

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**BIODIGESTORES E BIOGÁS: BALANÇO
ENERGÉTICO, POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO E
MITIGAÇÃO DO EFEITO ESTUFA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

José Carlos Brondani

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**BIODIGESTORES E BIOGÁS: BALANÇO ENERGÉTICO,
POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO E
MITIGAÇÃO DO EFEITO ESTUFA**

por

José Carlos Brondani

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Qualidade e Produtividade, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**

Orientador: Prof. Ronaldo Hoffmann

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**BIODIGESTORES E BIOGÁS: BALANÇO ENERGÉTICO,
POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO E MITIGAÇÃO
DO EFEITO ESTUFA**

elaborada por
José Carlos Brondani

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ronaldo Hoffmann, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

João Hélio Righi de Oliveira, Dr. (UFSM)

Janis Ruppenthal, Dr^a (UFSM)

Santa Maria, 30 de abril de 2010.

Este trabalho é composto por um lado animal e outro humano. Portanto, dedico o mesmo aos animais que nascem, vivem e morrem para o consumo humano e, às futuras gerações, que padecerão as consequências irreversíveis do aquecimento global provocadas pelo lado não tão humano da geração deste, que escreveu esta dissertação e que se alimenta da carne daqueles animais.

AGRADECIMENTOS

Com gratidão, à Edson Ricardo Gross e Maristela Gross, casal proprietário da Granja Ipê - Rincão dos Rocha - Santa Rosa/RS - Granja e suinocultura base para este trabalho;

Ao Professor Orientador Ronaldo Hoffmann e aos demais integrantes da banca;

Ao Professor Paulo Belli Filho, da UFSC, pela avaliação externa, a qual contribuiu de forma decisiva na correção e ajustes do trabalho;

À Gilson Duarte, do setor operacional da Empresa Investidora em Créditos de Carbono, por todas informações concedidas;

Aos Eng. Agrônomos Fábio Luiz Iop Cechin, do setor agrícola do Banco do Brasil, agência Santa Rosa, e Manoel Pereira de Almeida Neto, do setor de desenvolvimento sustentável do Banco do Brasil, agência Central de Santa Maria, pelo apoio e informações concedidas;

Ao Eng. Agrônomo Hugo Gosmann, da Universidade Federal de Santa Catarina, pela troca de idéias;

Ao também mestrando do PPGEF/UFSC, Rodrigo Barichello, pela troca de informações e literatura;

Ao doutorando do PPGEA/UFSC, Alexandre Russini, pela contribuição na realização dos cálculos de consumo de óleo Diesel pelos tratores;

À minha família;

Em especial à minha filha Letícia, que mesmo sem ela saber e sem eu entender, foi um dos pilares;

Ao tempo, que abriu brechas para que pudesse dedicar-me a este trabalho;

Ao Criador - de todos nós, seres humanos e animais.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria

BIODIGESTORES E BIOGÁS: BALANÇO ENERGÉTICO, POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO E MITIGAÇÃO DO EFEITO ESTUFA

AUTOR: JOSÉ CARLOS BRONDANI

ORIENTADOR: RONALDO HOFFMANN

Data e local da defesa: Santa Maria, 30 de março de 2010.

Biogás é uma composição gasosa formada principalmente pelo gás metano (CH_4) e pelo dióxido de carbono (CO_2), gerado especialmente por processos microbiológicos em ambiente com pouco ou nenhum oxigênio. Esta pesquisa foi realizada sobre o biogás produzido a partir do tratamento de dejetos suínos em decomposição anaeróbica e acumulado no interior de biodigestores, em suinocultura do Estado do Rio Grande do Sul. No âmbito do presente trabalho, o mesmo é oxidado e transforma-se em CO_2 pela queima em *flare*. Através da revisão da literatura e questionários aplicados, foram levantadas possibilidades de tratamento dos dejetos suínos, através de fluxogramas comparativos. Através da medição da vazão do biogás em equipamentos apropriados e análise matemática, obteve-se resultados conclusivos. Procurou-se evidenciar as diversas possibilidades de aproveitamento do biogás, principalmente a geração de energia elétrica, mas também o aquecimento da suinocultura no inverno. Abordou-se os equipamentos necessários para investir no primeiro item anteriormente citado, assim como prazos para retorno destes investimentos. De outro “ângulo de visão”, evidenciou-se o não aproveitamento do biogás em benefício da suinocultura, mas o investimento em um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para obter os Créditos de Carbono, onde observou-se as grandes dificuldades, principalmente financeiras, para um suinocultor implantar o mesmo. Diversas possibilidades técnicas e econômicas para mitigar o efeito estufa foram analisadas.

