 27 TWh em 2020 (IEA, 1998).

Pode-se distinguir a biomassa, em um sentido energético, entre biomassa que é cultivada com a finalidade de produção de energia e a biomassa que abrange todos os resíduos orgânicos provenientes de outras atividades. As propriedades físicas que devem possuir maior relevância na análise da biomassa sólida são o percentual de umidade e a densidade energética. De acordo com STAISS et al (2001), a porcentagem de umidade influencia significativamente a qualidade de combustão e o poder calorífico da biomassa.

Segundo MASRI (2001) o uso coerente de resíduos animais, que produzem uma grande quantidade de biomassa, é de extrema importância para os aspectos econômicos e ambientais. Mundialmente, a digestão anaeróbia tem sido utilizada no tratamento desses resíduos e com a produção do biogás representa uma fonte alternativa de energia.

Tanto os dejetos quanto os resíduos da criação animal, têm um alto potencial de poluição, e sem orientações ou condições de dar outro destino a esses resíduos, os criadores tem lançado diretamente no solo como fertilizantes, porém em algumas situações podem causar problemas ambientais como contaminação das águas e solos, além do odor desagradável. A partir dos

dejetos suínos duas opções foram estudadas na Europa, uma seria a digestão anaeróbia dos resíduos da suinocultura e a outra a combustão direta. Segundo DAGNALL (2000), o potencial energético mundial somente com a produção de esterco foi estimado em 20 EJ.

Segundo COUTO (2004) para o aproveitamento da biomassa para fins energéticos devem ser considerados: o seu aproveitamento racional com as estratégias concernentes à proteção dos recursos naturais, as potencialidades para promover a substituição das formas de energias não-renováveis, a valorização energética pelos segmentos interessados e a viabilidade econômica. A partir da biomassa, independentemente da forma e da fonte de energia utilizada, tem se mostrado, ao longo de décadas, como um dos mais determinantes fatores de desenvolvimento econômico e social.

A figura 1 mostra os tipos de conversão da biomassa em bicombustíveis.

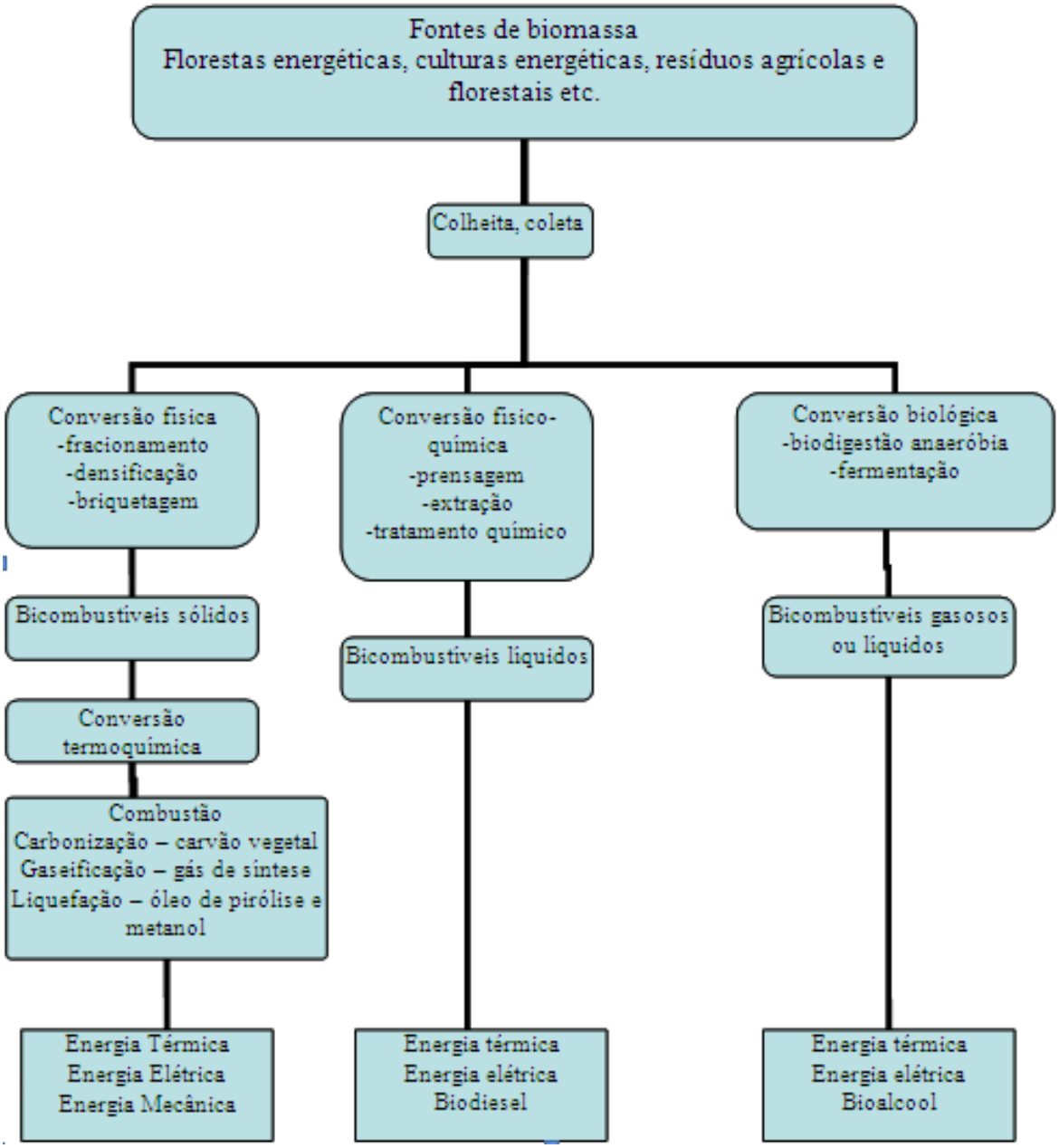


Figura 1 - Estrutura dos diferentes processos para produção de energia a partir da biomassa

Fonte: Adaptado de STAISS et al (2001).

Segundo MENEGUELLO E CASTRO apud CERVI (2009) o Brasil destaca-se como um modelo mundial no aproveitamento da biomassa pelo seu programa de bicombustíveis no setor de transportes baseado no etanol e pela aplicação das tecnologias de energia da biomassa. Bons exemplos disso são: a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, o carvão vegetal oriundo de plantações de eucaliptos, a cogeração de energia com o bagaço de cana-de-

açúcar e o uso da biomassa em indústrias de papel e celulose tais como: cascas e resíduos de árvores, serragem e licor negro.

De acordo com GOLDEMBERG *et al* (2007) as barreiras existentes para a maior utilização das energias renováveis são principalmente de ordem econômica, pois as tecnologias empregadas são novas, ainda em desenvolvimento, e por isso têm custo de implantação muito alto. No entanto, é preciso suporte governamental e investimentos em tecnologia, para que possam alcançar ganhos de escala e se tornem economicamente competitivas. E, ainda, neste sentido expõe COELHO (2005) que aumentar a diversificação da matriz energética de um país e reduzir sua dependência de combustíveis fósseis é uma medida estratégica importante para a garantia de suprimento de energia evitando a vulnerabilidade às oscilações dos preços do petróleo e às instabilidades políticas dos países produtores.

Segundo GUARDABASSI (2006), a instalação de um sistema de produção de energia elétrica com a utilização de energias renováveis, tornou-se uma opção para o atendimento da demanda por energia elétrica em comunidades localizadas em regiões isoladas. Porém, a produção de energia deve estar vinculada a fontes renováveis ligadas as atividades da comunidade, para que não gere dependência de programas de assistencialismo do governo.

No Brasil, grande parte dos programas de redução das emissões de gases poluentes como o carbono, envolve projetos de cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar, mas, há também projetos que utilizam biogás de aterros sanitários e biogás da suinocultura (CERVI, 2009).

RANZI e ANDRADE apud CERVI (2009) expõem que devido as oportunidades oferecidas por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, a demanda de projetos de aproveitamento de biogás vem crescendo mundialmente. A utilização do biogás para geração de eletricidade gera “créditos de carbono” ou Certificados de Emissões Reduzidas, e assim, em vez de liberar os resíduos da decomposição anaeróbia de aterros sanitários diretamente na atmosfera, a queima do biogás substitui as emissões de metano por dióxido de carbono, que possui um potencial de aquecimento global 21 vezes menor do que o dióxido de carbono.

Uma das primeiras empresas do setor agrícola a obter registro junto a ONU para um Programa de Atividades (PoA) voltado para captação de gases do

efeito estufa foi a Sadia. De acordo com a SADIA (2009), o registro do Programa Suinocultura Sustentável Sadia – 3S junto a ONU ocorreu em outubro de 2009, sendo uma iniciativa pioneira na América Latina de uma indústria do setor alimentício no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Segundo a SADIA (2009), o objetivo do Programa 3S é promover a sustentabilidade entre os mais de três mil e quinhentos produtores de suínos integrados a Sadia, por meio da venda de créditos de carbono, como previsto no Protocolo de Kyoto, com a consequente redução das emissões de gases do efeito estufa, que em grande quantidade contribuem para o aquecimento global. Com o registro do programa, a Sadia passou a coletar e armazenar os dados dos sistemas de monitoramento instalados nas granjas de suínos e os créditos de carbono passaram a ser computados para posteriormente serem vendidos.

Segundo a SADIA (2009) o programa conta com biodigestores instalados em 1.086 propriedades de suinocultores integrados da Sadia, nas regiões de Três Passos (RS), Concórdia (SC), Toledo (PR), Uberlândia (MG) e Lucas do Rio Verde (MT), que equivalem a 38% dos suinocultores da Sadia. De acordo com a CVM (2007) a adesão ao programa é aberta a todos os integrantes da Sadia e é voluntária, a instalação dos biodigestores é feita em regime de comodato nas granjas participantes, e o investimento é pago com a geração de créditos de carbono, de acordo com a viabilidade econômica de cada suinocultor.

2.2 ATIVIDADE DE SUINOCULTURA

Dados recentes apontam que a população de suínos no Brasil chega a contar com, aproximadamente, 37 milhões de animais alojados (ABIPECD, 2007). Segundo dados da SEAB (2010), dentre as carnes produzidas no Paraná, à carne suína representa 14%, sendo a segunda maior produção, antecedida apenas pela produção da carne de frango, a qual é responsável por 73% da produção estadual.

Ainda de acordo com a SEAB (2010), o abate de suínos no Paraná, em outubro de 2010, foi de 457.084 animais, apresentando uma redução de 2,3%

em relação a outubro de 2009. Considerando o acumulado do ano, de janeiro a outubro de 2010, o abate já alcançou 4.576.857 suínos.

A suinocultura é uma atividade de grande potencial poluidor, face ao elevado número de contaminantes gerados pelos seus efluentes, cuja ação individual ou combinada, pode representar importante fonte de degradação do ar, dos recursos hídricos e do solo.

O excesso de dejetos da produção de suínos gera dificuldade na manutenção dos rebanhos para os grandes produtores, devido aos altos investimentos para o tratamento dos efluentes e à saturação das áreas para disposição agronômica que pode gerar a contaminação dos recursos naturais (PERDOMO *et al,* 2001).

O tratamento adequado dos dejetos suínos exige a fixação pelo governo de parâmetros legais mais exigentes para controle e fiscalização das unidades de produção de suínos. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (MMA, 2005).

O crescimento da suinocultura gera a necessidade de adoção de técnicas de tratamento e utilização dos resíduos, que podem ser reutilizados em outros setores da agricultura, como os biofertilizantes, e ainda seja mantida a qualidade ambiental.

Um dos métodos de tratamento de resíduos do campo mais promissores é a digestão anaeróbia, pois promove com eficiência a degradação dos resíduos orgânicos gerados nas atividades rurais e industriais (LUCAS JÚNIOR, 1987).

A utilização de biodigestores para produção de biogás e biofertilizantes é viável na suinocultura, pois devido à grande quantidade de animais confinados, o aproveitamento dos dejetos suínos na produção de biogás para produção de energia elétrica ou biofertilizante, além de ser uma fonte de energia renovável também contribui para o desenvolvimento sustentável.

2.3 BIOGÁS

De acordo com CRAVEIRO (1982) apud BECK (2007), biogás é um gás que resulta da fermentação da matéria orgânica no processo de tratamento

anaeróbio, por meio de biodegradação feita por bactérias na ausência de oxigênio.

Segundo AVELAR *et al* (2001), a produção do biogás, se encaixa perfeitamente dentre as disposições apresentadas pelo Banco Mundial de uso sustentável dos recursos naturais renováveis, de combate à poluição e ao desperdício de energia, pois além de ser uma alternativa energética, é um combustível de baixo custo por se originar de um subproduto.

O biogás é composto por uma mistura de gases, porém o tipo e porcentagem desses gases variam de acordo com os resíduos e as condições utilizadas no processo de biodigestão. Independente da matéria prima utilizada na transformação do biogás, ele será essencialmente constituído por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2). Outros gases, como o sulfeto de hidrogênio, o nitrogênio, o hidrogênio e o monóxido de carbono também compõe o biogás, mas em menores concentrações. Na Tabela 2, apresenta-se a composição do biogás.

Tabela 2 - Composição Básica do Biogás

Composição	Porcentagem do Volume de Gás Produzido
Metano (CH_4)	50 – 70%
Dióxido de Carbono (CO_2)	25 – 50%
Nitrogênio (N_2)	0 – 7%
Gás sulfídrico (H_2S)	0 – 3%
Oxigênio (O_2)	0 – 2%
Hidrogênio (H_2)	0 – 1%
Amoníaco (NH_3)	0 – 1%
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,2%
Gases em Menor Concentração	0,01 – 0,6%

Fonte: CETESB (2011)

O poder calorífico do metano é de 8.500 kcal/m³, portanto a concentração de metano no biogás é diretamente relacionada ao poder calorífico do biogás. O potencial teórico de energia contido nos combustíveis é determinado pelo poder calorífico inferior (PCI). O biogás altamente purificado pode alcançar até 12 000 kcal/m^3 (COPEL 2011).

A concentração de metano é proporcional à energia por unidade de massa e consequentemente maior seu poder calorífico, portanto quanto maior a concentração de metano, mais energia por unidade de massa e maior o poder calorífico inferior (PCI) do biogás. A tabela 3 mostra a relação de equivalência do

m^3 de biogás com outras fontes de energia e a tabela 4 mostra o poder calorífico inferior de alguns combustíveis.

Tabela 3 - Equivalência por m^3 de biogás

Fonte de energia:	Um metro cúbico de biogás equivale a:
Gasolina	0,613 litro
Querosene	0,579 litro
Óleo Diesel	0,553 litro
Gás de Cozinha	0,454 litro
Lenha	1,536 quilo
Álcool Hidratado	0,790 litro
Eletricidade	1,428 kW

Fonte: COPEL (2011)

Tabela 4 - Poder calorífico inferior de combustíveis gasosos

Gás	PCI (kcal/m3)
Metano	8500
Propano	22000
Butano	28000
Gás de coqueira	4400
Gás de cidade	4000
Gás natural	8554
Biogás	5500

Fonte: IANNICELLI (2008)

A concentração de metano influência não somente o poder calorífico inferior como também a densidade ou peso específico do biogás. A tabela 5 mostra essa variação entre o poder calorífico inferior do biogás e a densidade em função da quantidade de metano presente no biogás.

Tabela 5 - Peso específico e poder calorífico inferior do biogás em função da composição química

Composição química do biogás	Peso específico ou densidade (kg/m^3)	Poder Calorífico Inferior – PCI (kcal/kg)
10% CH_4 e 90% CO_2	1,8393	465,43
40% CH_4 e 60% CO_2	1,46	2333,85
60% CH_4 e 40% CO_2	1,2143	4229,98
65% CH_4 e 35% CO_2	1,1518	4831,14
75% CH_4 e 25% CO_2	1,0268	6253,01
95% CH_4 e 05% CO_2	0,7768	10469,6
99% CH_4 e 01% CO_2	0,7268	11661,02

Fonte: IANNICELLI (2008).

Motores de combustão interna são máquinas que queimam a mistura ar-combustível internamente em um cilindro e transformam a energia calorífica do combustível em energia mecânica utilizável, e segundo SOUZA (2003) o biogás pode ser utilizado nesses tipos de motores.

De acordo com NOGUEIRA (1986) tanto os motores de combustão interna de ciclo OTTO quanto o de ciclo Diesel, admitem o biogás em mistura com o ar, porem a diferença entre os motores é que no ciclo OTTO a ignição é feita por centelha, e o biogás é carburado em um dispositivo adaptado no local do filtro de ar, e nos motores de ciclo DIESEL, a ignição é feita por compressão e deve ser feita injeção de uma pequena quantidade de óleo Diesel para iniciar a queima.

Segundo SANTOS (2000) a eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com motores de combustão interna de ciclo OTTO é de 25% e o poder calorífico inferior (PCI) do biogás é de 6,5 kWh/m^{-3} (60% de metano).

O uso do biogás em sistemas de cogeração de energia elétrica em áreas rurais e agroindústrias tem sido objeto de estudo de muitas pesquisas. COLDEBELLA (2006) avaliou a viabilidade da produção de energia elétrica a partir do uso do biogás proveniente das atividades de bovinocultura de leite e suíno cultura em conjuntos motor gerador e motor bomba para irrigação em propriedades rurais.

SCHWADE *et al* (2006) apresentaram um trabalho de geração de energia elétrica com uso do biogás proveniente do tratamento dos dejetos da suinocultura em uma propriedade rural com sistema de criação de suínos que possuía 240 fêmeas destinadas à produção de leitões e com o modelo de biodigestor empregado, verificou-se produção de biogás de aproximadamente 0,28 m^3/dia/fêmea, apresentando demanda média de energia elétrica na propriedade entre 1kW e 15,33 kW.

FISCHER et al (2001) apresentaram um estudo sobre o uso de biogás como combustível alternativo em uma propriedade rural composta por um rebanho de 3.200 cabeças de suínos em fase de terminação e um biodigestor anaeróbico. BECK (2007) elaborou um estudo sobre a produção e uso agroindustrial do biogás suíno, enquanto energético, aplicando o uso de biodigestores na solução de problemas ambientais e na produção de energia.

LIMA (2007) estabeleceu um estudo que demonstra que os dejetos de suínos podem ser convertidos em metano, para geração de energia térmica e elétrica, com benefícios para os produtores e para o país. SOUZA *et al* (2004) elaboraram um estudo sobre o custo e viabilidade de produção de eletricidade gerada a partir do biogás numa propriedade rural, utilizando um motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico para conversão de biogás em eletricidade.

2.3.1 Digestão Anaeróbia

Um dos países que mais utiliza o biogás, para atender a demanda de iluminação doméstica e ainda para cozimento em áreas rurais é a China, já possuindo inclusive um modelo próprio de biodigestor. Outro país que também já desenvolveu um modelo próprio de biodigestor é a Índia, possuindo inúmeras unidades instaladas em funcionamento (NOGUEIRA et al, 2005).

No Brasil, somente a partir de 1996 foram iniciados estudos sobre a produção de energia elétrica com biogás de maneira mais intensa. Mesmo assim, já foram alcançados resultados suficientes para demonstrar um bom domínio da tecnologia de produção de biogás, podendo inclusive ser qualificado como competente para desenvolver programas no âmbito nacional, tanto em áreas rurais e agroindustriais como também em áreas urbanas e industriais (SEIXAS *et al*, 1980).