Palavras-chave: Biodigestor; Biogás; Medição direta, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

ABSTRACT

Dissertation of Master degree
Program Post-Graduation on Production Engineering
Federal University of Santa Maria

BIODIGESTORS AND BIOGAS: ENERGETIC BALANCE, POSSIBILITING THE USE AND MITIGATION OF THE GREENHOUSE EFFECT

AUTHOR: JOSÉ CARLOS BRONDANI

ADVISOR: RONALDO HOFFMANN

Santa Maria, March 30th 2010.

Biogas is a gaseous composition formed mainly by the methane gas (CH_4) and by the carbon dioxide (CO_2), generated especially by microbiologic processes in environment with few or no oxygen. This research was carried out on the biogas produced from the treatment of swine dejections in breathing decomposition and accumulated in the interior of biodigestors, in swine culture in the state of Rio Grande do Sul. Within the range of this present work, the same gas is rusted and it turns into CO_2 by the burning in *flare*. Through the literature review and applied questionnaires, possibilities of treatment of swine objections were raised, through comparative flow chart. Through measuring the biogas flow in appropriate equipments and mathematic analyses, several conclusive results were reached. It was tried to evidence not only the various possibilities of biogas use, mainly the generation of electric energy, but also the heating of swine culture in the winter. It was approached the necessary equipments to invest in the first item mentioned, as well as deadlines for these investments return. From another "point of view", it was evidenced the biogas non-use in aid of the swine culture, but the investment in a Mechanism of Clean Development (MCD) to obtain the Credits of Carbon, where it was observed the great difficulties, mainly financial, to a swine breeder implant the same. Several technical and economical possibilities to mitigate the greenhouse effect were analyzed.

Key words: Biodigestor; Biogas; Direct measuring; Mechanism of Clean Development.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Lagoa de tratamento sem biodigestor.....	22
FIGURA 2 -	Linha de base para criação do M.D.L.....	26
FIGURA 3 -	Limites da fronteira do sistema proposto.....	27
FIGURA 4 -	Fluxograma do sistema produtivo da granja.....	28
FIGURA 5 -	Reservatórios de biogás.....	29
FIGURA 6 -	Equipamentos para medição do biogás.....	29
FIGURA 7 -	Aspecto dos dejetos suínos.....	30
FIGURA 8 -	Equipamento para queima de biogás (<i>flare</i>).....	30
FIGURA 9 -	Fluxograma do biodigestor 1.....	47
FIGURA 10 -	Fluxograma do biodigestor 2.....	48
FIGURA 11 -	Fluxograma do biodigestor 3.....	49
FIGURA 12 -	Fluxograma do biodigestor 4.....	50
FIGURA 13 -	Fluxograma do biodigestor 5.....	51
FIGURA 14 -	<i>Display</i> da medida do biogás 1.....	52
FIGURA 15 -	<i>Display</i> da medida do biogás 2.....	53
FIGURA 16 -	Fluxograma da queima do biogás.....	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Exemplos de quantidade de água para produção de alguns produtos.....	16
TABELA 2 -	Constituição do biogás.....	35
TABELA 3 -	Produção de biogás em função da criação.....	37
TABELA 4 -	Produção diária de dejetos.....	62
TABELA 5 -	Estimativas de despesas com manutenção de grupo motor/gerador.....	66
TABELA 6 -	Percentual do adubo químico utilizado.....	71
TABELA 7 -	Itens da entrada de energia da produção agrícola e seus respectivos coeficientes energéticos.....	72

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Gráfico do consumo de óleo Diesel (1).....	75
GRÁFICO 2 - Gráfico do consumo de óleo Diesel (2).....	76

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Linhas de financiamento para MDL.....	55
--	----

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A -	Relatório de validação do MDL	89
ANEXO B -	Critérios para queima ou utilização do biogás	90
ANEXO C -	Produção do biogás e cálculo do seu equivalente em energia elétrica.....	94
ANEXO D -	Valores recebidos pelos Créditos de Carbono – Projeto de MDL da Granja Ipê.....	97
ANEXO E -	Cálculo do custo de aquisição e manutenção de um Grupo motor/gerador de energia elétrica.....	98
ANEXO F -	Cálculo da viabilidade comercial de instalação do Grupo motor/gerador em função da economia da compra de energia elétrica da rede pública.....	101
ANEXO G -	Custo de implantação dos biodigestores, aprovação do MDL e sua manutenção na granja objeto desta pesquisa	103
ANEXO H -	Cálculo do custo da água utilizada na suinocultura relativo ao consumo de energia elétrica para captação da mesma..	104
ANEXO I -	Cálculo da diminuição do uso do adubo químico nas lavouras devido ao uso do biofertilizante.....	107
ANEXO J -	Cálculo do consumo de óleo Diesel para o transporte do biofertilizante das lagoas secundárias às lavouras.....	112

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Justificativa da escolha do tema para a pesquisa.....	15
1.1.1 Contexto atual da produção de carne.....	15
1.1.2 Sustentabilidade do planeta terra – Meta a ser alcançada.....	17
1.1.3 Critérios básicos para que um projeto seja elegível como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e os conseqüentes Créditos de Carbono.....	19
1.2 Objetivos.....	22
1.2.1 Objetivo Geral.....	22
1.2.2 Objetivos Específicos.....	22
1.3 Delimitação da área geográfica – Contextualização	23
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	31
2.1 Riscos ambientais e manejo.....	31
2.2 Formação do biogás.....	32
2.3 Conceito de biogás.....	34
2.4 Utilização do biogás.....	35
2.5 Equivalências energéticas do biogás.....	36
2.6 Quantidade de dejetos para formar 1 m³ de biogás.....	37
2.7 Estimativas de produção de biogás – métodos de cálculo.....	38
2.8 Combustão – queima de hidrocarbonetos.....	38
2.9 Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) - Critérios.....	39
2.10 Outorga da água.....	40

2.11 Consumo de óleo Diesel em tratores.....	41
2.12 Ativos e passivos ambientais.....	42
3 METODOLOGIA APLICADA.....	43
3.1 Legislação Ambiental.....	43
3.2 Obtenção de informações necessárias para a composição das cinco hipóteses presumidas pelo pesquisador para o tratamento de dejetos e destinação dos gases oriundos da decomposição.....	45
3.3 Cenários para utilização dos dejetos, biogás e mitigação aos danos causados ao efeito estufa e ao meio ambiente.....	45
3.4 Equipamento utilizado para medição e queima do biogás.....	51
3.5 Linhas de crédito para implantação de um MDL	54
3.6 Unidades equivalentes.....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1 Quantidade de carne suína produzida na granja base para esta pesquisa.....	59
4.2 Consumo de energia elétrica e seus equivalentes para a suinocultura.....	59
4.3 Medição do Biogás e determinação da real produção em função do plantel de suínos e produção de dejetos.....	61
4.4 Produção do biogás e seu equivalente em energia elétrica.....	63
4.5 Produção do biogás e seu equivalente em Créditos de Carbono.....	63
4.6 Valores recebidos pelos Créditos de Carbono – Projeto de MDL da Granja Ipê.....	64
4.7 Créditos de Carbono x Energia Elétrica possível de ser gerada.....	65
4.8 Custo de aquisição e manutenção de um Grupo motor/gerador de energia elétrica.....	66
4.9 Viabilidade comercial de instalação do Grupo motor/gerador em função da economia da compra de energia elétrica da rede pública.....	67
4.10 Custo de implantação dos biodigestores, aprovação do MDL e sua manutenção na granja objeto desta pesquisa.....	67

4.11 Custo da água utilizada na suinocultura relativo à Outorga da Água.....	68
4.12 Custo da água utilizada na suinocultura relativo ao consumo de energia elétrica para captação da mesma.....	69
4.13 Diminuição do uso do adubo químico nas lavouras devido ao uso do biofertilizante.....	70
4.14 Consumo de óleo Diesel para o transporte do biofertilizante das lagoas secundárias às lavouras.....	73
4.15 Balanço Energético do biodigestor.....	77
5 CONCLUSÕES.....	80
5.1 Conclusões gerais.....	80
5.2 Recomendações para futuras pesquisas.....	82
5.3 Confronto entre valores obtidos e literatura existente.....	82
REFERÊNCIAS.....	84
ANEXOS.....	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa da escolha do tema para a pesquisa

A produção de carne está aumentando em todo mundo, na medida do aumento da população e do aumento do poder aquisitivo da mesma. Por consequência, a agressão ao meio ambiente, da mesma maneira. Diz-se isto, pois toda produção de carne é impactante no que se refere aos danos ambientais.

1.1.1 Contexto atual da produção de carne

O crescimento populacional, a urbanização e o aumento de renda nos países em desenvolvimento, está proporcionando um aumento do consumo de carne em todo mundo. Segundo pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2009 existiam 195,5 milhões de bovinos no Brasil, conforme Pesquisa da Pecuária Municipal divulgada em 25 de novembro do mesmo ano.