De acordo com OLIVEIRA *et al* (2003), KUNZ et al (2004) a digestão anaeróbia é o procedimento mais utilizado no tratamento de dejetos suínos, resultando numa grande quantidade de gás, composto principalmente de metano (CH_4).

A figura 2 mostra as principais etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia que são hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. De acordo com CARON et al (2009) na hidrólise as moléculas orgânicas complexas, como proteínas, lipídios e carboidratos, são convertidas em material orgânico mais simples através de enzimas extracelulares conhecidas como exoenzimas, as quais são excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas. Na acidogênese os compostos gerados na hidrólise, são convertidos em H_2, CO_2, sais e alcoóis. A Hidrogenogênese ou acetogênese

é a etapa na qual os ácidos voláteis e os alcoóis são metabolizados, produzindo acetato e H_2 através das bactérias acetogênicas produtoras de H_2. Segundo WOESE et al apud CARON et al (2009) a metanogênese é a etapa onde o CH_4 é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético e pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução do CO_2.

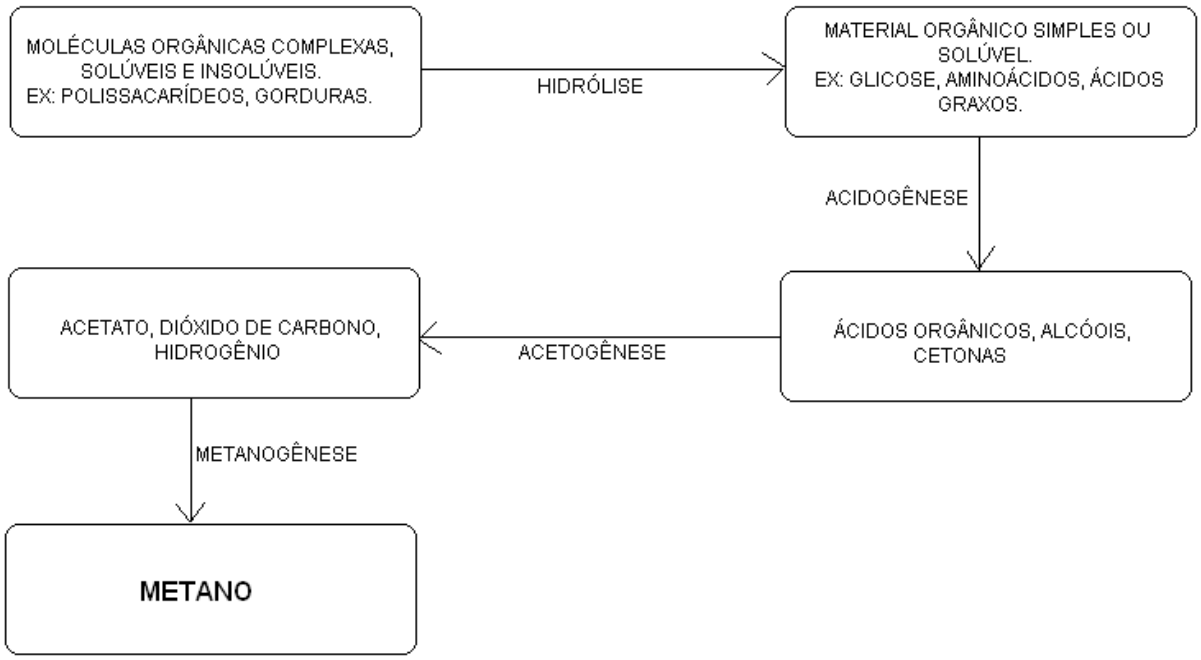


Figura 2 - Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia

Fonte: Adaptado de CARON *et al* (2009).

O processo de digestão anaeróbia requer uma perfeita interação entre as bactérias fermentativas e as metanogênicas. Como o grupo das bactérias metanogênicas é o mais sensível às variações ambientais, deve-se operar o digestor anaeróbio visando à manutenção das condições ideais para estas bactérias. Entre os fatores que afetam os microrganismos da digestão anaeróbia encontra-se a temperatura, o pH, a umidade, os nutrientes e a toxicidade no meio de reação (PINTO, 2006).

O uso da biodigestão anaeróbia para a produção de biogás demonstra um avanço importante como tentativa de solução para o problema da disponibilidade energética no meio rural, tanto no uso para aquecimento, quanto para a geração de energia elétrica.

Para produção de biogás a partir dos resíduos da suinocultura, são utilizados biodigestores, sendo que a biodigestão ocorre através do chorume, que é a diluição dos resíduos com água de lavagem. Segundo SOUZA et al (2004) a conversão do chorume em biogás leva em consideração a biodegradabilidade da matéria orgânica (equivalente a aproximadamente 75%), a eficiência de conversão do biodigestor (equivalente a aproximadamente 85%) e a fração de matéria orgânica utilizada pelas bactérias no seu próprio crescimento (equivalente a aproximadamente 5%).

De acordo com CCE (2000) e SPEECE (1996) apud SOUZA et al (2004), a produção teórica de metano assume sempre um valor fixo, sendo que 01(um) kg de DQO convertido corresponde a 0,35m^3 de metano (CH_4), expresso em função da Demanda Química de Oxigênio (DQO).

Segundo SHIKIDA *et al* (2009) um suíno tem uma produção de 72 litros/dia, o que corresponde a uma carga orgânica de 2,376 kg de DQO. Considerando-se as eficiências do processo (60,5%), a produção de metano em função da carga orgânica seria da ordem de 0,504 m^3/cabeça dia, sendo, portanto a produção de biogás de 0,504/0,65 = 0,775 m^3 de biogás/cabeça de suíno/dia.

2.3.2 Biodigestores

Biodigestor consiste em uma câmara fechada onde os resíduos orgânicos das produções rurais ou agrícolas são armazenados sem a presença do ar atmosférico e esses resíduos são fermentados através de digestão anaeróbica, produzindo biogás e biofertilizante (GASPAR, 2003).

De acordo com ASSIS (2004) biodigestor é o sistema de tratamento de biomassa em estruturas fechadas para onde são conduzidos, por tubulações, o esterco e a urina dos animais. Nesse local, o material entra em processo natural de fermentação, por meio de bactérias anaeróbicas (que se desenvolvem na ausência total de oxigênio), e, ao fim do processo, são produzidos gases, resíduos pastosos e efluentes líquidos. Os três subprodutos têm valor econômico. O gás (metano, diferente do GLP que é o butano) pode ser utilizado para os mesmos fins: a geração de energia, aquecimento de pocilgas e aviários no inverno e até em fogões domésticos. O material sólido vira adubo natural para

as lavouras. Já os efluentes líquidos alimentam algas em tanques que depois são utilizados como comida para peixes criados em açudes.

A transformação de compostos orgânicos em compostos mais simples, dentro de um biodigestor, ocorre em etapas: primeiramente ocorre a quebra de moléculas orgânicas complexas em simples e solúveis através da hidrólise, posteriormente através da acidogênese ocorre à transformação moléculas de glicose, aminoácidos e ácidos graxos em ácidos orgânicos alcoóis e cetonas, que serão transformados em acetato, dióxido de carbono e hidrogênio através da acetogênese, e somente na última etapa através da metanogênese tem-se a produção de metano. Esse processo de biodigestão gera três subprodutos, biogás, biofertilizante e efluentes mineralizados (tratados). O tratamento de dejetos suínos em biodigestores também diminuem organismos patogênicos e parasitas, coliformes fecais e odor desagradável, melhorando assim a higiene das propriedades rurais.

Os biodigestores classificam-se, quanto ao abastecimento, em contínuos e intermitentes ou batelada, sendo que no contínuo como o próprio nome já diz, o abastecimento ocorre frequentemente e no intermitente é periodicamente (FONSECA et al, 2009).

Segundo GASPAR apud FONSECA et al (2009) o modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de palha ou forragem misturada a dejetos animais.

De acordo com FONSECA et al (2009), no Brasil os modelos mais empregados são biodigestor com cúpula fixa (modelo chinês), o biodigestor com campânula flutuante (modelo indiano) e o tubular (modelo canadense). O modelo chinês tem um custo baixo de implantação, é mais durável, ocupa pouco espaço na superfície do solo, apresenta-se fixo, sem partes metálicas, no entanto as oscilações de pressão no gasômetro (local de armazenamento do gás) provocam vazamentos, tornando o manejo complicado.

De acordo com DEGANUTTI et al (2002), o modelo de biodigestor indiano caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, que pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. O

biodigestor indiano possui pressão de operação constante e seu abastecimento deve ser contínuo.

Em um biodigestor tubular ou modelo canadense, também chamado de *plug-flow*, a biomassa tem entrada contínua em uma das extremidades do biodigestor, passa através do mesmo e é descarregada na outra extremidade, na mesma seqüência em que entrou. O fluxo se processa, sem misturas longitudinais. As partículas permanecem no tanque por um período igual ao tempo de retenção hidráulica. Para garantir isso, os biodigestores são longos, com uma elevada relação comprimento-largura que auxilia na hidrodinâmica (FEIDEN et al, 2004).

FEIDEN et al (2004) também relataram que ocorre a formação de crosta em biodigestores tubulares porque nestes, conceitualmente, não há mistura, pelo menos no sentido longitudinal. Dessa maneira os biodigestores tubulares têm sido utilizados com sistemas de agitação, como sistemas com eixos longitudinais equipados com pás que fazem a mistura da biomassa.

O modelo conhecido popularmente como Canadense é um biodigestor de tipo horizontal, e possui uma área de exposição solar maior. Ele tem profundidade menor e largura maior do que o indiano, originando uma maior produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, e infla como um balão com a produção do biogás. Para que o gás saia do biodigestor com pressão suficiente para ser utilizado, costuma-se colocar sacos de areia ou pneus velhos sobre a campânula.

Na suinocultura, principalmente nas propriedades rurais no sul do Brasil, o modelo de biodigestor mais utilizado é o Canadense, como ilustra a Figura 3. Este modelo é constituído por uma caixa de entrada, para onde são canalizados os dejetos provenientes dos galpões; uma câmara de fermentação subterrânea revestida com lona plástica; uma manta superior para reter o biogás produzido de modo a formar uma campânula de armazenamento; uma caixa de saída, onde o já chamado biofertilizante é canalizado para uma esterqueira, conforme Figura 4; um registro para saída do biogás e um queimador, conectado ao registro de saída do biogás. Para proporcionar o menor risco de ocorrer furos na manta superior que venham a causar vazamento de gás, o biodigestor deve estar cercado e seus arredores limpos (PEREIRA *et al.*, 2009).

Figura 3 - Biodigestor tipo canadense

Fonte: PEREIRA *et al* (2009)

Figura 4 - Biodigestor seguido de esterqueira revestida

Fonte: PEREIRA et al (2009)

2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Segundo ACKERMANN *et al* (2001), a geração distribuída pode ser definida como uma fonte de geração conectada diretamente na rede de distribuição ou ao consumidor. A potência instalada, nesta definição, não é considerada relevante para sua caracterização. O autor, neste mesmo trabalho, divide a geração distribuída em função da potência em Micro (até 5 kW), Pequena (de 5 kW a 5 MW), Média (de 5 MW a 50 MW) e Grande (de 50 MW a 300 MW), valores que consideram a realidade americana. No Brasil, a geração distribuída é geralmente limitada superiormente por uma potência instalada de 30 MW ou de 50 MW.

De acordo com o CIGRE - Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica apud MALFA (2002) geração distribuída é a geração que não é planejada de modo centralizado, nem despachada de forma centralizada, não havendo, portanto, um órgão que comande as ações das unidades de geração, descentralizada. Segundo o IEEE apud MALFA (2002) geração descentralizada é uma central de geração pequena o suficiente para estar conectada a rede de distribuição e próxima do consumidor. Segundo TURKSON et al (2001) apud DIAS et al (2005) a geração distribuída é definida como o uso integrado ou isolado de recursos modulares de pequeno porte por concessionárias, consumidores e terceiros em aplicações que beneficiam o sistema elétrico e/ou consumidores específicos.

No Brasil, a geração distribuída foi definida de forma oficial através do Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004, e foi definida da seguinte forma:

> Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída à produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:
> I hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e
> II termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, (...).
> Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput.

O PRODIST (Procedimentos de Distribuição) define geração distribuída como sendo geração de energia elétrica, de qualquer potência, conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de

consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas – ou não – pelo ONS (ANEEL, 2005).

Frente à tamanha diversidade de conceitos, conclui-se ser necessário adotar-se uma definição que seja a referência para as análises e considerações deste trabalho. Sendo assim define-se aqui geração distribuída, doravante grafada GD, como sendo qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas, alimentadas sem necessidade de transporte da energia através da rede de transmissão (INEE, 2002), e que tenha capacidade de mobilidade no que diz respeito a sua localização física.

Segundo a ANEEL (2011), a eficiência energética típica em termelétricas com turbinas a gás é de 25 a 40%, sendo que a eficiência de cogeração é de 60 a 80%, conforme demonstra a tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Eficiência elétrica e eficiência de cogeração por fonte de energia

Tecnologias	Eficiência Elétrica (%)	Eficiência Cogeração (%)
Turbina a vapor	14 – 35	60 – 80
Turbina a gás	25 – 40	60 – 80
Ciclo combinado	35 – 45	70 – 88
Motor Diesel	35 – 45	60 – 85
Micro-sistema com motor alternativo	27 – 40	60 – 80
Célula Combustível	37 – 45	85 – 90
Motor Stirling	35 – 50	60 – 80

Fonte: ANEEL (2011)

Instituído pela Medida Provisória nº 14, de 21 de dezembro de 2001 (ANEEL, 2001), o Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA destaca-se como um mecanismo de incentivo ao uso da biomassa para a geração de energia elétrica. O programa tem a finalidade de agregar ao sistema elétrico brasileiro 3.300 MW de potência instalada a partir de fontes alternativas renováveis, cujos prazos e regras serão definidos e regulamentados pela Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica – GCE – e pelo Ministério de Minas e Energia – MME, com a colaboração de outras instituições, entre elas a ANEEL e a Eletrobrás.

Os principais mecanismos de incentivo previstos no PROINFA são a garantia de compra, por um prazo de até 15 anos, da energia gerada, e o estabelecimento de um valor de referência compatível com as características técnico-econômicas do empreendimento. Entre outros incentivos, destaca-se a

redução não-inferior a 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica. (ANEEL, 2008)

Segundo a ANEEL (2008) foi elaborado pelo Ministério de Minas e Energia e pela ME e pela Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica – GCE um programa de incentivo específico, com a finalidade de agregar ao sistema elétrico nacional, 2.000 MW de geração de energia elétrica a partir de biomassa. Também existe um programa de financiamento com taxas de juros reduzidas e prazos de carência e amortização coerentes com a natureza dos investimentos.

A Resolução ANEEL nº 233, de julho de 1999 (ANEEL, 1999) estabelece os limites para o repasse dos preços de compra de energia elétrica, livremente negociados com as distribuidoras, para as tarifas dos consumidores cativos. Esse limite, denominado valor normativo, tem por objetivo proteger os consumidores cativos de eventuais aumentos indesejados nas suas tarifas de fornecimento e também atuar como incentivo a implementação de fontes alternativas de energia.

Esses valores normativos das fontes alternativas são expressivamente superiores ao valor normativo das fontes competitivas (hidrelétricas e termelétricas convencionais), estabelecendo assim um diferencial competitivo para a implantação de novas fontes de energias renováveis.

A Resolução nº 22, de fevereiro de 2001 (ANELL, 2001), cria e define a classificação "biomassa e resíduos" e dá outras providências. A Tabela 7 apresenta os novos valores de MWh por fonte de geração de energia elétrica.

Tabela 7- Valores de MWh por fonte de geração

Fonte de Geração	**R$ / MWh**	**US$ / MWh***	**Valor índice**
Competitiva	72,35	36,85	1,00
Carvão Nacional	74,86	38,13	1,03
Pequena Central Hidrelétrica	79,29	40,39	1,10
Biomassa e Resíduos	89,86	45,77	1,24
Energia Eólica	112,21	57,15	1,55
Energia Solar	264,12	134,53	3,65

Fonte: ANEEL (2008)

Através da Resolução ANEEL nº 245, de agosto de 1999 (ANEEL, 1999), foi estendido os benefícios da sistemática de rateio da Conta Consumo de Combustíveis – CCC – a empreendimentos que substituam a geração

termelétrica a derivado de petróleo ou atenda a novos mercados. Deste modo, a energia gerada a partir de biomassa, PCHs e outras fontes alternativas passaram a ser remuneradas pelo valor da geração a base de óleo diesel ou óleo combustível.

Por esse mecanismo, que subsidia usinas que utilizam como matéria prima a biomassa por até 8(oito) anos, os produtores de eletricidade a partir de resíduos agrícolas e florestais, óleos vegetais e outras matérias-primas de origem orgânica podem receber valores variando de US$ 60,00 a US$ 120,00 por MWh, de acordo com a distância e o custo do óleo diesel ou combustível utilizado na pequena usina.

A regulamentação e desenvolvimento dessa fonte de energia alternativa veio com a implantação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, que foi criado no âmbito do Ministério de Minas e Energias – MME pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, revisada pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003 (COLDEBELLA, 2006).

Segundo a Resolução Normativa ANEEL nº 390 de 15 de dezembro de 2009 (ANEEL, 2009), para que o produtor rural obtenha a certificação da central termelétrica como geração distribuída ele deverá estão regularizado perante a Agência, ter potência instalada menor ou igual a 30MW, não ser despachada pelo ONS e apresentar eficiência energética de no mínimo 75%.

2.4.1 Microgeração de Energia Elétrica com Biogás

Para a ANEEL (2011), a microgeração distribuída é a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fonte incentivada de energia, ou seja, fontes de energias renováveis como solar, eólica, biomassa, hídrica ou cogeração qualificada, conectada na rede de baixa tensão da distribuidora através de instalações de unidades consumidoras.

A ANEEL ainda não possui bem definida as normas regulamentadoras quanto à geração distribuída e os incentivos para que pequenos produtores rurais e agroindústrias possam investir em microgeração de energia. Em Agosto/2011 foi aprovada pela ANEEL, a realização de uma audiência pública para apresentação de propostas para reduzir as barreiras referentes à instalação de micro e minigeração distribuída incentivada, bem como para promover

alteração no desconto das tarifas de uso dos sistemas de distribuição e transmissão (TUSD e TUST) para usinas com painéis fotovoltaicos.

De acordo com a ANEEL (2011) a proposta sobre micro e minigeração distribuída visa criar o Sistema de Compensação de Energia, que funcionará da seguinte forma: quando a energia gerada for superior a consumida em um determinado mês, o saldo positivo será utilizado para abater o consumo na fatura do mês subseqüente, mantido o custo de disponibilidade. Os créditos gerados expiram após 12 meses. Se aprovada, as distribuidoras terão até 180 dias após a publicação da resolução para adaptações em suas normas técnicas, para tratar do acesso de minigeração e microgeração distribuída incentivada.