A atividade suinícola, compreende um rebanho mundial de 787 milhões de cabeças e representa 40% da carne consumida, constituindo a principal fonte de proteína animal consumida no planeta. No ano de 2002, foram produzidos 89.254 milhões de toneladas. A China é o maior produtor de carne suína, com uma participação de cerca de 51%, seguida da União Européia, 20%, e pelos Estados Unidos, com 10% do total produzido no mundo. O Brasil, com uma produção de 2,79 milhões de toneladas de carne suína no ano de 2003 (3,02% do total mundial), ficou na quarta posição entre os maiores produtores mundiais (SEGANDREDO, 2007).

Quando se exporta ou importa qualquer produto, muitos desconhecem o valor agregado de água ao produto, em todo o processo, desde a concepção até o consumo. A incorporação de água aos produtos, especialmente através de *Commodities*, configura a chamada “água virtual”. Assim, contabilizando a quantidade de água exigida na criação de suínos, por exemplo, é possível avaliar a importação e exportação de água inserida na carne. O conceito de “água virtual” foi criado pelo professor J. Anthony Allan, do Departamento de Geografia do *King's College*, que definiu como sendo a água contida nas *Commodities*. Este conceito

veio a ser consagrado em 2003, durante o III Fórum Mundial da Água, em Kyoto (BRAGA, 2008).

Quando se exporta 1 kg de carne de porco, boi ou frango, está se exportando junto também a água que foi utilizada na produção, só que esta não é contabilizada. Como exemplo, observa-se a Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplos de quantidade de água para produção de alguns produtos

Produto	Unidade	Quantidade de água necessária (litros)
Arroz	Kg	2.500
Papel	Kg	324
Sapato de couro	Par	8.000
Soja	Kg	2.525
Óleo de soja	Kg	5.405
Carne de boi	Kg	17.100
Carne de porco	Kg	5.250

Fonte: <http://odia.terra.com.br/ciencia>.

A capacidade poluente dos dejetos suínos, em termos comparativos, é muito superior a de outras espécies. Utilizando o conceito de equivalente populacional, um suíno em média equivale a 3,5 pessoas (LINDNER, 1999). Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água de higienização e água de bebedouros. Não deve haver contribuição de águas pluviais. Se forem lançados diretamente nos cursos de água, haverá a redução do teor de oxigênio, disseminação de patógenos e contaminação com elementos tóxicos.

Os contaminantes mais comuns são: amônia, metano, ácidos graxos voláteis, gás sulfídrico, óxido nitroso, etanol, propanol, dimetil sulfrido e carbono sulfrido. A amônia pode causar a formação de chuva ácida, além de contribuir para o aquecimento global. (PERDOMO, 1999).

No presente trabalho, os gases de interesse são o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), é a principal medição de poluição dos afluentes. Corresponde a quantidade de oxigênio necessário para que

as bactérias depuradoras possam digerir cargas poluidoras na água. Quanto maior a DBO, maior a poluição causada. Ainda há outra consequência: a infiltração nos lençóis freáticos e nos aquíferos subterrâneos, dos medicamentos e hormônios utilizados nas criações.

Além disso, deve-se considerar, como de conhecimento geral, que a atividade agropecuária possui dificuldades para absorver ou repassar para os consumidores os custos oriundos ao enquadramento à legislação ambiental.

1.1.2 Sustentabilidade do planeta terra - Meta a ser alcançada

A sustentabilidade do planeta terra, ainda longe de alcançar seus objetivos, porém é uma meta a ser alcançada. Antigamente, acreditava-se que o homem era o centro de tudo, assim tudo que existia a sua volta estava ali para ser manejado, transformado e utilizado como depósito daquilo que não mais lhe tinha utilidade ou era prejudicial a sua saúde, devendo ser afastado. Essa visão tem sido deixada de lado, surgindo uma nova, em que o ser humano é algo pertencente ao planeta, por consequência, irá impactar sua qualidade de vida e perpetuação neste planeta (SEGANFREDO, 2007).

O setor suinícola por si só é altamente poluente, portanto implantar a sustentabilidade é um desafio a ser estudado, uma meta a ser alcançada, não de uma única vez, mas paulatinamente. Já é conhecido o tripé da sustentabilidade: Rentabilidade; Desenvolvimento social e Minimização da agressão ao meio ambiente.

São os três pilares: ambiental, econômico e social, criado por John Elkington, cujo termo na língua inglesa é *Triple Bottom Line*. A expectativa de que as empresas devem contribuir de forma progressiva com a sustentabilidade surge do reconhecimento de que os negócios precisam de mercados estáveis, e devem possuir habilidades tecnológicas, financeiras e de gerenciamento necessárias para possibilitar essa transição de desenvolvimento sustentável.

“O desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”. Essa foi a definição de desenvolvimento sustentável apresentada no relatório “Nosso futuro Comum”, publicado em 1987, que resultou do trabalho conjunto de representantes de 21 governos, líderes empresariais e

representantes da sociedade (ONU- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1983).

(...)deve enfatizar as contribuições da atividade de projeto para cada um dos cinco aspectos: sustentabilidade ambiental local; desenvolvimento das condições de trabalho e a geração líquida de empregos; distribuição de renda; capacitação e desenvolvimento tecnológico; e integração regional e articulação com outros setores. É importante dar ênfase às contribuições que podem ser, de fato, atribuídas à implementação da atividade de projeto, separando de forma clara dos outros possíveis benefícios advindos de outras atividades das empresas proponentes do projeto. Vale a pena observar que as reduções de emissões de gases de efeito estufa não se configuram como contribuição à sustentabilidade ambiental local, mas global (Ministério de Ciência e Tecnologia – Manual Para Submissão de Atividades de Projetos no Âmbito do MDL. 2008, p. 18)

Só existe uma maneira de alcançar este patamar: Confiança - a confiança de que a meta será alcançada e que o planeta será habitável para as futuras gerações. Segundo Roberto Shinyashiki, confiança divide-se também em um tripé (SHINYASHIKI, 2009, p. 32.): - Auto confiança; Confiança nos outros e Confiança em Deus (Fé).

Auto confiança é a capacidade laborativa, a rentabilidade, a vontade de vencer economicamente. A confiança nos outros irá refletir-se no desenvolvimento social, em um empreendimento que gere trabalho justo e remunerado. A confiança em Deus (Fé), além abranger os anteriores, remete à introspecção e esta, à terra, ao meio ambiente, como parte de um universo maior e daí a vontade de protegê-lo.

Considerando o caso das certificações ambientais existentes, como série ISO 14000, selos verdes, “Eurepgap” entre outras, a simples aquisição de uma licença ambiental, não possibilita a certificação. Os suinocultores dificilmente irão pleitear uma certificação ISO 14000 para suas propriedades, pois esta foi delineada para condições industriais. Mas quando se fala em rastreabilidade na suinocultura, entrada em mercados externos mais exigentes, como o japonês e o europeu, consumidores cada vez mais sensibilizados com as condições ambientais, o sistema de gestão será imprescindível, sendo a licença parte integrante deste (SEGANFREDO, 2007, p. 12).

1.1.3 Critérios básicos para que um projeto seja elegível como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e os conseqüentes Créditos de Carbono

Para ser um projeto de MDL, é necessário atender a dois critérios principais: adicionalidade e contribuição ao Desenvolvimento Sustentável. Um projeto é adicional quando ele realmente contribui para a redução das emissões dos gases do efeito estufa. É traçada uma linha de base onde é determinado um cenário demonstrando o que aconteceria se a atividade do projeto não ocorresse. A partir da linha de base, pode-se determinar a adicionalidade, que é basicamente o detalhamento das atividades do projeto, demonstrando a redução das emissões.

A contribuição para o desenvolvimento sustentável de cada projeto é avaliada pela autoridade nacional designada, que no caso do Brasil, é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), presidida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia.

A Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima – CIMGC, doravante denominada Comissão Interministerial, é a Autoridade Nacional Designada – AND, ponto focal, no Brasil, do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto. Segundo o Acordo de Marraqueche, que estabeleceu as bases para o MDL, a AND deve atestar a participação voluntária dos participantes da atividade de projeto no âmbito do MDL, atestar que a atividade de projeto contribui para o desenvolvimento sustentável e, finalmente, emitir a carta de aprovação do projeto para os participantes nacionais de atividades de projeto MDL. Cabe também à AND informar ao Secretariado do MDL os parâmetros para a definição de florestas para o MDL no Brasil (Ministério de Ciência e Tecnologia – Manual Para Submissão de Atividades de Projetos no Âmbito do MDL. 2008, p. 7)

A quantificação de carbono é feita com base em cálculos, os quais demonstram a quantidade de dióxido de carbono a ser removida ou a quantidade de gases do efeito estufa que deixará de ser lançada na atmosfera com a efetivação de um projeto. Cada crédito de carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente. Essa medida internacional, foi criada com o objetivo de medir o potencial de aquecimento global (GWP - *Global Warming Potential*) de cada um dos seis gases causadores do efeito estufa. Por exemplo, o metano possui um GWP de 23, pois seu potencial causador do efeito estufa é 23 vezes mais poderoso que o CO₂.

São passíveis de negociação emissões de gases listados no anexo A do Protocolo de Kyoto: Dióxido de Carbono (CO₂); Metano (CH₄); Óxido Nitroso (N₂O);

Hidrofluorcarbonos (HFC_s); Perfluorcarbonos (PFC_s); sendo o dióxido de Carbono o mais abundante na natureza. O potencial poluente (GWP) de todas as outras substâncias, são referidas ao CO₂.