Um avanço importante na área de microgeração de energia foi a autorização dada pela diretoria colegiada da ANEEL em Agosto de 2008, autorizando a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel) a implantar um projeto-piloto que previa a compra da energia excedente produzida a partir de dejetos animais, em pequenas propriedades rurais do Paraná. (ANEEL 2008)

O projeto recebeu o nome de Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental e permite a eliminação do material orgânico resultante da criação de suínos, que deixou de ser lançado nos rios e em reservatórios como o da usina hidrelétrica de Itaipu. Através do Programa esses resíduos são transformados, por meio de biodigestores, em biogás e posteriormente através de motogeradores em energia elétrica. (ANEEL 2008)

O limite da capacidade de geração dos empreendimentos do programa é de 300 kVA de potência instalada, que equivale a 270 KW. Como a produção refere-se à geração distribuída, os microgeradores têm a energia vendida exclusivamente para a COPEL, por meio de chamada pública destinada à contratação do excedente ofertado. (ANEEL 2008)

Dentro deste programa, foi também simplificado o registro dessas pequenas centrais geradoras junto a ANEEL. Foram aplicados os princípios previstos na Resolução Normativa ANEEL nº 77/2004, que previa o incentivo para empreendimentos de biomassa que tenham como fonte biogás ou queima de lixo urbano, sendo garantido assim aos proprietários o desconto de 100% na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (Tusdg).

A Resolução Normativa da ANEEL nº 77/2004, prevê o incentivo para microgeração de energia a partir do biogás produzido pela biomassa. Assim, a

produção de eletricidade a partir do Biogás, mesmo não estando totalmente regulamentada pela ANEEL já tem apresentado um grande avanço, principalmente no Estado do Paraná, entre os produtores de suínos.

Para geração de eletricidade através do biogás, as formas que possuem maior destaque são a combustão direta e o uso do biogás em motores. Propriedades rurais e agroindustriais que possuam disponibilidade de biomassa podem transformar o biogás em energia elétrica, através de motores de combustão interna acoplados a geradores elétricos, para geração distribuída de energia elétrica. Já no processo de combustão direta, o biogás é queimado em câmaras de combustão de caldeiras, aquecedores, secadores ou turbinas a gás, e o calor liberado na queima pode ser utilizado para geração de eletricidade.

A figura 5 apresenta um fluxograma resumido das possíveis formas de utilização do biogás.

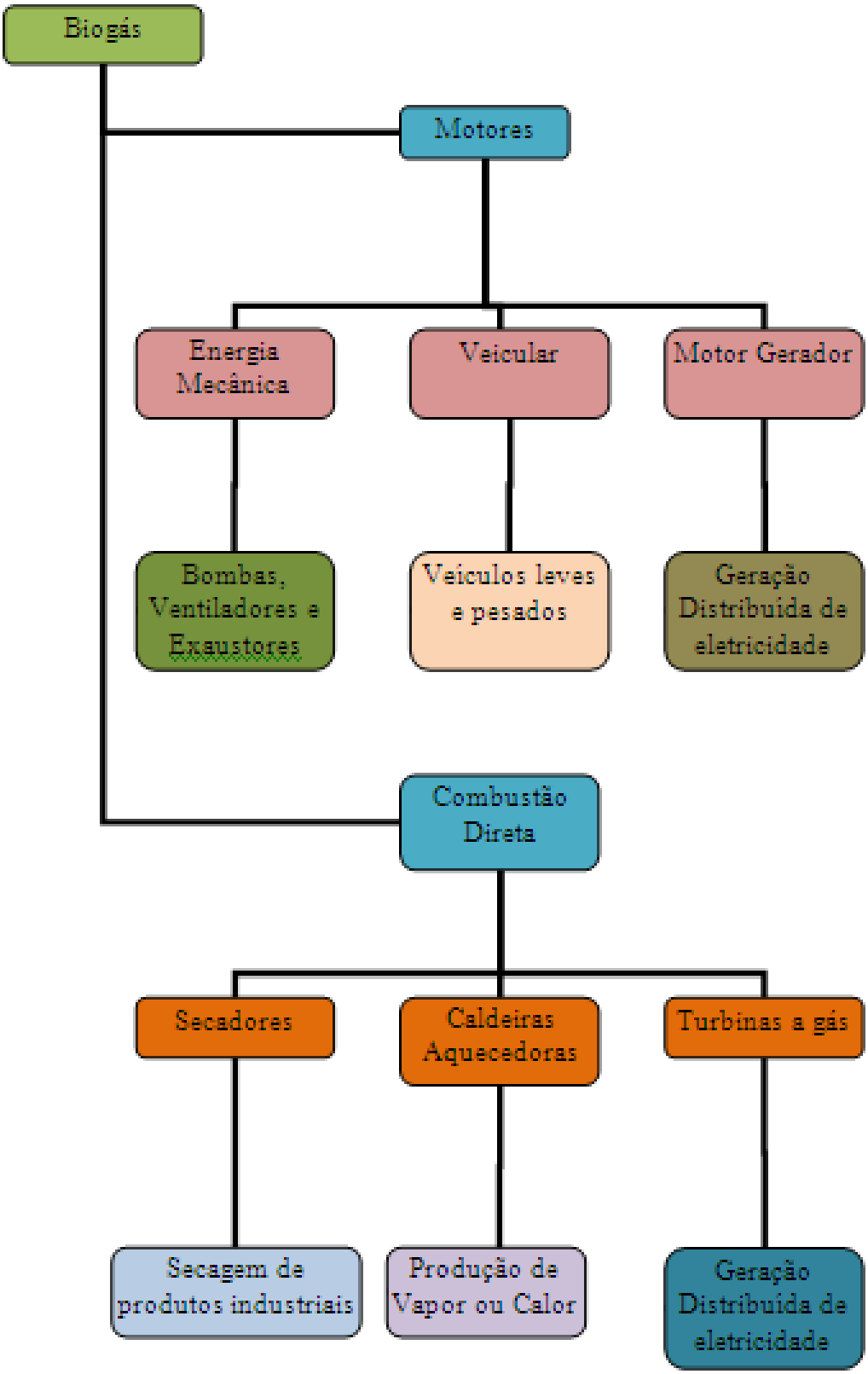


Figura 5 - Fluxograma resumido das possíveis formas de utilização do biogás

Fonte: Walsh et al (1988) & CCE (2000)

2.4.2 Motores Geradores de Energia Elétrica a biogás

De acordo com OLIVEIRA JUNIOR (1997), motores térmicos de combustão interna são aqueles em que a mistura admitida para dentro do motor é queimada e sua energia térmica é transformada em energia mecânica.

Os equipamentos primários mais utilizados no aproveitamento do biogás como combustível para geração de energia elétrica são os motores de combustão interna. Formam um conjunto entre geradores de eletricidade acoplados a motores de ignição por centelha, conhecidos como ciclo Otto. O processo de conversão para utilização do biogás (60% metano) como combustível é facilitado, pois a maioria dos motores a gás já utilizam o gás natural.

Segundo GIACOSA (1986) os motores térmicos de combustão interna são máquinas que tem por objetivo transformar a energia calorífica em energia mecânica diretamente utilizável. A energia calorífica pode provir de diversas fontes primárias, porem no caso dos motores a combustão, a energia calorífica tem origem na queima de combustíveis líquidos e gasosos. Portanto, pode-se dizer que os motores de combustão interna transformam a energia química do combustível em energia mecânica.

De acordo com OBERT (1971) nos motores de combustão interna, os produtos da combustão são os próprios executores do trabalho. A maior parte destes utiliza o principio do embolo alternativo, onde este e dotado do movimento de vai e vem no interior de um cilindro, produzindo trabalho através de uma biela e de um eixo de manivelas.

Os tipos de motores que podem ser utilizados para biogás podem ser o ciclo Otto e o ciclo diesel. Tendo em vista o ciclo Otto ou de ignição por centelha já possui unidades existentes e adaptadas para o uso com gás natural, é o modelo mais facilmente adaptável também para uso com biogás, consistindo a principal alteração numa regulagem no carburador para a queima de uma mistura ar e combustível mais fraca.

Motor a ciclo diesel ou ignição por compressão, pode ser adaptado para utilizar biogás na forma dual, onde a principal alteração é a introdução de um misturador na entrada do ar, antes de ser comprimido, permanecendo o restante

funcionando sob o princípio diesel. No motor dual o combustível injetado (diesel) entra em autoignição junto com a mistura ar - biogás, sendo que a injeção do diesel é reduzida automaticamente pelo regulador de velocidade. A redução do consumo de diesel no modo dual é acima de 80 % (OBERT, 1971).

De acordo com OBERT (1971) a conversão do ciclo diesel para o ciclo Otto não é tão simples, pois além de outras mudanças envolve a introdução de um sistema de ignição por centelha, de um carburador, a remoção da bomba injetora e a redução da taxa de compressão, mas após essa conversão do ciclo diesel para o ciclo otto poderá operar com 100% de biogás.

Os motores movidos à gasolina ou diesel, de ignição por centelha, já convertidos a ciclo Otto, podem facilmente ser convertidos para motores a biogás. São utilizadas as mesmas técnicas de conversão de motor à gasolina para motor a gás natural. Devido à concentração de metano ser menor no biogás do que no gás natural, o poder calorífico do biogás corresponde a aproximadamente a metade do gás natural, portanto deve-se dimensionar o sistema de carburação para que o fluxo de biogás seja o dobro do fluxo de gás natural, mantendo-se assim a mesma potência (MUELLER, 1995; MACARI et al, 1987).

As modificações necessárias para conversão de um motor a gasolina para um motor a biogás são mudanças na taxa de compressão e avanço da ignição e principalmente a substituição do carburador por um misturador de gás com comburente (ar), sendo que o controle da mistura ar/combustível por meio de válvula borboleta.

Os grandes grupos motores geradores a biogás, os quais possuem um sistema de resfriamento a água, onde os gases de exaustão e a água quente podem ser utilizados com o auxílio de trocadores de calor (cogeração) para produção de água quente para o processo produtivo, aquecimento de construções, resfriamento através dos sistemas de refrigeração por absorção, podem alcançar potência da ordem de 1,6 MW. A eficiência do sistema é aumentada pelo uso da energia térmica.

Os motores geradores a biogás podem ser utilizados tanto na área urbana com o biogás produzido nos aterros sanitários ou no sistema de tratamento de esgoto doméstico e industrial, como também na área rural com o biogás proveniente da biomassa de resíduos animais ou vegetal.

Inúmeras propriedades rurais possuem unidades de geração de energia instaladas, com potência de geração entre 15 a 50 kW, sendo que algumas também utilizam a água quente proveniente do arrefecimento do motor, além de produzir energia elétrica para suprir a demanda da propriedade (STAHL et al*,* 1981; COPPINGER et al., 1978; KOELSCH et al, 1982).

A utilização do biogás para geração de energia elétrica tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos, pois a implantação de unidades de geração de energia elétrica a partir do biogás tem aumentado não apenas nas áreas urbanas, mas principalmente em áreas rurais, que utilizam dejetos da avicultura e suinocultura para produção do biogás.

Em um sistema motor gerador, cuja função é transformar energia mecânica em elétrica, o gerador de eletricidade é considerado como o equipamento secundário, sendo formado por duas partes, uma móvel chamada de rotor, onde aparece a força eletromotriz e outra parte fixa, responsável pelo campo magnético onde são localizados os pólos do gerador, e é denominada de estator.

De acordo com BERNDSEN (2007), o motor é acoplado no gerador por meio de um acoplamento elástico capaz de absorver pequenos desalinhamentos axiais e radiais e vibrações geradas por variações de carga de desbalanceamento. Dependendo do tipo de ligação trifásica, esses geradores podem produzir eletricidade nas tensões 220/127 V, 380/220 V ou 440/254 V.

O tamanho dos geradores influencia no rendimento dos geradores, quanto menor o gerador, menor também será seu rendimento. O rendimento de um gerador é variável e pode atingir valor máximo com carga entre 80 a 100% da potência máxima. Para fins de projeto, o rendimento do gerador esta em torno de 0,90, ou seja, 90%.

Para se selecionar um gerador para uma determinada aplicação, devem ser conhecidos alguns dados como a rotação (RPM), a freqüência (Hz), a tensão nominal, a potência nominal, número de fases e de pólos, fator de potência, tipo de acoplamento no equipamento primário, dados ambientais, entre outros.

Do acoplamento entre o gerador de eletricidade (alternador) e do motor de combustão interna são formados os motores geradores. Esse acoplamento pode ser feito de quatro maneiras, através de acoplamento direto, por meio de polias (relação de polias), por correias e por meio de redutor (relação de engrenagens).

Na velocidade síncrona, verifica-se a eficiência de acoplamento, ou seja, conversão de energia mecânica em energia elétrica em cerca de 90% (ANDRADE et al 2009).

Os sistemas de geração de energia elétrica com motor gerador são formados, por outros componentes auxiliares além do motor de combustão interna (ignição por centelha ou ciclo Otto) e gerador de eletricidade. Esses componentes auxiliares são o sistema de controle de mistura ar/combustível, sistema de partida, controlador de velocidade, painel de controle, arrefecimento, exaustão e ventilação.

O desempenho de um motor gerador é proporcional à carga do motor, quanto maior a carga maior também será sua eficiência total. De acordo com CCE (2000) num motor gerador, a eficiência de geração de eletricidade está em torno de 25% e esse é um parâmetro importante para o dimensionamento do potencial de geração de eletricidade a partir do biogás. A eficiência pode cair pela metade quando o motor trabalha a baixas cargas.

Os motores geradores movidos a biogás disponíveis no mercado atualmente, tem potências que variam de 10 kW a 1600 kW. (GE-ENERGY (2011), CATERPILLAR (2011), LEÃO ENERGIA INDÚSTRIA DE GERADORES LTDA (2010), BIOGÁS MOTORES ESTACIONÁRIOS LTDA (2011), ER-BR ENERGIAS RENOVÁVEIS LTDA (2011)). Destacam-se empresas nacionais e internacionais na comercialização de motores geradores de eletricidade movidos a biogás.

Para que uma unidade de geração de energia elétrica utilizando o biogás seja implantada com sucesso deve-se realizar o correto dimensionamento da potência dos motores geradores a biogás e também das instalações elétricas do sistema de geração de eletricidade.

A unidade de geração de energia elétrica é o elemento mais importante para implantação da geração distribuída nas propriedades agroindustriais que realizam o aproveitamento de biomassa residual. Para o correto dimensionamento do motor gerador devem ser utilizados os seguintes parâmetros: a eficiência do motor gerador o poder calorífico do biogás, o tempo de utilização da planta de geração, e a disponibilidade diária de biogás na unidade ($m^3.dia^{-1}$).

Em sistemas de redes de distribuição com baixa tensão (BT), devem existir equipamentos de proteção adequados para que a unidade de motor gerador seja ligada a rede com segurança, sendo que as tensões primárias de entrada podem ser 34,5 kV ou 13,8 kV e as de saída de 380/220/127 V. (COPEL 2010)

É importante também levar em consideração alguns detalhes com relação à instalação da casa de máquinas, pois o sistema motor gerador deve ser instalado em local com boa ventilação e com temperatura ambiente inferior a 40ºC. O local deve ser protegido do tempo, limpo, aberto e livre de ácidos e gases alcalinos.

A composição principal de uma unidade de geração de energia elétrica com biogás como combustível é de um motor gerador de eletricidade, sistemas de proteção e instalações elétricas adequadas. Porém, após a instalação e montagem do motor gerador através de empresas especializadas, deve-se comissionar o sistema para se verificar se realmente está adequado para iniciar operação contínua de geração de energia elétrica.

2.4.3 Qualidade de Energia Elétrica

A ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica tem em seu normativo os procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, através de resolução normativa nº 345/2008 e 395/2009.

O normativo visou estabelecer os procedimentos relativos à qualidade de energia elétrica (QEE), o qual abordou a qualidade do produto e, também, a qualidade do serviço prestado, sendo assim, a qualidade do produto é quem define terminologia e caracteriza os fenômenos, parâmetros e valores de referência relativos à conformidade de tensão em regime permanente e às perturbações na forma de onda de tensão, estabelecendo mecanismos que possibilitariam à ANEEL fixar padrões para os indicadores de QEE.

O desempenho das concessionárias quanto à prestação do serviço de energia é medido pela agência, tendo como base indicadores específicos denominados de DEC (Duração Equivalente de Interrupção por unidade consumidora), que indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, geralmente mensal, onde o FEC

(Freqüência equivalente de interrupção por unidade consumidora) indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora, ou seja, nas casas, nos estabelecimentos comerciais, indústrias, etc.

Para CANESIN (2001) o conceito de qualidade de energia elétrica nos últimos anos tem-se ampliado juntamente com a evolução das técnicas de processamento eletrônico das fontes de energia, como por exemplo, nas aplicações industriais, embarcadas, informática, controle e segurança, residência entre outras.

Segundo a ANEEL, os procedimentos de qualidade de energia definidos pelo normativo, devem ser observados por a) consumidores com instalações conectadas em qualquer classe de tensão de distribuição; b) produtores de energia; c) distribuidoras; d) agentes importadores ou exportadores de energia elétrica; e) transmissores detentoras de demais instalações de transmissão (DIT); f) operador nacional do sistema (ONS).

De acordo com o Manual de Acesso de Geração Distribuída (COPEL 2010), os projetos das instalações com fornecimento em baixa tensão, com conexão de geração em paralelismo permanente, deverão obedecer às definições técnicas e padrões de atendimento estabelecidas pela NTC 905100, NTC 901100 e normas técnicas da ABNT.

Os requisitos de qualidade de energia de acordo com a NTC 905100 (COPEL 2010) são:

a) Nível de Tensão eficaz em regime permanente – a entrada em operação de acessantes de geração não deve acarretar a mudança de tensão no ponto de adequada para precária ou crítica, cujos valores são ilustrados pela tabela 8:

Tabela 8- Níveis de Tensão Eficaz em regime permanente

Tensão de Alimentação (TA)	**Faixa de Variação da Tensão de Leitura em Relação à Tensão Nominal (Volts)**
Adequada	(201 ≤ TL ≤ 231) / (116 ≤ TL ≤ 133)
Precária	(189 ≤ TL < 201) ou (231 <TL ≤ 233) / (109 ≤ TL < 116) ou (133 < TL ≤ 140)
Crítica	(TL < 189 ou TL > 233) / (TL < 109 ou TL > 140)

Fonte: COPEL (2010)

b) Desequilíbrio de tensão – os acessantes de geração devem se manter balanceados de forma que o desequilíbrio da tensão decorrente da operação de seus equipamentos, bem como de outros efeitos dentro de suas instalações não provoque no respectivo ponto de conexão a superação do limite individual de 1,5% de desequilíbrio de tensão.

c) Distorção Harmônica Total – os acessantes de geração não devem gerar componentes de tensão harmônica cujas componentes harmônicas de correntes drenadas pelos geradores ultrapassem os limites individuais de contribuição para elevação do DTHT (distorção de tensão harmônica total) expressos na tabela 9:

Tabela 9 - Distorção Harmônica Total

Impares		**Pares**	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3 a 25	1,5 %	Todos	0,6%
≥ 27	0,7%		
DTHT = 3%			

Fonte: COPEL (2010)

d) Flutuação de tensão – os acessantes de geração devem adotar medidas necessárias para que a flutuação de tensão decorrente da operação de seus equipamentos, bem como outros efeitos dentro de suas instalações não provoque no respectivo ponto de conexão a superação dos limites individuais de PST (Probability Short Time) e PLT (Probability Long Time) apresentados pela tabela 10:

Tabela 10 - Flutuação de Tensão

PstD95%	**PltS95%**
0,8 pu	0,6 pu

Fonte: COPEL (2010)

Com relação ao projeto elétrico, os aspectos técnicos e de segurança de acordo com os requisitos de rede, medição, proteção em BT, e também as seguintes condições:

a) A categoria de atendimento do acessante, enquanto unidade consumidora será a definida pela NTC 901100, sendo que a máxima corrente nominal do disjuntor de proteção geral é de 200 A.

b) Os elementos da instalação de conexão terão o arranjo apresentado nas Figuras 6 e 7 da NTC 905100.
c) A especificação das caixas de medição e proteção deverá obedecer às características mecânicas mínimas de acordo com a NTC 910100, que deverão ser adquiridas de fabricantes e marcas homologadas na COPEL.
d) A especificação do disjuntor geral, dos TC de proteção e demais materiais são as definidas na NTC 905100.
e) Todas as caixas deverão ser protegidas por abrigo, de acordo com as Figuras 8 e 9 da NTC 905100.