O dióxido de carbono é mais pesado que o ar, inodoro e asfixiante. O metano é um gás inodoro, mais leve que o ar, asfixiante, inflamável e explosivo.

O óxido nitroso, é um gás emitido durante o tratamento dos dejetos suínos líquidos, com grande influência nas alterações climáticas, especialmente na destruição da camada de ozônio e o seu potencial de aquecimento global é 310 vezes o potencial de aquecimento do CO₂ (IPCC, 1997).

A desnitrificação e nitrificação são processos biogênicos que produzem N₂O e NO. Estes Gases são importantes para a química da atmosfera. O N₂O contribui para o aquecimento global e para a destruição do ozônio na estratosfera. O NO afeta regionalmente a química do ozônio na troposfera. A desnitrificação é um processo heterotrófico pelo qual muitos gêneros de bactérias (principalmente Pseudomonas) utilizam o carbono orgânico como fonte redutora (Davidson, 1991).

O mercado de carbono funciona, embora não exclusivamente, sob as regras do protocolo de Kyoto, onde existem mecanismos de flexibilização para auxiliar na redução das emissões de gases do efeito estufa. Um desses mecanismos é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o qual é o único que integra os países em desenvolvimento. Os outros dois mecanismos estabelecidos pelo protocolo de Kyoto são: - Implementação conjunta, realizada entre países desenvolvidos, podendo envolver economias em transição; - Mercado de Emissões, somente entre países desenvolvidos, onde um país que tenha reduzido suas emissões em níveis abaixo da meta, pode vender essa cota para outro país, sendo os dois integrantes do Anexo 1 da convenção.

Os projetos de MDL, após comprovada e certificada a redução das emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE_s), culminam com a emissão de Certificados de Emissão Reduzida (CER_s) pelo conselho executivo do MDL da Organização das Nações Unidas, negociáveis no mercado internacional.

Esse mercado funciona através da comercialização de certificados de emissões de gases do efeito estufa em bolsas, fundos ou através de *brokers*, onde os países desenvolvidos, que tem de cumprir compromissos de redução da emissão de gases, podem comprar créditos derivados dos mecanismos de flexibilização. Esse processo de compra e venda de créditos se dá a partir de projetos, que podem

ser ligados a reflorestamentos, ao desenvolvimento de energias alternativas, eficiência energética, controle de emissões, e outros (www.carbonobrasil.com/faq.htm).

A metodologia para a estimativa da redução de emissão de carbono, em tonelada equivalente de dióxido de carbono, está fundamentada na linha de base para sistemas de manejo de dejetos, referendado como AM0006 “Redução de emissão de gases de efeito estufa para sistemas de manejo de dejetos”, dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, instituído pelo protocolo de Kyoto.

Seguindo os conceitos descritos na metodologia, as emissões consideradas nesta análise, incluem a emissão de metano em lagoas anaeróbicas abertas, fugas de CH₄ devido às perdas no biodigestor e emissões de N₂O (Óxido Nitroso), através das linhas de base e pelos cenários como verificado na Figura 1.

Nessa figura, observa-se o que acontece em uma lagoa de tratamento, sem biodigestor, sem lona plástica (contato direto com a terra), emanando metano, dióxido de carbono e óxido nitroso. Verifica-se visualmente a formação dos gases anteriormente citados, através das bolhas na superfície.

A partir desse cenário, dessa linha base, é que poderá ser criado a fronteira do sistema proposto, para ser incluído como um MDL. Existe também o dióxido de carbono, emanado naturalmente da decomposição anaeróbica e transformado a partir da queima do metano, no queimador, porém não representa qualquer diferença em volumes de emissão, entre os dois cenários, pois não existem possíveis transformações adicionais pela queima desse componente, ou seja, o percentual de dióxido de carbono contido no biogás e emanado em lagoa aberta, também passa pelo queimador e é lançado à atmosfera.



Figura 1 – Bioesterqueira de criação suína – Interior do município de Santa Rosa.

Fonte: Arquivo do autor.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é fazer uma análise comparativa, através do balanço energético e rentabilidade dos biodigestores de suinocultura, entre o investimento em um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, ou o investimento no aproveitamento do biogás para uso da suinocultura.

1.2.2 Objetivos Específicos

-Fazer a medição do biogás em períodos específicos, realizar a análise matemática dos valores lidos, confrontar com os métodos de cálculo atualmente existentes em diversas bibliografias.

- Determinar outras possibilidades de aproveitamento do biogás, além da sua queima, desde que minimize a agressão ao meio ambiente.

1.3 Delimitação da área geográfica – Contextualização

Embora seja um estudo de caso, pois toda a coleta de dados de campo foi centralizada em uma propriedade particular, situada no município de Santa Rosa/RS, o trabalho pode ser enquadrado como uma pesquisa diagnóstica, que descreve uma situação tal qual ela se apresenta. O presente trabalho também se enquadra como uma pesquisa desenvolvimentista transversal, pois pode perfeitamente ser aplicado a outros grupos que possuam as mesmas características.

Essa propriedade, denominada Granja Ipê, possui cerca de 7.000 animais, entre matrizes, leitões e suínos prontos para o abate (suinocultura de Ciclo Completo – como também citado em **2.1**). Não é integrada, ou seja, os proprietários não possuem acordo de exclusividade de venda dos animais a nenhuma indústria frigorífica.

Nela existem dois biodigestores modelo canadense, como descrito em **2.2**, equipamentos de medição, monitoramento e queimador do gás metano, também chamado de *flare*, foi instalado pela Empresa Investidora em Créditos de Carbono, no ano de 2005 e em janeiro de 2008 os proprietários da granja já começaram a receber os valores do repasse. Pelo contrato firmado, a empresa anteriormente mencionada, proprietária de todos equipamentos, responsável pela instalação e manutenção, retém 90% do valor e os proprietários da suinocultura, os 10% complementares. Esse tipo de divisão, não é regra geral, depende do contrato de cada empresa.

Como referência aproximada, em 2008, um Crédito de Carbono equivalia à uma média 14 Euros, mas oscilava entre 10 e 18, isto para o MDL aprovado da Granja Ipê. Cada Crédito de Carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono, ou seja, uma tonelada de biogás que não foi jogada à atmosfera, como já relatado anteriormente.

Com relação ao meio ambiente, a granja objeto de estudo, também se encontra em posição de vanguarda com relação à outras suinoculturas da região, de porte semelhante ou menores, mas que não possuem os biodigestores implantados.

A eliminação de odores também é perceptível. No empreendimento em questão, os odores são provenientes apenas da criação de suínos, pois junto aos tanques de depósito do biofertilizante, após sair dos biodigestores, praticamente nenhum odor é percebido. É uma propriedade que tende à auto-suficiência, pois o biofertilizante é usado nas lavouras da mesma. Essas lavouras são: soja, canola, milho e trigo e, com exceção da última, as anteriores são usadas para a produção de ração animal que serão utilizadas pela mesma propriedade, na alimentação dos suínos, mas seguindo uma dieta balanceada, de acordo com os critérios das empresas exportadoras de carcaças suínas. Como a decomposição é completamente anaeróbica dentro dos biodigestores, esse processo, é acelerado, de maneira que o Tempo de Retenção Hidráulica é de apenas 28 dias (Fonte: Granja Ipê; DUARTE, G.), após isso, o biofertilizante já está pronto para ser utilizado nas culturas, embora mesmo assim, permanecem por algum tempo em lagoas abertas ou lagoas de armazenamento. O biodigestor utilizado é composto de duas unidades ou dois balões, ligados em série, o biofertilizante circula nos dois, antes de estar pronto para ser utilizado como adubo orgânico.

A energia elétrica provém da concessionária de distribuição local e a possibilidade de geração na própria suinocultura, será abordada nesse trabalho.

A propriedade necessita de calor para aquecimento dos pequenos animais, na maternidade e creche, principalmente no inverno, utilizando para isso lâmpadas incandescentes.

A legislação obriga o suinocultor a tratar e dar finalidade adequada aos dejetos suínos, porém nada existe referente ao tratamento dos gases provenientes da decomposição dos dejetos, logo qualquer processo que venha a mitigar o efeito estufa pela não emissão destes gases à atmosfera; é uma adicionalidade e será possível a construção de uma linha de base para encaminhar um processo de aprovação de MDL. É o que foi realizado na Granja Ipê.

Para uma melhor compreensão da Linha de Base utilizada pela Empresa Investidora nos Créditos de Carbonos, observa-se as Figuras 2 e 3, e para melhor compreensão de todo o sistema produtivo da granja, observa-se a Figura 4.