A subestação, a rede e a tensão de conexão de cada unidade de geração serão definidas pela COPEL (2010), que fará estudos específicos para cada unidade para a integração da usina do Acessante de Geração ao sistema, e definirá qual subestação ou alimentador será a melhor condição de conexão, para que não traga prejuízos ao sistema ou aos seus consumidores. Quando a carga instalada exceder a potência de geração, a carga instalada em kW será o critério utilizado para definir o tipo de conexão ou atendimento.

2.4.3.1 Fator de Potência

Os motores e transformadores utilizam a energia elétrica, que é utilizada de duas formas, a energia reativa, que é medida em kVArh, e não realiza trabalho efetivo, mas é necessária e consumida na geração do campo eletromagnético responsável pelo funcionamento de motores, transformadores e geradores. E a energia ativa, medida em kWh, é a que realmente produz as tarefas, sendo que a composição das duas formas de energia resulta na energia total ou aparente. (COPEL, 2011)

O fator de potência mostra se uma propriedade consome energia elétrica adequadamente ou não.

Fator de potência = Energia ativa ÷ Energia aparente ou total

De acordo com norma BS EN 50160, o fator de potência deve ser mantido o mais próximo possível da unidade 1.00, mas permite um valor mínimo de 0.92. Quanto maior for o consumo de energia reativa, para o mesmo consumo de energia ativa, mais baixo será o fator de potência.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

A propriedade estudada localiza-se na Linha Marfim, no município de São Miguel do Iguaçu no Oeste do Paraná. As instalações são compostas de:

- Barracões;
- Biodigestores;
- Sistema de Transporte do biogás ao motor gerador e *flare*;
- Motores geradores;
- Sistema de conexão com a rede.

A figura 6 mostra um fluxograma do sistema de geração de eletricidade da propriedade.

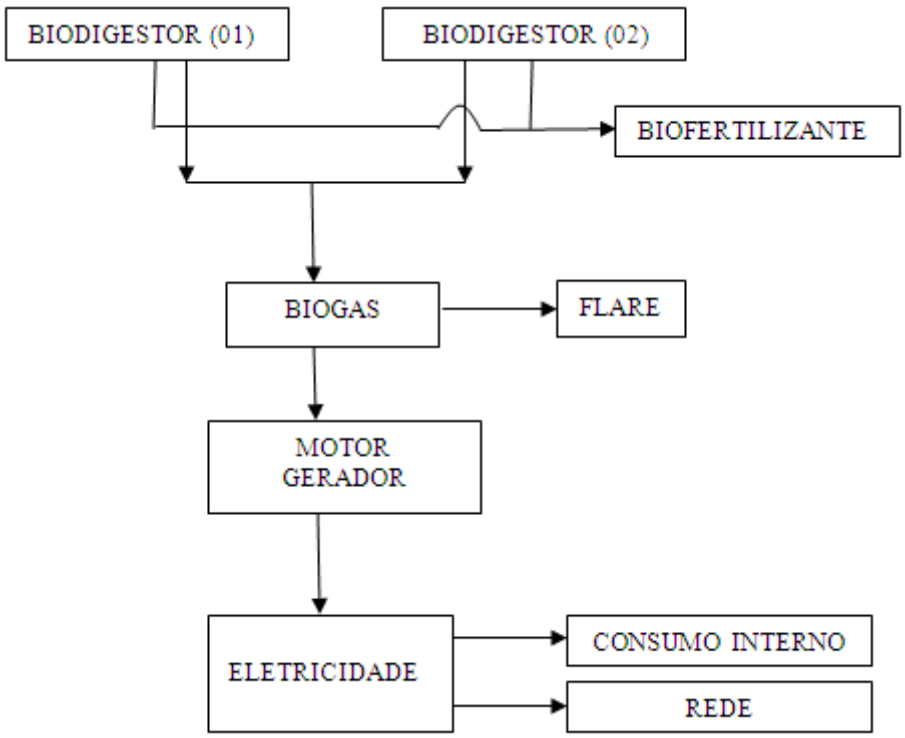


Figura 6 - Fluxograma resumido do sistema de geração na propriedade

A figura 7 mostra todo o sistema de micro geração de energia elétrica da propriedade estudada.

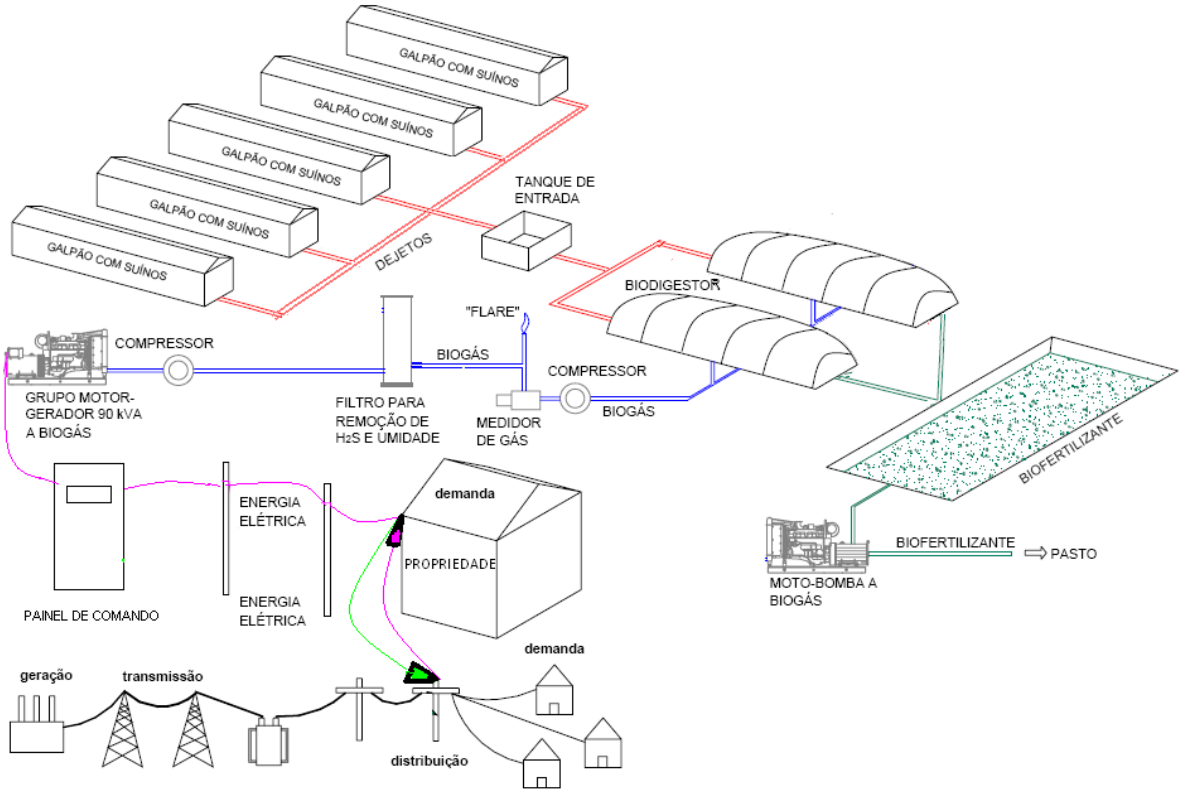


Figura 7 - Micro-geração de energia elétrica na propriedade

3.1.1 Barracões (Baias)

A propriedade possui 05 (cinco) barracões, divididos em 20 (vinte) baias, ou seja, alojamento separado para 40 a 50 suínos de terminação (Figura 8). As baias dos barracões são lavadas duas vezes por dia, e os dejetos juntamente com água são transportados para o biodigestor por uma tubulação subterrânea de PVC com 150 mm e declividade de 1%.

Figura 8 - Pocilga de confinamento dos animais

As pocilgas são protegidas por um terraço a montante. Grama amendoim foi plantada para proteção do solo contra a erosão.

3.1.2 Biodigestores

Na propriedade estão instalados dois biodigestores (figura 9). Na tubulação de entrada o afluente originado das pocilgas é disposto em uma caixa de passagem, introduzida no ponto médio da largura do biodigestor, onde sofre bifurcação e através de uma extensão de tubulação 150 mm, unida a uma curva de 90º é direcionado a 50 cm do fundo do biodigestor.

Figura 9 - Biodigestores

O primeiro biodigestor possui dimensões de 25m x 10m x 3,7m com capacidade de 29,2 $m^3.dia^{-1}$, com tempo de retenção hidráulico de 30 dias. Depois os dejetos vão para o segundo biodigestor com capacidade para um volume de 7,3 $m^3.dia^{-1}$, projetado para um tempo de retenção hidráulico de 30 dias, devido a temperaturas médias entre 16 a 17ºC no período mais frio do ano, de dimensões 16m x 8,5m x 1,7m.

Os biodigestores possuem caixas de vistoria, duas de cada lado, com tubos de 150 mm, acompanhando a inclinação dos taludes até o fundo, tendo finalidade de inspeção para recirculação e limpeza.

As caixas de vistoria são construídas em alvenaria, com tijolos nas dimensões 0,50 x 0,50 m e altura variável, revestido internamente por argamassa de cimento traço 1:5 e a tampa com espessura de 5 cm em concreto armado.

Os biodigestores possuem uma válvula de alívio da pressão interna: uma caixa de água, com uma tubulação saindo do biodigestor, inserida 15 mm de profundidade na água, para que em pressões superiores a 15 mm de coluna d água o biogás seja liberado do biodigestor.

Na tubulação de saída o efluente originado do biodigestor é disposto em uma caixa de passagem, introduzida no ponto médio da largura, onde recebe uma bifurcação com extensão de tubo 150 mm unido por uma curva de 90º, a 50 cm do fundo. Sendo conduzido ao próximo componente, que é uma esterqueira para armazenamento do biofertilizante, o qual é disposto posteriormente na lavoura.

3.1.3 Transporte do biogás

O deslocamento do biogás é feito por uma saída do biodigestor de 100 mm, e um tampão rosqueável, a 0.60 m do nível de água, o biogás é transportado para o motor gerador por um compressor (figura 10). Também possui uma saída para o *flare* com 50 mm e tampão rosqueável, a 0.60 m do nível da água para queima do biogás excedente quando não é utilizado no motor gerador.

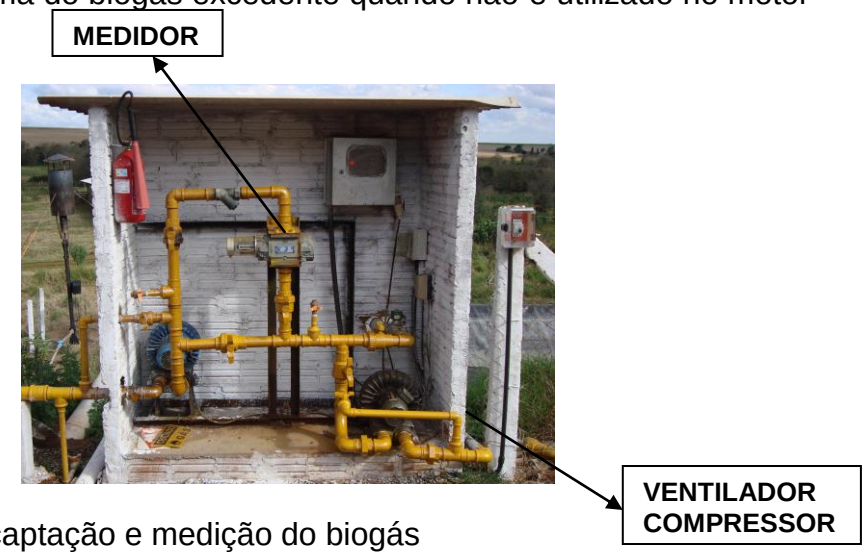


Figura 10 - Sistema de captação e medição do biogás

Através de um circuito fechado de queima e combustão, totalmente automatizado, que através de um medidor de fluxo garante a medição da quantidade de biogás produzido, o biogás é direcionado primeiramente ao motor gerador para geração de energia elétrica, sendo o excedente do biogás direcionado ao *flare* para que seja queimado. O controle de envio de biogás para o sistema de combustão (*flare*) é feito através de um dispositivo de controle de

pressão instalado no biodigestor. Através de um dispositivo de ignição continua, é feito a combustão do metano, utilizando dois eletrodos de ignição que fornecem redundância operacional.

3.1.4 Motor-gerador

O sistema de geração de energia elétrica é composto de um grupo motor gerador, sistema de proteção e controle e quadro de comando, sendo interligado na rede de distribuição, para venda da energia que não é consumida na propriedade.

O motor gerador está abrigado numa casa de máquinas, construída em alvenaria com pé direito médio de 4.2 metros, comprimento de 4.35 metros e largura de 3.28 metros, com piso de concreto armado desempenado sem dilatação, com duas aberturas laterais com tijolo vazado (18 x 18 x 9 mm) para entrada de ar de ventilação externa e um portão em veneziana de abrir com 3.06 x 2.6 metros abrindo para fora.

Os dados técnicos do motor e gerador de eletricidade instalados na propriedade são mostrados nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11- Motor a biogás MWM 6.12T - Ciclo Diesel convertido para Ciclo Otto

Cilindrada	7,2L
Ignição	Eletrônica (Pandoo)
Rotação	1800RPM
Consumo de biogás	50 $m^3.h^{-1}$

Tabela 12 - Gerador: Gramaco / G2R 200MB 4

Número	173882
Numero de pólos	4
Rotação nominal	1800RPM
Potência	104kVA contínuo
Freqüência	60Hz
Tensão	127V
Corrente	270.0A
cos φ	0.8 a 1.0
Classe de Isolação	H
Fabricação	2010

A figura 11 mostra o motor acoplado ao gerador de 100 kVA instalado na propriedade.

Figura 11 - Motor Gerador 100kVA instalado na propriedade

A propriedade possui um transformador de 75 kVA (220/127 V), com tensão primária de 13,8 kV e saída 220/127 V de 5 colunas envolventes, com disjuntor na entrada de serviço de 200 Ampêres, sendo aterradas as partes metálicas não destinadas à condução de energia elétrica através de um cabo de cobre com seção de 10 mm^2 e cabo de cobre nu com seção de 16 mm^2 e 35 mm^2. O neutro do transformador é ligado à malha de terra por meio de cabo de cobre nu com seção de 50 mm^2. O sistema de aterramento é do tipo TN-S.

O quadro de comando de acionamento e proteção do gerador possui acionamento das cargas por contatores tripolares, JNG CJX2 – 225 para 315. A proteção é feita através de um relé de proteção GCP22 e dois relés externos XG2 e XN2-2. Com um disjuntor de 200 Ampêres, que faz a proteção do circuito entre o gerador e o sistema de monitoramento, controle e proteção (SMCP).

O sistema está interligado a rede de distribuição de baixa tensão (BT), com sistemas de proteção para o motor gerador de acordo com as especificações da COPEL. A figura 12 mostra o diagrama unifilar de um típico sistema de distribuição com as proteções.

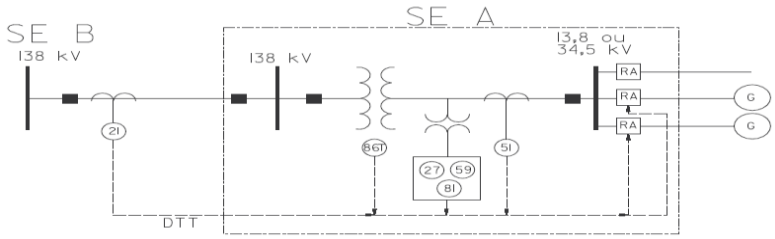


Figura 12 - Sistema de distribuição

Fonte COPEL (2010)

De acordo com a COPEL (2010) a subestação, a rede e a tensão de conexão ideal serão definidas após estudos para a integração da usina dos autoprodutores ao seu sistema da Concessionária, visando determinar com qual subestação ou alimentador se obterá a melhor condição de conexão, sem que esta traga prejuízos ao sistema ou aos seus consumidores. Quando a carga instalada exceder a potencia de geração, o critério para definir o tipo de conexão ou atendimento será a carga instalada em kW.

Para levantamento dos dados de potência ativa (kW) do motor gerador foi utilizado um painel de comando Woodward GCP – 20. Segundo a GCS (2011) é um controle digital para grupos geradores de emergência, mas com funções de atuação sobre o controlador de rotações e o regulador de tensão para propiciar transferência de carga sem interrupção entre grupo gerador e rede e vice-versa. Monitora rede e grupo gerador e protege contra falhas de tensão, corrente, frequência, potência ativa e reversa, desbalanceamento de carga e sobrecarga. Inclui 14 entradas digitais, 4 entradas de sinal do motor, 1 entrada de pick-up magnético e 4 saídas de relé configuráveis pelo cliente.

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta dos dados foi realizada em três partes, coleta da produção de biogás e teor de metano, geração de energia elétrica e qualidade de energia gerada.

3.2.1 Produção de Biogás

Para o monitoramento da produção de biogás, utilizou-se um medidor modelo *Roots Meter Series* B3 (figura 13) instalado entre o biodigestor e o ramal do *flare*, com uma faixa de medição de 22.6 m^3 a para 1.600 m^3.

Figura 13 - Medidor Roots Meter Dresser (DRESSER, 2011)

A produção diária de biogás ($m^3.dia^{-1}$) foi coletada através do medidor *Roots Meter Series B3,* no período de novembro de 2010 até junho de 2011. As medições foram coletadas manualmente, sendo anotadas em uma planilha as 09h00min todos os dias. Também nessa planilha eram anotados os números de animais alojados.

Foram fornecidos pela SIMEPAR (2011), dados referentes à temperatura ambiente, para realização de um comparativo entre a quantidade de suínos alojados, a produção de biogás e a temperatura ambiente na região da propriedade.

O monitoramento do consumo de biogás (m^3/h^{-1}) no motor na geração de energia elétrica (kWh), foi feito por um medidor de fluxo de massa de dispersão térmica, modelo *Thermatel TA2 Enhanced* (figura 14), com faixa de medição entre 0,51 e 85 ($m^3.h^{-1}$) e precisão melhor que 1% para gases.

Figura 14 - Medidor de vazão mássica Thermatel TA2 Enhanced (MAGNETROL, 2011)

O medidor possui um registrador *FieldLogger* da NOVUS (NOVUS, 2010) para aquisição e registro de variáveis analógicas, opera como um registrador eletrônico de dados, armazenando as informações adquiridas em sua memória interna, possui uma interface de comunicação serial para comunicação com um computador através de um software de fácil operação que acompanha o equipamento e opera numa plataforma *Windows* 98 e superiores.

A qualidade do biogás (percentual de metano), foi analisada utilizando um analisador para gases tipo Drager X-am 7000, com detecção simultânea e contínua para até 5 gases, com sensores infravermelhos para detecção de dióxido de carbono e hidrocarbonetos, possui um display gráfico de alto contraste, com alarmes sonoros e visuais, todas as configurações e ajustes são feitos através de software em português. Com essas medidas é possível analisar a qualidade do efluente, variação sazonal da produção e o poder calorífico do biogás, assim como determinar a vida útil do biodigestor.

As medições da qualidade do biogás foram registradas no período de 15 de abril a 24 de maio. Foram feitas 4 (quatro) coletas diárias de amostras e feito a média delas.

3.2.2 Produção de Eletricidade

Para o monitoramento da produção de energia elétrica (kWh) na propriedade, foi instalado no quadro de comando do moto gerador um SMART METER T, o qual é um medidor e registrador portátil que em conjunto com o seu SOFTWARE SMART ANALISADOR T permite gerar gráficos e relatórios de acordo com a resolução 505 da ANEEL.

A figura 15 mostra o diagrama unilitar da instalação e a posição de instalação do analisador no quadro de comando.

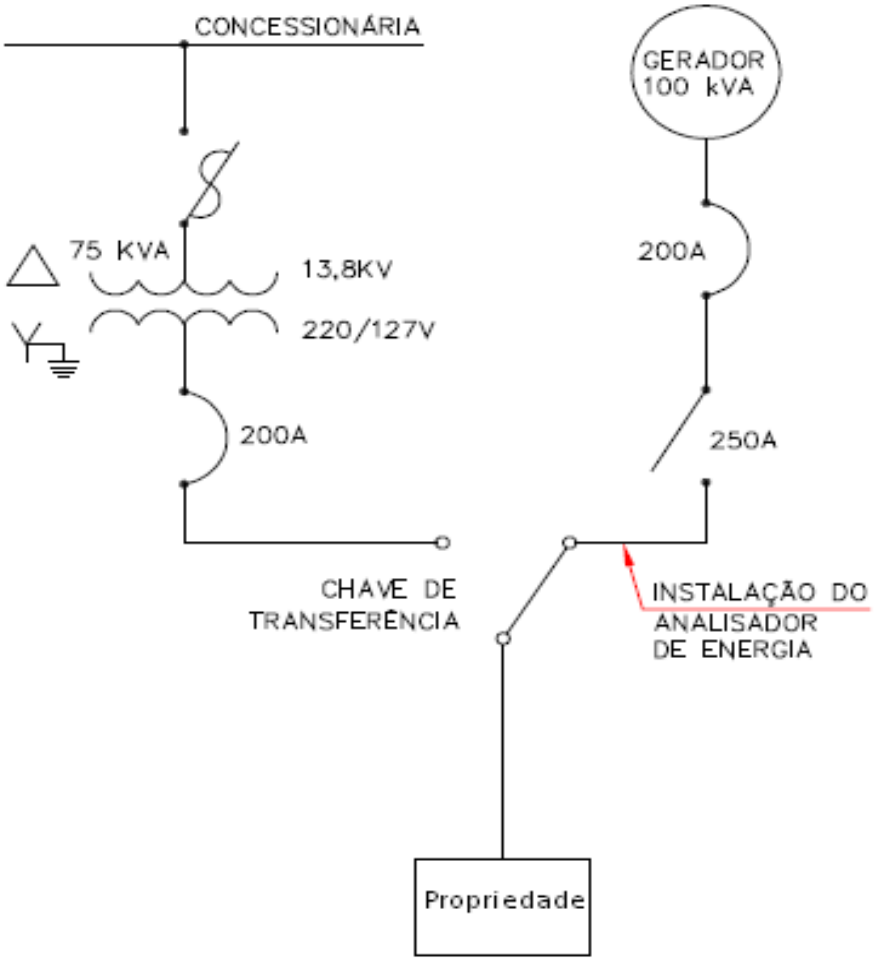


Figura 15 - Esquema de ligação do analisador no quadro de comando

Após a realização das medições, os dados armazenados na memória do analisador de energia foram salvos em um microcomputador através do SMART ANALISADOR T, aplicativo que acompanha o equipamento para o processamento dos registros.

O descarregamento dos dados do analisador para o microcomputador foi realizado via cabo serial. O SMART ANALISADOR T permite ao usuário escolher quais grandezas devem ser visualizadas na tela (tensão, corrente, taxas de distorção harmônica, corrente, tensão, frequência e fator de potência) foram salvos, por meio de uma opção do SMART ANALISADOR T, num arquivo com extensão CSV (*comma separated values*), o qual pode ser aberto com o *software Microsoft Excel*.

Os dados foram coletados entre os dias 01 de março de 2011 e 14 de março de 2011, registrando os dados a cada 15 minutos.

3.2.2.1 Consumo de Biogás para Geração de Energia Elétrica

Independentemente do método empregado, a medição do consumo de combustível é fundamental para que se conheça a eficiência com que o motor transforma a energia química do combustível em trabalho útil. De posse dos valores de combustível consumido ($m^3.h^{-1}$), potência medida (kW) e tempo (horas), calculou-se o consumo específico de combustível em $m^3.kWh^{-1}$ (MIALHE, 1996).

A equação (1) permitiu calcular o consumo específico de combustível (Ce), em $m^3.kWh^{-1}$.

$$Ce = \frac{Ch}{Pe} \qquad \text{eq. (1)}$$

onde, Ch é o consumo horário de biogás ($m^3.\ h^{-1}$), no motor gerador e Pe é a potência ativa (kW).

O consumo específico do combustível é um parâmetro de comparação muito utilizado para mostrar quão eficiente um motor está transformando combustível em energia. Para grupos geradores, freqüentemente o usuário quer saber o consumo específico de combustível em relação aos kWh gerados. (NISHIMURA, 2009)

Os valores de consumo de biogás ($m^3.\ h^{-1}$), foram coletados por meio do medidor *Thermatel TA2 Enhanced* descrito anteriormente no item 3.2.1, e a potência (kW) foi registrada no analisador de energia SMART ANALISADOR T, no dia 01 de março de 2011 ate dia 14 de março de 2011.

3.2.3 Eficiência da Conversão de Biogás em Energia Elétrica

Para determinar o desempenho do conjunto motor gerador, na propriedade, ou seja, quão eficiente é a transformação, utilizando como fonte primária o biogás utilizou-se a equação (2).

$$\eta = \frac{Pe}{Ch.PCI} \qquad \text{eq. (2)}$$

onde η é a eficiência do sistema motor gerador, PCI é o poder calorífico inferior do biogás (kWh.m^{-3}).

Os dados de potência ativa (kW) do motor gerador foram levantados utilizando o painel de comando WOODWARD modelo GCP – 20 do grupo gerador (Figura 16). Neste experimento foi possível programar a carga em que o motor-gerador era operado e também foi possível registrar as grandezas de tensão, corrente e frequência em que o motor gerador foi operado.

Figura 16 - Medidor WOODWARD GCP -20

O ensaio de eficiência energética foi realizado no dia 21 de abril de 2011 as 15horas 30min, onde todos os dados foram registrados manualmente numa planilha, simulando o grupo gerador operando a uma carga de 10 a 100%, onde foi coletada a potência ativa (kW) no painel e a coleta do consumo de biogás (m^3. h^{-1}), foi feita no momento em que era configurada a carga do gerador esperando estabilizar, sendo registrado os valores com base nos dados do medidor *Thermatel TA2 Enhanced* , descrito no item 3.2.1 localizado na tubulação de entrada que abastece o motor gerador.

A coleta da qualidade de biogás, ou seja, a porcentagem de metano presente, também foi coletada manualmente e registrado os valores em uma planilha, sendo feito uma média de 4 amostras coletas por um analisador de gases tipo Drager X-am 7000, como descrita no item 3.2.1.

3.2.4 Qualidade de Energia Elétrica

Na análise de qualidade da energia elétrica produzida na propriedade foi utilizado o medidor e registrador portátil SMART METER T, descrito no item

3.1.1, utilizado para medir a energia ativa (kWh) gerada, sendo o mesmo período de registro utilizado para verificar a qualidade da energia gerada. Foram levantadas as seguintes curvas.

- Corrente nas fases (Ampère);
- Taxas de distorções harmônicas da corrente (%);
- Tensão entre fases (Volts);
- Taxas de distorção harmônica de tensão (%);
- O fator de desequilíbrio de tensão (%);
- Frequência de operação do grupo gerador;
- Fator de potência.

3.2.5 Custo da Produção de Biogás e Energia

O custo da produção de eletricidade utilizando o biogás foi calculado utilizando o capital investido na construção e manutenção do biodigestor e no sistema de geração de energia elétrica (motor/gerador).

No investimento com o biodigestor foi incluído todo o projeto, a lona de PVC, o sistema de queima para o gás (*flare*), a instalação e todo o acompanhamento civil e técnico. O biodigestor opera durante o ano inteiro, sob condições adequadas de operação e manutenção. O biogás produzido é diretamente utilizado pelo conjunto motor gerador, o qual opera por aproximadamente 10 (dez) horas diárias. O valor de investimento do conjunto motor gerador inclui o painel para ligação em paralelo com a rede e a casa de máquinas.

Foram calculados dois cenários para o custo da energia elétrica. O primeiro é o cenário atual da propriedade e o segundo cenário é com o dobro de animais alojados. Para cada cenário, foram calculados (3) três casos: (A) o produtor somente produz energia elétrica, (B) o produtor produz energia elétrica e recebe 10% do valor pago de crédito de carbono, sendo descontado no custo anualizado do investimento com o biodigestor e (C) o produtor produz energia elétrica e recebe 100% do valor pago de crédito de carbono sendo descontado no custo anualizado do investimento com o biodigestor.

De acordo com a metodologia UNFCC (2011), a Redução Certificada de Emissões (RCE) dos gases de efeito estufa (GEE), foi calculada o equivalente da tonelada, onde 1 grama de metano (CH_4) equivale a 21 gramas de gás carbônico (CO_2). De acordo com ECOSYSTEM MARKETPLACE (2011) em 2008 o mercado voluntário de carbono movimentou 705 milhões de dólares, por um preço médio de R$ 8,00 reais por crédito de carbono, sendo este valor utilizado para cálculo no presente estudo.

O custo da produção de energia elétrica foi calculado utilizando-se como Fator de Recuperação de Capital (FRC) a taxa de desconto anual do Programa do ABC para agricultura de baixo carbono que é de 5,5% (BNDES, 2011). O custo com manutenção e operação foi de 2% tanto para o biodigestor, quanto para o motor gerador. Para cálculo do tempo de amortização do investimento foi considerado prazos entre 5 a 20 anos. No custo anualizado de geração de energia elétrica foi descontado o valor de R$ 15.600,00, referente ao consumo de eletricidade pela propriedade. De acordo com a ANEEL (2010) o valor pago pela COPEL ao microprodutores de energia elétrica, baseado no Valor Anual de Referência (VR) é de R$ 0,14 por kWh.

Para obtenção do custo de produção de eletricidade utilizou-se a equação (3).

$$Ce = \frac{\mathrm{CAG} + \mathrm{CAB}}{\mathrm{PE}} \qquad \text{eq. (3)}$$

Onde Ce - Custo de energia elétrica produzida via biogás (R$/kWh), CAB – Custo anual com biogás (R$/ano) e PE - Produção de eletricidade pela planta de biogás (kWh/ano), CAG - Custo anualizado do investimento no conjunto motor gerador (R$/ano)

$$CAG = CIG.FRC + \frac{\mathrm{CIG\,.\,OM}}{100} - CAE \qquad \text{eq. (4)}$$

$$CAB = CB.CNB \qquad \text{eq. (5)}$$

onde CIG - Custo do investimento no motor gerador (R$), OM - Custo com operação e manutenção (%/ano), CB - Custo de produção do biogás (R$/m^3) e CNB - Consumo de biogás pelo conjunto motor gerador (m^3/ano) e CAE – Custo Anual com Energia da rede (R$/ano) ou custo evitado com compra de energia.

A produção de eletricidade (PE) é dada por

$$PE = Pot.T \qquad \text{eq. (6)}$$

onde Pot - Potência nominal da planta (kW), T - Disponibilidade anual da planta (horas/ano). O fator de recuperação de capital é dado por

$$FRC = \frac{j.(1+j)^n}{(1+j)^{n-1} - 1} \qquad \text{eq. (7)}$$

onde FRC - Fator de recuperação de Capital, j - taxa de desconto (% ano) e n - anos para amortização do investimento.

O custo de produção do biogás é dado por

$$CB = \frac{CAB}{PAB} \qquad \text{eq. (8)}$$

CAB - Custo Anualizado do investimento no biodigestor (R$/ano) e PAB - Produção anual de biogás (m^3/ano).

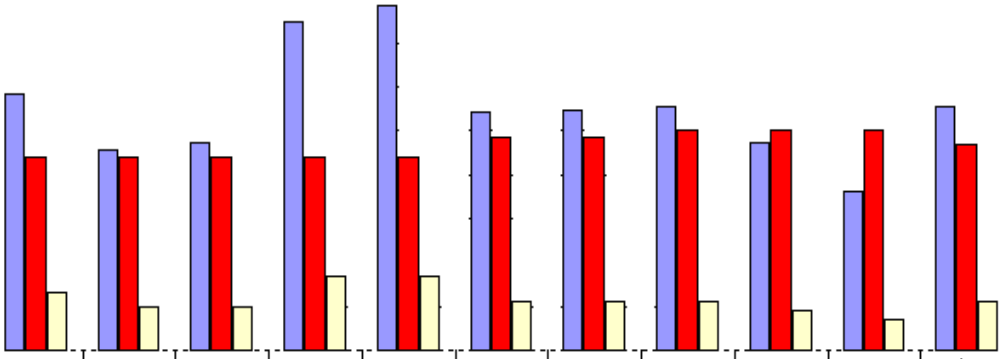
$$CAB = CIB.FRC + \frac{CIB.OM}{100} - GCC \qquad \text{eq. (9)}$$

onde CIB – Custo de investimento no biodigestor (R$) e PAB – Produção anual de biogás (m^3/ano) e GCC é o ganho com crédito de carbono (R$/ano).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AVALIAÇÕES DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA PROPRIEDADE

De acordo com os registros realizados, o gráfico da figura 17 mostra a média mensal da produção diária de biogás (m^3. dia^{-1}) de acordo com a quantidade de suínos alojados. A figura também mostra a quantidade de produção diária de biogás por animal (m^3. dia^{-1}. $animal^{-1}$).



	nov/10	dez/10	jan/11	fev/11	mar/11	abr/11	mai/11	jun/11	jul/11	ago/11	Média
biogás $m^3 dia^{-1}$	585	458	474	749	783	543	547	554	474	360	553
animais	4400	4400	4400	4400	4400	4860	4860	5000	5000	5000	4672
biogás/animal/dia	0,13	0,1	0,1	0,17	0,17	0,11	0,11	0,11	0,09	0,07	0,11

Figura 17- Produção diária de biogás por animais alojados

A média da produção diária de biogás é de 553 m^3. dia^{-1}, para uma média de 4672 animais alojados, a uma temperatura ambiente de 22,11ºC, ou seja, uma produção média de 0,11 m^3. dia^{-1} para cada animal alojado.

Os meses de julho e agosto foram os meses que tiveram o maior número de animais alojados, 5000 suínos, porém foram os meses em que se produziu menos biogás na propriedade, 474 e 360 m^3. dia^{-1}, essa baixa produção se deve ao fato da baixa temperatura, mostrando uma menor eficiência no tempo de retenção hidráulica nos meses em que a temperatura ambiente é menor. A figura 18 mostra uma curva de produção diária de biogás (m^3. dia^{-1}) em função da temperatura º C, registrado pela SIMEPAR(2011).

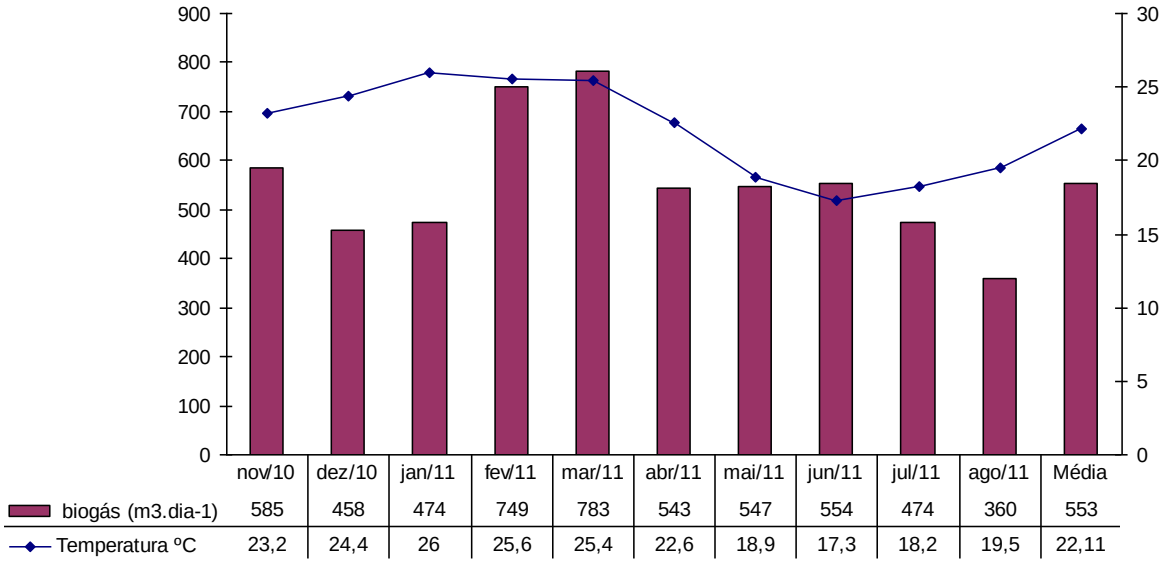


Figura 18- Produção diária de biogás em função da temperatura

No mês de janeiro quando a temperatura ambiente teve uma media de 26º, o mês seguinte apresentou uma produção de 750 m^3. dia^{-1} de biogás para a mesma quantidade de suínos alojados.

A figura 19 mostra a concentração de metano no biogás, sendo que variou entre 57.3 e 61.7%, com uma média de 60% de metano no biogás. De acordo com IANNICELLI (2008), estimou-se o poder calorífico inferior do biogás em 6 $kWh.m^{-3}$ para uma concentração de 60% de metano.

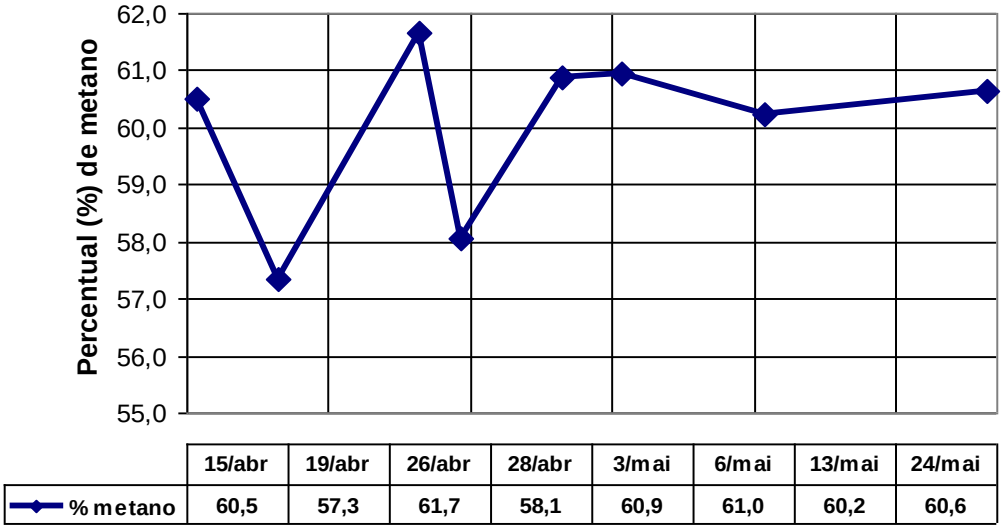


Figura 19 - Qualidade do biogás

4.2 AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA PROPRIEDADE

Na figura 20 estão os dados registrados pelo analisador de energia elétrica, e a média da produção de energia ativa (kWh. dia^{-1}) e a média de produção de eletricidade por animal (kWh. dia^{-1}. animal), os valores referem-se aos 14 dias de medição no mês de março de 2011.

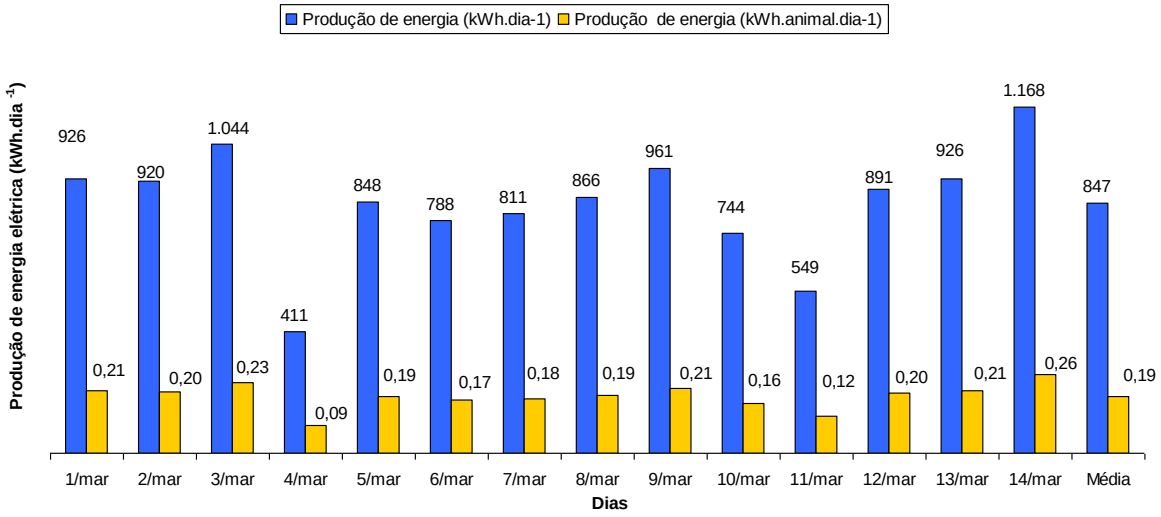


Figura 20- Geração de energia elétrica (kWh)

A média foi de 847 kWh.dia^{-1}, de produção de eletricidade, e uma média de 0,19 (kWh. dia^{-1}.animal) no período analisado.

Nos dias 4 e 11 de março, foi o período em que menos gerou energia elétrica, 410,4 e 548,1 kWh.dia^{-1}, respectivamente, ficando o motor gerador em funcionamento apenas para testes.

No dia 14 de março o motor gerador foi ligado as 05h15min, e desligado às 22h30min, operando por 17 horas e 15 minutos. Tendo nesse dia registrado a maior geração diária de energia elétrica 1.167 kWh.dia^{-1}.

Na figura 21, a potência ativa de geração (kW) refere-se ao dia 09 de março de 2011, um dia típico de funcionamento em que o motor gerador foi ligado ás 07h00min e desligado às 20h45min, ficando por 13 horas e 45 minutos em funcionamento.

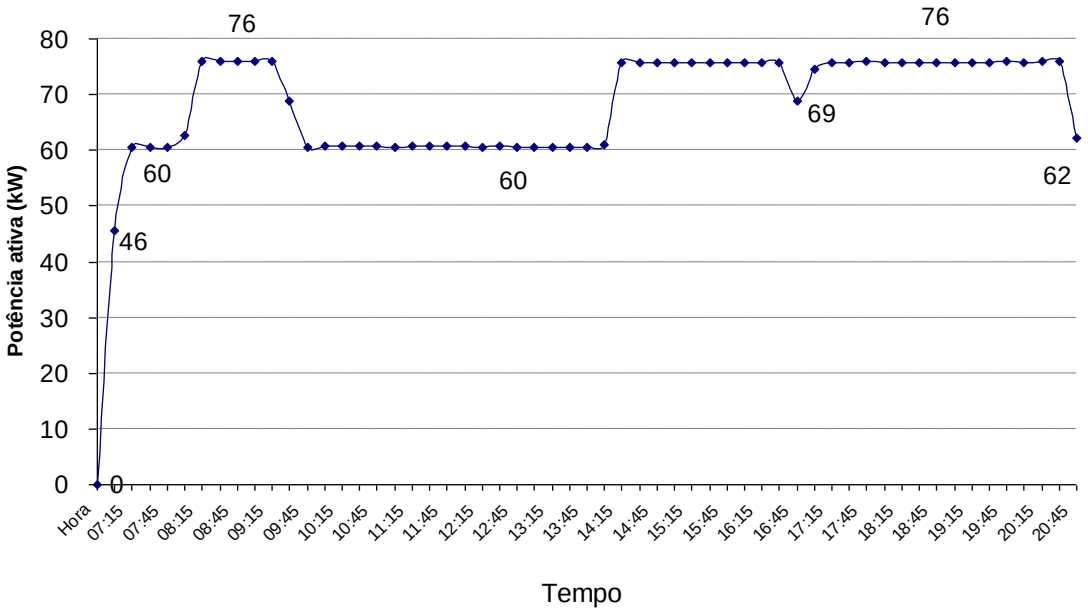


Figura 21 - Potência ativa (kW)

A figura 21 mostra que o motor gerador levou 15 minutos para chegar a uma carga de 80% (60 kW) e as 08h30min horas foi elevada a carga para 100% (76 kW).

Novamente a carga foi baixada para 80% as 09 hrs 45 minutos, e as 20hrs e 45minutos quando o motor gerador foi desligado.

A figura 22 mostra a média do consumo especifico (m^3. kWh^{-1}) em função do consumo de biogás (m^3. h^{-1}) pelo motor, pela potência (kW) do gerador.

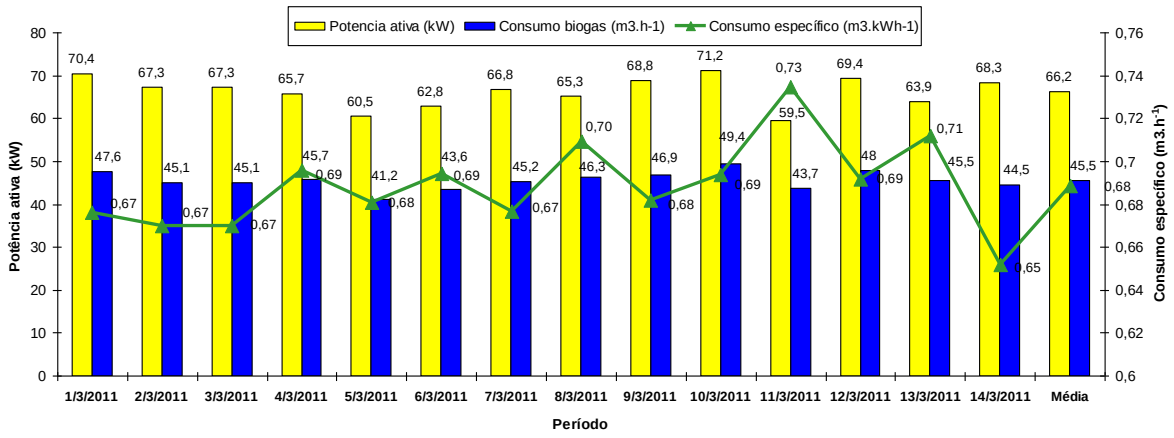


Figura 22 - Potência (kW) / Consumo (m^3. h^{-1}) / Consumo especifico (m^3. kWh^{-1})

O motor consome em média 45,5 $m^3.h^{-1}$ de biogás, para uma potência média de 66.2 (kW), tendo em média um consumo específico de 0,68 $m^3.kWh^{-1}$

O consumo de biogás pelo motor está de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante, para uma potência de 76 kW o motor tem um consumo de 50 $m^3.h^{-1}$.

A tabela 13 mostra os valores de potência (kW), consumo (m^3. h^{-1}) e consumo específico (m^3. kWh^{-1}), nos 14 dias registrados.

Tabela 13 - Potência (kW) / Consumo (m^3. h^{-1}) / Consumo específico (m^3. kWh^{-1})

Data	**Potência (kW)**	**Consumo (m^3. h^{-1})**	**Consumo Específico (m^3. kWh^{-1})**
01/março/2011	70,4	47,6	0,67
02/março/2011	67,3	45,1	0,67
03/março/2011	67,3	45,1	0,67
04/março/2011	65,7	45,7	0,69
05/março/2011	60,5	41,2	0,68
06/março/2011	62,8	43,6	0,69
07/março/2011	66,8	45,2	0,67
08/março/2011	65,3	46,3	0,70
09/março/2011	68,8	46,9	0,68
10/março/2011	71,2	49,4	0,69
11/março/2011	59,5	43,7	0,73
12/março/2011	69,4	48	0,69
13/março/2011	63,9	45,5	0,71
14/março/2011	68,3	44,5	0,65
Média	**66,22**	**45,55**	0,68

4.3 EFICIÊNCIA DA CONVERSÃO DO BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA

A figura 23 mostra eficiência (η), de acordo com o ensaio realizado variando-se a carga (kW).

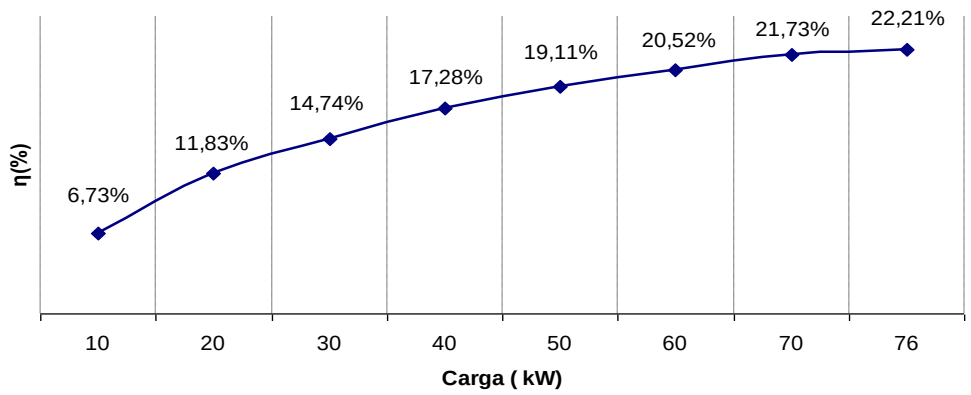


Figura 23 - Eficiência energética (η) de acordo com a carga (KW)

Com o gerador operando a uma carga de 50% (aproximadamente 40 kW) obteve-se uma eficiência da conversão da energia equivalente a 17,28%, sendo que o gerador trabalhando em sua carga máxima, a eficiência (η) dessa conversão ficou em 22,21%.

Em ensaio realizado por PIPATMANOMAI et al (2009) em um motor gerador a biogás de pequena escala (4,3kW) chegou a uma eficiência de 20,8% (carga de 1,6 kW), a cargas menores a eficiência era menor. Segundo WALSH et al (1988) a eficiência ótima para um motor gerador é de 26%. Nesse comparativo conclui-se que o motor gerador da propriedade não está longe do valor ótimo. A figura 24 mostra o consumo específico de biogás (m^3. kWh^{-1}).

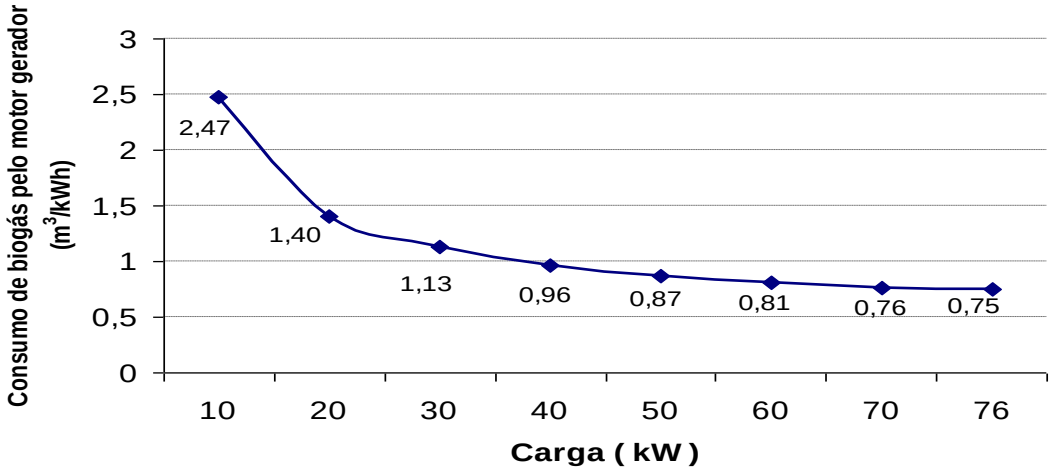


Figura 24 - Consumo específico típico de um grupo motor gerador

A figura 24 mostra o consumo específico típico do grupo motor gerador estudado, onde se verifica que para cargas inferiores a 50% da capacidade nominal do motor, há um crescimento acentuado do consumo em $m^3.kWh^{-1}$

4.4 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA

Os valores registrados de qualidade de energia elétrica gerada referem-se ao dia 09 de março de 2011. Um dia típico de funcionamento do motor gerador, em que o motor gerador foi ligado às 07h00min e desligado às 20h45min, ficando por 13 horas e 45 minutos em funcionamento.

O gráfico da figura 25 mostra a variação da corrente no momento em que o gerador estava em operação.

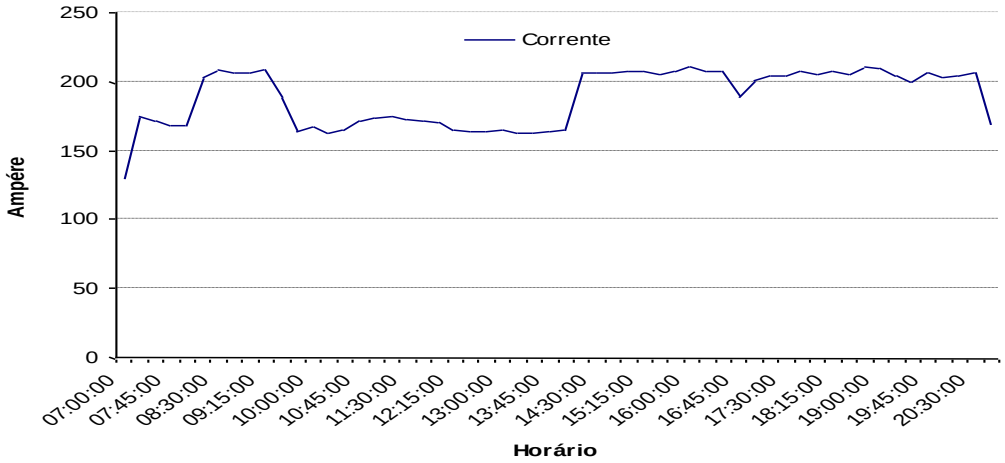


Figura 25 - Corrente da Fase A fornecida pelo grupo gerador

Nota-se o comportamento da corrente de acordo com a carga, em que na primeira hora a corrente trabalhou perto do seu valor nominal em regime contínuo, sendo que das 10h00min às 14h00min o gerador trabalhou com 80% de sua carga, a corrente teve um acompanhamento.

A figura 26 mostra a variação da taxa de distorção harmônica da corrente.

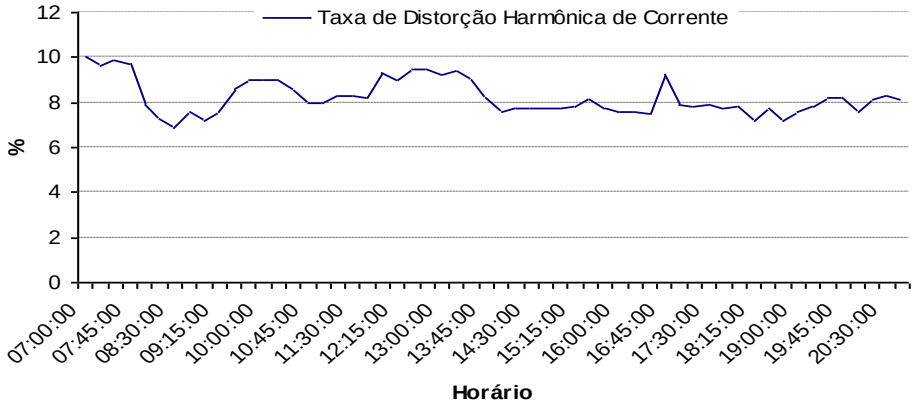


Figura 26 - Taxa de distorção harmônica de corrente.

A taxa de distorção harmônica de corrente manteve-se próxima a 8% operando com carga total, exceto quando o gerador operou com carga a 80%

houve um aumento da taxa, operando próximo a 10%, que é o valor máximo admissível estipulado pela norma BS EM 50160.

O gráfico da figura 27 apresenta o comportamento da tensão entre fases durante o período de operação.

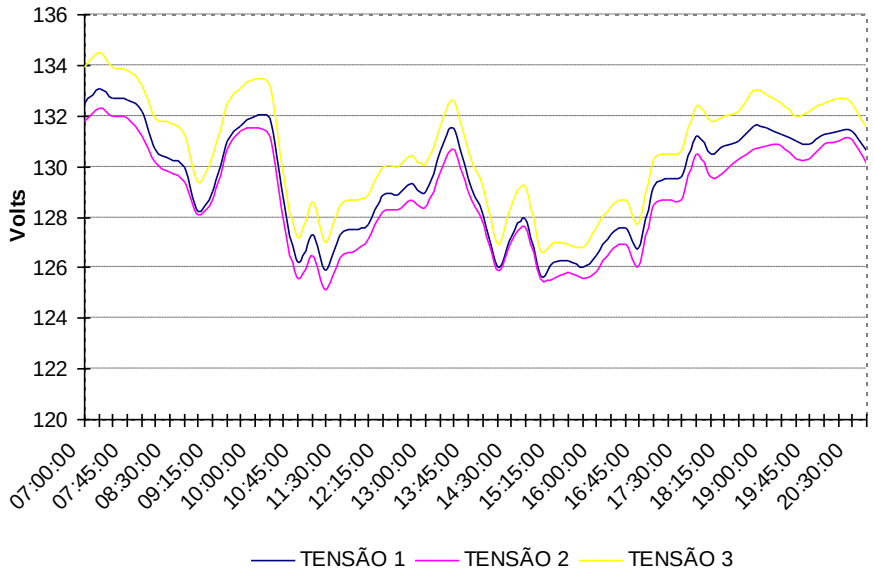


Figura 27 - Tensões entre fases

Nota-se que os níveis de tensão apresentaram comportamento típico, mantendo-se acima do valor nominal de 127 V, não ultrapassando 10% do valor nominal de tensão. O comportamento da taxa de distorção harmônica de tensão pode ser observado na figura 28.

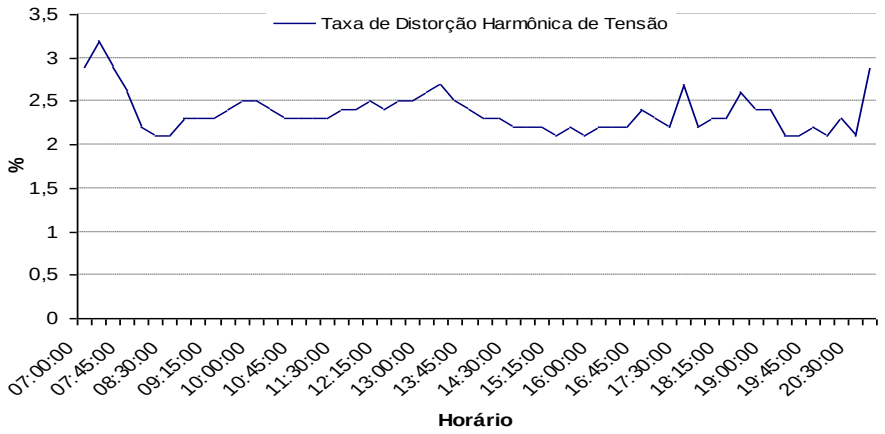


Figura 28 - Taxa de distorção harmônica de tensão.

Observa-se a que taxa de distorção harmônica de tensão manteve-se em torno de 2% e 2,5% operando com carga e próximo a 3% no momento inicial

de operação e momento final de operação, em que a tendência era a retirada de carga. Estes valores estão abaixo do limite 10% adotado pelo Módulo 8 do PRODIST (ANEEL 2007).

Mesmo com as variações observadas nas tensões em relação a carga, não foram detectadas variações de tensão superiores a 10%. O fator de desequilíbrio de tensão manteve-se abaixo de 2% conforme PRODIST – SUB-MÓDULO 8 (ANEEL 2007), que pode ser observado no gráfico da figura 29.

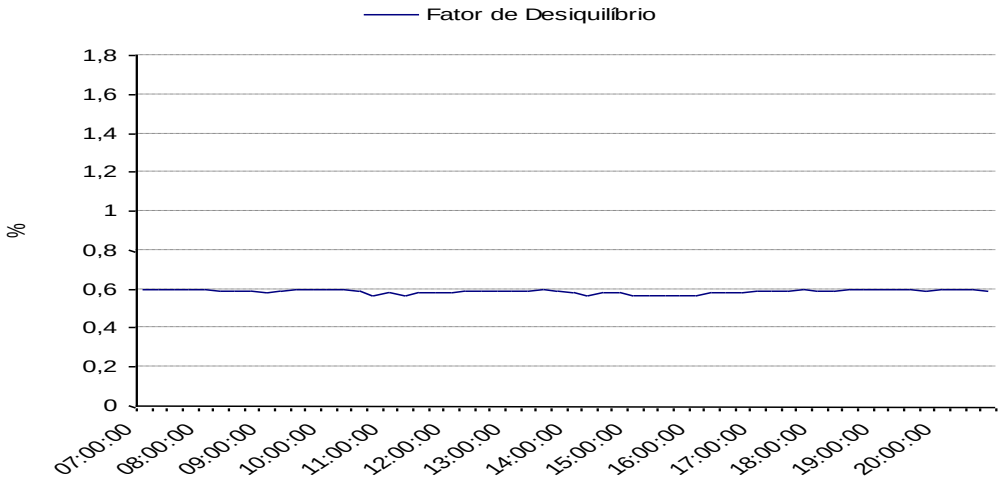


Figura 29- Fator de desequilíbrio de tensão

Na figura 30 verifica-se o comportamento da frequência fornecida pelo grupo-gerador.

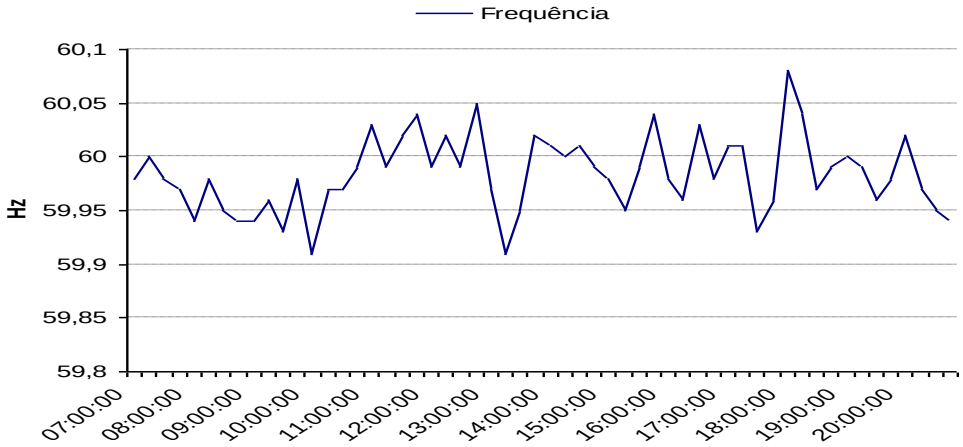


Figura 30 - Frequência de operação do grupo gerador.

Durante a operação foi constata uma variação de frequência com o valor mínimo registrado de 59,91 Hz em dois momentos, quando o gerador operou

com 80% da carga, e valor máximo de 60,08 Hz valores que se encontram dentro da faixa admitida pelo PRODIST (ANEEL 2007).

A figura 31 mostra outro parâmetro importante na análise de geração de energia elétrica a variação do fator de potência.

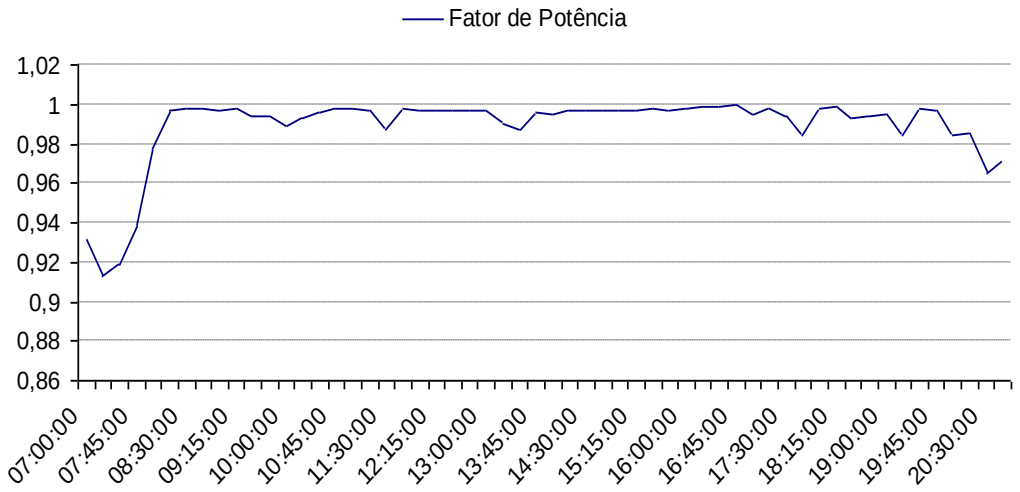


Figura 31- Fator de Potência

Verifica-se que durante a operação em regime permanente, o fator de potência médio manteve-se próximo a 1, e a tendência é que ao se diminuir a carga se diminui também o fator de potência.

A Resolução da ANEEL nº 456/2000 (ANEEL 2000) determina que o fator de potência deve ser mantido o mais próximo possível da unidade (1), mas permite um valor mínimo de 0,92.

4.5. CUSTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA

Comparando o custo de produção de energia elétrica em dois cenários: (1) propriedade com o número atual de animais alojados e o (2) propriedade com o dobro do número de animais alojados atualmente, o cenário (2), mesmo sem a venda de créditos de carbono, obteve o menor custo em todos os casos analisados. Verificou-se que, mesmo sem a venda de créditos de carbono, o custo da produção de energia elétrica ficou mais barato no segundo cenário, ou seja, com o dobro de animais alojados o custo da produção de energia elétrica seria mais barato que a situação atual da propriedade. As tabelas 14 a 19 mostram o custo da produção de energia elétrica nos dois cenários de produção.

Cenário (1)

No cenário (1), situação atual da propriedade estudada, o produtor tem uma produção de 202.210 m^3. ano^{-1} de biogás. Considerando que o investimento com o biodigestor foi de R$ 314.880,00 e o investimento com o sistema de geração de energia elétrica de R$157.550,00, sendo de 10 horas diárias o tempo de operação do sistema.

Caso (A):

A tabela 14 mostra o caso (A), em que o produtor somente produz energia elétrica.

Tabela 14 - O produtor somente produz energia elétrica

Tempo de amortização (anos)	**Custo do biogás (R$/$m^3$)**	**1 Custo da Eletricidade (R$/kWh) em 10 horas de operação do motor-gerador**
5	0,49	0,45
10	0,26	0,21
15	0,20	0,15
20	0,17	0,12

Levando em consideração o valor pago pela COPEL aos microprodutores de energia elétrica que é de R$ 0,14 por kWh (ANEEL 2010), no caso (A) para que o custo da produção se tornasse competitivo, o tempo de amortização de investimento deveria ser de 20 anos.

Caso (B):

A tabela 15 mostra o caso (B), em que o produtor produz energia elétrica e recebe 10% do valor pago pelo crédito de carbono.

Tabela 15 - O produtor produz energia elétrica e recebe 10% do valor pago de crédito de carbono

Tempo de amortização (anos)	**Custo do biogás (R$/m^3)**	**Custo da Eletricidade (R$/kWh) em 10 horas de operação do motor-gerador**
5	0,49	0,45
10	0,26	0,21
15	0,19	0,14
20	0,16	0,11

Verificou-se que, quando o produtor receber 10% do valor pago de crédito de carbono, também tornar-se-ia competitiva a produção de energia elétrica com 20 anos de prazo de amortização.

Caso (C):

A tabela 16 mostra o caso (C), em que o produtor produz energia elétrica e recebe 100% do valor pago de crédito de carbono.

Tabela 16 - O produtor produz energia elétrica e recebe 100% do valor pago de crédito de carbono

Tempo de amortização (anos)	**Custo do biogás (R$/m^3)**	**Custo da Eletricidade (R$/kWh), em 10 horas de operação do motor-gerador**
5	0,43	0,41
10	0,20	0,17
15	0,13	0,10
20	0,10	0,07

Quando o produtor receber 100% do valor pago de crédito de carbono conseguiria com 15 anos de tempo de amortização do investimento um preço competitivo para produção de energia elétrica.

Analisando os casos A, B e C do cenário (1), que seria a situação atual da propriedade estudada, o produtor somente terá um custo competitivo para

produção de energia elétrica quando receber 100% do valor pago de crédito de carbono com prazo de amortização do investimento de 15 anos.

Cenário (2)

No cenário (2), considerando-se o dobro da quantidade de animais alojados atualmente na propriedade estudada, o produtor teria uma produção de 404.420 (m^3. ano^{-1}) de biogás. Considerando que o investimento com o biodigestor foi de R$: 500.000,00 e o investimento com o sistema de geração de energia elétrica foi de R$: 157.550,00, sendo de 20 horas diárias o tempo de operação do sistema.

Caso (D):

A tabela 17 mostra o caso (D) em que o produtor somente produz energia elétrica.

Tabela 17 - O produtor somente produz energia elétrica

Tempo de amortização (anos)	**Custo do biogás (R$/$m^3$)**	**Custo da Eletricidade (R$/kWh) em 20 horas de operação do motor-gerador**
5	0,39	0,32
10	0,21	0,16
15	0,16	0,11
20	0,13	0,09

No caso (D), mesmo não recebendo nada com crédito de carbono e com prazo de amortização de 15 anos, o produtor tem um custo de produção de eletricidade mais competitivo que nos casos A, B e C do cenário (1).

Caso (E):

A tabela 18 mostra o caso (E), em que o produtor produz energia elétrica e recebe apenas 10% do valor pago de crédito de carbono.

Tabela 18 - O produtor produz energia elétrica e recebe 10% do valor pago de crédito de carbono

Tempo de amortização (anos)	**Custo do biogás (R$/m^3)**	**Custo da Eletricidade (R$/kWh) em 20 horas de operação do motor-gerador**
5	0,39	0,31
10	0,20	0,15
15	0,15	0,11
20	0,13	0,08

No caso (E) o produtor recebendo 10% do valor pago de crédito de carbono, o custo da produção de energia elétrica fica quase equivalente ao caso (D), com tempo de amortização do investimento também de 15 anos.

Caso (F):

A tabela 19 mostra o caso (F), em que o produtor produz energia elétrica e recebe 100% do valor pago de crédito de carbono.

Tabela 19 - O produtor produz energia elétrica e recebe 100% do valor pago de crédito de carbono

Tempo de amortização (anos)	**Custo do biogás (R$/m^3)**	**Custo da Eletricidade (R$/kWh) em 20 horas de operação do motor-gerador**
5	0,33	0,28
10	0,14	0,11
15	0,09	0,07
20	0,07	0,05

No caso (F), em que o produtor produz energia elétrica e recebe 100% do valor pago de crédito de carbono, encontramos a melhor relação entre o custo da produção de energia elétrica e o prazo de amortização do investimento, considerando que a quantidade de animais alojados é o dobro da quantidade atual da propriedade, verificou-se que o custo da produção de energia elétrica foi de R$ 0,11 por kWh gerados com tempo de amortização de 10 anos.

De acordo com a ANEEL (2008), o custo da produção de energia elétrica a partir de fonte eólica é de R$ 0,11 kWh^{-1}, de fonte solar é de R$ 0,26 kWh^{-1} e o custo da de energia a partir de pequenas centrais hidrelétricas é de R$ 0,07 kWh^{-1}, comparando esses valores com o cenário (2) verifica-se que a geração de energia tendo como fonte primaria o biogás torna-se mais viável que a energia eólica e a solar, porém quando comparada com a geração em pequenas centrais hidrelétricas a produção de energia elétrica a partir do biogás torna-se inviável.

5. CONCLUSÃO

Além dos aspectos econômicos, a utilização do biogás têm impactos ambientais e sociais. A geração distribuída com o biogás da suinocultura além de suprir a energia da propriedade pode desempenhar um papel importante para o conjunto do Sistema Interligado Nacional.

Por meio das análises dos resultados foi possível observar que com uma quantidade de 4872 animais alojados, a propriedade tem uma produção de 553 $m^3.dia^{-1}$ de biogás, gerando 847 $kWh.m^3$ em 10 (dez) horas diárias de operação do grupo motor gerador. Para um tempo de amortização de 5 (cinco) anos, utilizando a menor taxa de juros disponível para investimento no caso estudado, considerou-se que o custo da produção de energia elétrica utilizando biogás como fonte primaria de energia é de R$ 0,45 por kWh.

No cenário atual da propriedade, a produção de energia elétrica utilizando biogás se torna inviável, visto que o valor pago pela venda do excedente é de R$ 0,14 por kWh. O melhor cenário para viabilizar a produção de energia elétrica na propriedade seria dobrar o número de suínos alojados e o grupo motor gerador operar por 20 horas diárias, com o produtor recebendo 100% do valor pago de crédito de carbono, em um período de 10 anos de amortização, ter-se-ia um custo de geração de energia elétrica competitivo de R$ 0,11 por kWh. O retorno de investimento tem uma variação conforme a taxa paga pela venda da energia produzida e a disponibilidade de operação da planta.

Enfim, conclui-se que a produção de eletricidade a partir do biogás na propriedade estudada torna-se inviável, levando em consideração que o custo para geração de energia é de R$ 0,45 por kWh e o valor pago pela venda do excedente é de R$ 0,14 por kWh.

6. REFERÊNCIAS

ABIPECS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS PRODUTORAS E EXPORTADORAS DE CARNE SUÍNA. **Relatório 2007**. Disponível em:< http://www.abipecs.org.br/relatorios/ABIPECS_relatorio_2007_pt.pdf>. Acesso: 15 jan. 2009.

ABIPECS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS PRODUTORAS E EXPORTADORAS DE CARNE SUÍNA. **Notícias de Mercado**. Disponível em: < http://www.abipecs.org.br/materia15.html>. Acesso: 15 jan. 2009.

ACKERMANN, T., ANDERSSON, G., SÖDER, L., **"Distributed generation: a definition",** 2001.
ACIOLI, J. L. **Fontes de energia**. Editora Universidade de Brasília, Brasília: 1994.

ANDRADE, C. T. C. MOREIRA, A. B. PONTES, R. S. T. **Análise comparativa de métodos para cálculo de eficiência de motores de indução em operação**. 2009. Disponível em: http://www.lamotriz.dee.ufc.br/pdfs/artigo%5B16%5D.pdf. Acesso em 15 de out 2011.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIOMASSA**. Atlas da Energia Elétrica no Brasil. Capítulo 4. 3ª Edição. Brasília, 2008. Disponível em http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap4.pdf. Acesso em 03 out de 2011.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. P**rocedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 1** – Introdução, dezembro de 2005.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8** – 2007.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução ANEEL nº 233, 20 de julho de 1999.**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução ANEEL nº 245, agosto de 1999.**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução ANEEL nº 456/2000.**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução ANEEL nº 22, fevereiro de 2001.**

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Medida Provisória nº 14, 21 de dezembro de 2001**.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução ANEEL nº 77/2004.**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 345/2008.**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 390, 15 dezembro de 2009.**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 395/2009.**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Ofício nº 012/2010-SEM/ANEEL**, de 14 de janeiro de 2010, enviado à CCEE estabelecendo Valor Anual de Referência (VR) para o ano de 2010. Disponível em: http://www.ccee.org.br/StaticFile/Arquivo/biblioteca_virtual/Demonstracoes_Financeiras/ANEEL-OF-00012-SEM-VALOR%20ANUAL%20DE%20REFERENCIA%20PARA%202010-2010-01-14_2.PDF. Acesso em 15 de maio de 2011.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Projeto-piloto de energia a partir de dejetos animais é autorizado pela ANEEL. 2008**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=2679&id_area=90> Acesso em 05 dez 2011.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Proposta que facilita acesso de geração distribuída de pequeno porte em audiência. 2011**. Disponível em < http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4432&id_area=90> Acesso em 05 dez 2011.

ASSIS, Fabíola Oro. **Bacia hidrográfica do Rio Quilombo: dejetos de suínos e impactos ambientais**. Curitiba: Ed. UFPR, 2004. Disponível em: < http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/ index.php/raega/article/viewFile/3386/2715> Acesso: 20 jan. 2009.

AVELLAR, L. H. N.; COELHO, S. T.; ALVES, J. W. **Geração de Eletricidade com Biogás: Uma Realidade.** Revista Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento (online), São Paulo, v 29, 2001.

BECK, A. M. **O biogás de suíno como alternativa energética sustentável**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, 2007.

BERNDSEN, J. C., **Desenvolvimento experimental e análise exergética de um sistema trigerador para produção simultânea de calor, eletricidade e frio**. Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica da UFPR. Curitiba, 2007. Disponível em http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/125.pdf. Acesso em 23 ago 2011.

BIOGAS MOTORES ESTACIONARIOS LTDA**. Informação pessoal**. Toledo PR, 2011.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Social, FAT – **Fundo de Amparo ao trabalhador - PROGER – Programas de Geração de Emprego e Renda. D**isponível em: www.bnds.gov.br, Acesso em 30 julho 2011.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Socia. Taxa de Juros de Longo Prazo. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br> . Acesso em 11 dezembro 2011.

CANESIN, C. A. **Qualidade da energia elétrica, eficiência e racionalização – Desperdício versus Desconhecimento.** Universidade Estadual Paulista, 2001. Disponível em: http://www.wma.ind.br/img/downloads/normas.pdf. Acesso em 23 out 2011.

CARON, C. F., MESSIAS, J. N., FILHO, J. S. C., RUSSI, J. C. V., WEBER, M. I., **Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica**. Tuiuti: Ciência e Cultura, n. 42, p. 63-73, Curitiba, 2009.

CARTEPILLAR. **Gás generator sets. Catálogos informativos**. Disponível em www.cat.com Acesso em 23 Nov 2011.

CCE - Centro para Conservação de Energia**. Guia Técnico do Biogás**. Ed. JE92 Projetos de Marketing Ltda., Algés, Junho, 2000.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Biomassa Moderna versus Biomassa Tradicional.** Disponível em <http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/versus.htm> Acesso em 05 dez 2011.

CERVI, R. G. **Avaliação Econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por Biodigestão Anaeróbia: Estudo de Caso em Unidade Biointegrada**. Dissertação Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Energia na Agricultura. Botucatu, 2009.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. da. **Metodologia científica**. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CETESB – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO – **Biogás.** Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/biogas.asp> Acesso em 05 dez 2011.

CETESB – SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO – **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2007**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>. Acesso em: 01 Dez. 2011.

COELHO, S.T. **Biofuels - Advantages and Trade Barriers - Background Paper to the Expert Meeting for Sectoral Trade Review of Developing Country Participation in New and Dynamic Sectors Session on Biofuels** - Genebra, Fevereiro, 2005

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura param geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Dissertação. 2006. (Mestrado em Engenharia Agrícola / Engenharia de Sistemas Agroindustriais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA**. Manual de Acesso de Geração Distribuída**. **Norma técnica Copel 905100**. Ano 2010. Disponível em: < http://www.copel.com/hpcopel/normas/ntcArquivos.nsf/0342A62F50C68EC4032577F500644B9A/$FILE/905100.pdf> Acesso em 05 dez 2011.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Fontes de Energia - Biomassa.** 2011. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Fgeracao%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F24349F1A246428E1032574240049F201 > Acesso em 06 dez 2011.

COPPINGER, E.; HERMANSON, R. E.; BAYLON, D. **Operation of 390 m3 digester at the Washington Dairy Farm**. ASAE Paper, St. Joseph, n. 78 v. 4566, 1978.

COUTO, L. C., COUTO, L., FARINHA, L., BARCELLOS, D. C. **Vias de Valorização Energética de Biomassa**. Biomassa e Energia. Viçosa, v.1, n.1, p.71 - 92, 2004.

CRAVEIRO, A. M. **Produção de Biogás**. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1982.

CVM – Comissão de Valores Mobiliários. **Programa Suinocultura Sustentável Sadia** - 3S. 2007. Disponível em: http://www.cvm.gov.br/port/public/publ/seminario/PAINEL02/Alvaro_Sadia.pdf. Acesso em 10 dez 2011.

DAGNALL, STEVE **Resource Mapping and Analisys of farm Livestock Manures – Assessing the opportunities for Biomass to Energy Schemes** Bioresource Technology, n. 71 p.225-234 Elsevier Science B. V. 2000.

DEGANUTTI, R., PALHACI, M. do C. J. P., ROSSI, M. *et al*. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**.. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=pt&nrm=abn>. Acesso em: 31 Jan. 2012.

DIAS, M. V. X., BOROTNI, E. C., HADDAD, J., **Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras**, Revista Brasileira de Energia, Vol. 11, nº 2, 2005.

DRESSER. **Series B Meters**. Catálogo. Disponível em http://www.dresser.com/index.cfm/go/product-detail/product/Series-B-Meters/, acesso em 06 de dezembro de 2011.

ECOSECURITIES. **NovaGerar landfill gas to energy project: project design document**. Oxford, 2004. Disponível em: <http://www.dnv.com/certification/climatechange/Upload/PDD_NovaGerar%20_2004-02- 13.pdf>. Acesso em: 01 Dez. 2011

ECOSYSTEM MARKETPLACE. **State of the Voluntary Carbon Markets 2011**. Disponível em http://www.ecosystemmarketplace.com/pages/dynamic/resources.library.page.php?page_id=8351&section=our_publications&eod=1 Acesso em 10 dez 2011.

EDP. O que é energia. 2011. Disponível em < http://www.institutoedp.com.br/institutoedp/pesquisadores_estudantes/energia/o_que_energia/o_que_energia.asp>. Acesso em 15 out. 2011.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES, **Planta do biodigestor com gasômetro de PVC**, Disponível em www.cnpsa.embrapa.br, acesso em 20 dez 2011.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Inventário Tecnológico: Sistemas de Tratamento de Dejetos Suínos**. Concórdia: Santa Catarina, 2008. Disponível em: < http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/09.html>. Acesso em 16 set 2011.

EMBRAPA, **Circular Técnica 42, ISSN 0102-3713**, Concórdia, SC, junho, 2005.

ER-BR Energias Renováveis Ltda. **Grupos Geradores à Biogás. Características Técnicas**. Disponível em http://www.erbr.com.br/produtos/tabelas_tecnicas_geral.pdf. Acesso em 14 dez 2011.

FEIDEN, A. et al. **Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura.** Campinas: UNICAMP, FEAGRI, 2004. Disponível em:<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2056.pdf>. Acesso em 05 nov 2011.

FISCHER,G. SCHRATTENHOLZER, L. **Global Bioenergy Potentials through 2050**. Biomass and Bionergy nº 20p.151-159 Elsevier Science B. V. 2001

FONSECA, F. S. T. ARAÚJO, A. R. A. HENDGES, T. L. **Análise de Viabilidade Econômica de Biodigestores na Atividade Suinícola na Cidade de Balsas - MA: um estudo de caso.** 47º Congresso SOBER - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, 2009. Disponível em: http://www.sober.org.br/palestra/13/687.pdf. Acesso em 13 nov 2011.

GASPAR, Rita Maria B. Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na Região de Toledo-Pr**. Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em:< http://www.tede.ufsc.br/teses/ PEPS4022.pdf> Acesso: 20 set 2011.

GCS – Governor Control Systems Inc. Genset Control Systems. **WOODWARD GCP – 20**. Disponível em: http://www.govconsys.com/genset.htm. Acesso em 17 out 2011.

GE-Energy. **Jenbacher biogas engine. Catálogos**. Disponível em: <www.geenergy.com>, Acesso 23 nov de 2011.

GIACOSA D. **Motores endotérmicos**. Madrid: Editorial dossat,1986, 722 p.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, jan./abr. 2007.

GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia: perspectivas para países em desenvolvimento.** 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

IANNICELLI, L. A. **Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira**. Taubaté. Dissertação de Mestrado. DEM/UNITAU, 2008.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Biomass. Bioenergy Project Development & Biomass Supply Biomass.** Good Practive Guidelines. Paris 2007 Disponível em <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2007/biomass.pdf> Acesso em 05 dez. 2011.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewable Energy.** Disponível em <http://www.iea.org/subjectqueries/keyresult.asp?KEYWORD_ID=4116> Acesso em 08 dez. 2011.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Balances of non-OECD countries 2002 – 2003**. Paris 2005. Disponível em <http://www.iea.org>. Acesso em 04 dez. 2011.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Nuclear power: sustainability, climate change and competition**. Paris: IEA/OECD,1998. Disponível em < www.iea.org/techno/index.htm>. Acesso em 04 dez. 2011.

IEEE P1547: IEEE **Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems**, 2003.

IEEE **Standard 519-1992: Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.,** 1992.

INEE – "**Geração Distribuída e Conexão ao Sistema Elétrico"** – março 2002

LEAO ENERGIA INDÚSTRIA DE GERADORES LTDA. **Catálogo de motores geradores**. Unidade Industrial de Aves da LAR, 2010.

LEI Nº 10.438 de 26/04/2002 publicado em 29/04/2002.

LIMA, P. C. R. **Biogás da Suinocultura: Uma importante fonte de geração de energia.** Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Brasília, 2007.

LUCAS JÚNIOR, J. **Estudo comparativo de biodigestores modelo Indiano e Chinês**. 1987. 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 1987.

KAREKESI et al, 2005 **Status of Biomass Energy in Developing Countries and Prospects for International Collaboration**. In GFSE-5 Enhancing International Cooperation on Biomass. Background Paper. Áustria, 2005.

KOELSCH, R.; JEWELL, W. **Cogeration of eletricity and heat from biogas St.Joseph**. ASAE Paper, v. 82, n. 3621, 1982.

KUNZ, A.; ET AL. **Comparativo de Custos de Implantação de Diferentes Tecnologias de Armazenagem/Tratamento e Distribuição de Dejetos Suínos**. Circular Técnica nº 42 – EMBRAPA Suínos e Aves. Concórdia: Santa Catarina, 2005. Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_c6f75b0x.pdf >. Acesso: 05 dez 2011.

KUNZ, A.; PALHARES, J. C. P. **Créditos de carbono e suas conseqüências ambientais** (2004). Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/artigos/2004>. Acessado em 04 dez 2011.

MACARI, N. C., RICHARDSON, R.D. **Operation of a Caterpillar 3516 spark-ignited engine engine on low-Btu fuel**. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. Transactions of the ASME, V.109, pp.443-447, 1987.

MAGNETROL. **Manual de Instalação e Operação**. Transmissor de Fluxo de Massa de dispersão Térmica Modelo Thermatel TA2 Enhance.2011.

MALFA, E., "**ABB on Sustainable Energy Markets**", Università di Brescia, 2002

MASRI, M. R. **Changes in Biogás Production due to Different Ratios of Some Animal and Agricultural Wates Bioresource** Technology, 2001. Elsevier Science, p. 97-100, 200.

MASSOTI, Z. **Viabilidade técnica e econômica do biogás em nível de propriedade**. <http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/10-Massotti.pdf>, página acessada 15 out 2011.

MENEGUELLO, L. A.; CASTRO, M. C. A. A. de. **O protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo**. Interações, Campo Grande, v. 8, n. 1, p. 33-43, mar. 2007.

MIALHE, L.G. **Máquinas Agrícolas: ensaios & certificação**. FEALQ. Piracicaba, SP. 1996. 772p.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2011**. Relatório Final. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf. Acesso em 04 dez 2011.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Agroenergia.** Disponível em:< http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=9810>. Acesso: 18 mar 2011

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº 357 de 17 de Março de 2005**. CONAMA, 2005. Disponível em: http://www.crq4.org.br/downloads/resolucao357.pdf. Acesso em 05 julho 2011.

MUELLER, G. P. **Landfill gas application development of the cartepillar G3600 spark-ignited gas engine**. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. Transactions of the ASME, V.117, pp.820-825, 1995.

NISHIMURA, R. **Análise de Balanço Energético de Sistema de Produção de Biogás em Granja de Suínos: Implementação de Aplicativo Computacional**, Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS – Campo Grande, 2009.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.

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, maio/ago. 2005.

NOVUS, 2010. **Registrador FieldLogger**, Registrador Eletrônico - Manual De Instruções V2.2x B disponível em http://www.novus.com.br/downloads/?ID=805292, acesso em 06 de dez de 2011.

OBERT, E. F. **Motores de combustao interna**. Porto Alegre: Editora Globo, 1971.

OLIVEIRA JUNIOR, D. P. **Motores de Combustão Interna**. Piracicaba: 1997.

OLIVEIRA, P. A. V., HIGARASHI, M. M., NUNES, M. L. A. **Efeito estufa**. Suinocultura Industrial, v. 25, n. 172, p. 16-20. 2003.

OLIVEIRA, P.A.V.; HIGARASHI, M.M.; NUNES, M.L.A. **Emissões de gases, na suinocultura, que provocam o Efeito Estufa.** Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 2004. 12 p.

OLIVEIRA, P.A.V.; HIGARASHI, M.M. **Geração e utilização de biogás em unidade de produção de suínos.** Concórdia-SC: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42p.

ORSOLON, M. **Crédito de carbono**. Potência, São Paulo, n. 14, p. 16-26, abr. 2006.

OWEN, W.F. **Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential And Anaerobic Toxicity**. In: Water Research, 1979, vol. 13, p 485

PERDOMO, C. C., LIMA, G. J. M. M., NONES, K. **Produção de suínos e meio ambiente. 9º Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura**. Gramado, 2001. Disponível em: http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/anais0104_perdomo.pdf. Acesso em 21 nov 2011.

PEREIRA, E.R.; DEMARCHI, J.J.A.A; BUDIÑO, F.E.L. BIODIGESTORES – **Tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/biodigestores/index.htm>. Acesso em: 05 abril 2011.

PEREIRA, R. H., BRAGA, S.L., BRAGA, C.V.M., "**Geração Distribuída de Energia Elétrica – Aplicação de Motores Bicombustível Diesel/Gás Natural,"** In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, 2-5 out. 2005.

PEREIRA, J. C. **Motores e geradores – princípio de funcionamento, instalação, operação e manutencao de grupos diesel geradores.** 2009. Disponível em www.joseclaudio.eng.br, acesso em 10 novembro de 2011.

PIPATMANOMAI, S., KAEWLUAN, S., VITIDSANT, T. '**Economic Assessment of Biogas-to-Electricity Generation System with H2S Removal by Activated Carbon in SmallPig Farm**', 2009, *Applied Energy,*vol. 86, pp. 669 – 674.

PINTO, M. A. C., COSTA, M. M., MARTISN, G. G., COSTA, L. F. P., FERREIRA, R. O., **Modelagem Econômica para Análise de Perspectivas no Mercado de Créditos de Carbono. Revista do BNDES**, Rio de janeiro: Junho 2008. Pág. 118-120,

PINTO, R.O. **Avaliação da digestão anaeróbia na lioestabilização de resíduos sólidos orgânicos, lodos de tanques sépticos, dejetos suínos e lixiviado**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Programa de Pósgraduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. 101p.

PUBLIC UTILITY COMMISSION OF TEXAS, **Distributed Generation Interconnection Manual,** march 2001.

RAMAGE, J.; SCURLOCK, J. Biomass. In: BOYLE, G. (Ed.). **Renewable energy: power for a sustainable future**. Oxford: Oxford University Press, cap. 4, p. 137-182, 1996

SADIA. **Programa Suinocultura Sustentável Sadia - 3S.** Disponível em: http://www.sadia.com.br/sobre-a-sadia/cadeia-produtiva_programa-suinocultura-sustentavel-sadia-3s.jsp Acesso em 10 dez 2011.

SADIA. **Programa Suinocultura Sustentável Sadia é o primeiro do setor agrícola no mundo a obter registro na ONU. 2009**. Informativos Sadia. Disponível em: http://www.sadia.com.br/imprensa/25_PROGRAMA+SUINOCULTURA+SUSTENTAVEL+SADIA+E+O+PRIMEIRO+DO+SETOR+AGRICOLA+NO+MUNDO+A+OBTER+REGISTRO+NA+ONU. Acesso em 10 dez 2011.

SALES, D.; ELMAS, F. **Mercado de Crédito de Carbono**. Dissertação em Ciências Ambientais – Licenciatura em Química. UERJ, 2010.

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

SCHERR, H. **Economia solar global**. Estratégia para a Modernidade Ecológica. CRESESB – CEPEL, Rio de Janeiro: 2002.

SCHWADE, G. M.; RECH, C. **Geração de energia elétrica com uso do biogás proveniente do tratamento dos dejetos da suinocultura**. XXI Congresso de iniciação científica e tecnológica em Engenharia. Ijuí, 2006.

SEAB - SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Suinocultura Paranaense**. 2010. Disponível em <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/qas/uploads/2454/suinos%2027dez2010.pdf> Acesso em 05 dez 2011.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MACHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores.** Brasília, DF: EMBRAPA, DID, 1980. 60 p. Circular técnica, 4.

SHIKIDA, P.F.A., GRUBER, R.R., NORONHA, A. G.C, 2009. **Bioenergia no Paraná: estratégia e agenda.** Anais do XIvii Congresso Brasileiro de economia, Administração e sociologia Rural. Brasília, DF.

SIEBENMORGEN, T. J.; SCHULTE, D. D.; BALLARD, J. L. **Integration of a Cogeneration System into a Swine Operation: 1. Model Development and System Description.** In: Transactions of the Asae (American Society of the Agricultural Engineers), v. 31, p. 1556-1565, September-October 1988.

SIMEPAR. SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ. 2011

SOUZA, S. N. M., OLIVA, C. A., MAGALHÃES, E. A., RICIERI, R. P. **Geração própria de energia elétrica com aproveitamento de biogás da suinocultura.** In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 32. 2003. Goiânia - GO. **Anais...**. Goiânia - GO, CONBEA/SBEA. 2003.1 CD-ROM.

SOUZA, S. N. M., PEREIRA, W. C.; PAVAN, A. A., **Custo da Eletricidade Gerada em Conjunto Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura.**, Acta Scientiarum Technology, v. 26, no. 2, p. 127-133, Maringá, 2004.

SPEECE, R. E. **Anaerobic Biotechnology For Industrial Wastewaters**. Archae Press, Nashville, 1996, Tennessee.

STAISS, C.; PEREIRA, H. **Biomassa Energia Renovável na Agricultura e no Setor Florestal Instituto Superior de Agronomia,** Portugal, Revista Agros n. 01 pp. 21-28, 2001.

STAHL, J. R. FISCHER ; F. D. HARRIS & C. E. DUNLAP **An Internal Combustion Engine fueled with Biogas Integrad ino an Etanol Plant**. ASAE Paper nº MCR 81-202, 1981.

STEPAHN, K. **History of absorption heat pumps and working pair of development in Europe**. Int Jounal of refr., Vol. 6, Maio, 1983. Pg 152-160.

SUICALC – **Programa para Cálculo de Custo de Produção de Suínos,** disponível em www.cnpsa.embrapa.br, acesso em 22 mar 2011.

TURKSON, J. , WOHLGEMUTH, N. **"Power Sector Reform and Distributed Generation in sub Saharan Africa**" Energy Policy 29: 2001.

UNFCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. **ACM0002. Consolidated methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources Version 7.** Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>. Acesso de 10 set 2011.

WALSH, J. L, ROSS, C. C., SMITH, M. S. & HARPER, S. R**. Utilization of biogas**, Biomass, v.20, 1989, pp277-290.

WALSH, J. L, ROSS, C. C., SMITH, M. S., HARPER, S. R. & WILKINS, W. A. **Handbook on biogas utilization.** Georgia, Atlanta, USA: Georgia Tech Research Institute (GTRI) and U. S. Department of Energy (DOE), 156P. 1988.