O gráfico, referente à Figura 2, foi elaborado para uma maior compreensão do benefício para o meio ambiente quando o gás metano é reduzido ao gás dióxido de carbono. A área hachurada em verde, representa o metano e em preto, o dióxido de carbono. Quanto maior a área representada no gráfico, maior o malefício ao meio

ambiente. Com a queima do metano e sua transformação em dióxido de carbono, reduz-se toda área hachurada em verde para a área hachurada em preto, portanto a agressão ao meio ambiente será menor, pois o dióxido de carbono é 21 vezes menos poluente que o metano. A representação do óxido Nitroso (em vermelho) foi colocada no gráfico, para elucidar o quanto ele é potencialmente mais agressivo ao meio ambiente (310 vezes superior ao dióxido de carbono), porém a sua ocorrência é muito pequena relativamente aos outros dois gases, segundo a bibliografia existente.

Nas Figuras 5, 6, 7 e 8, aspectos dos revestimentos em PVC (balões) que retém o biogás, aspecto do biofertilizante e do queimador (*flare*).

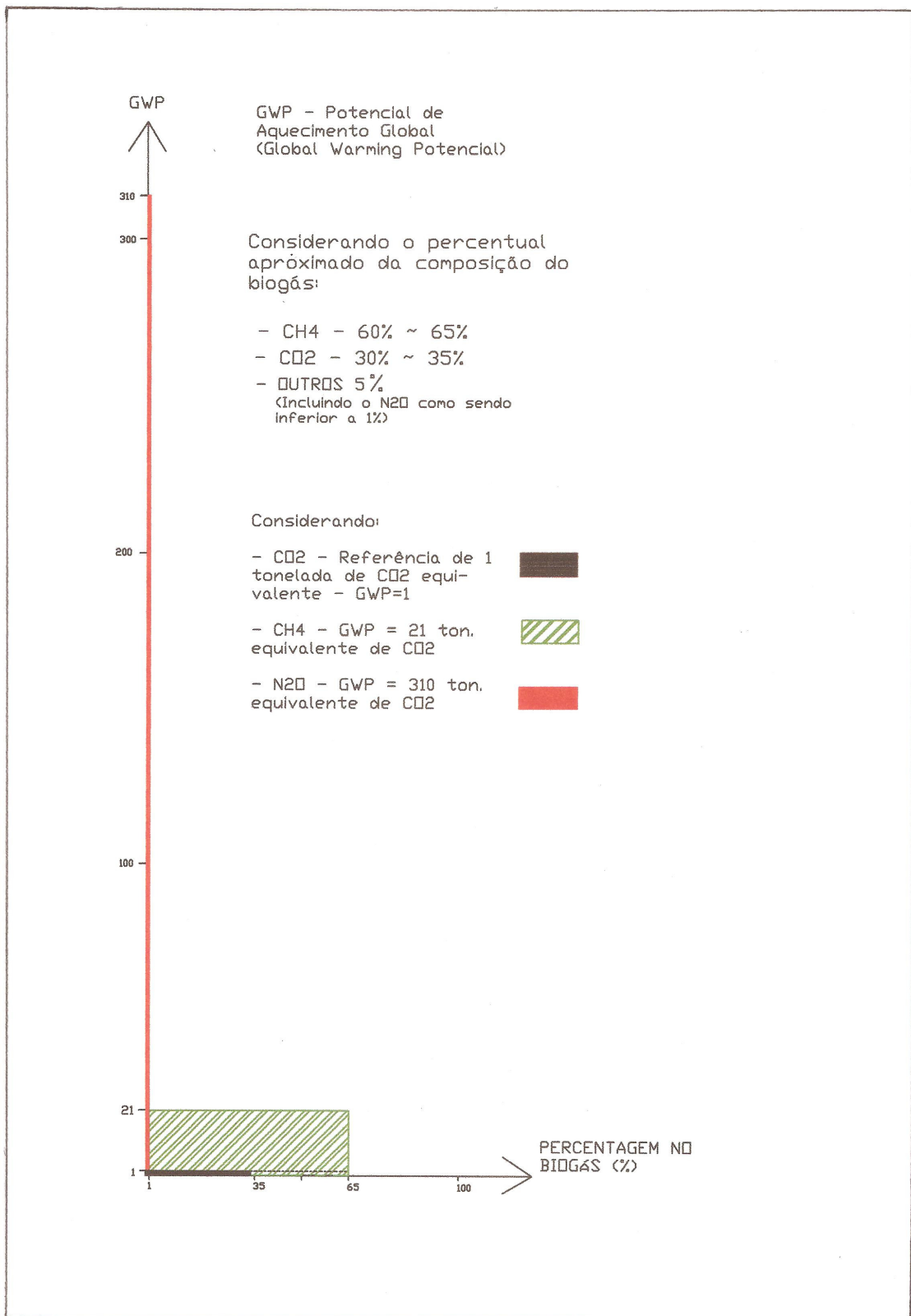


Figura 2 – Linha de Base
 Fonte: Elaborado pelo autor

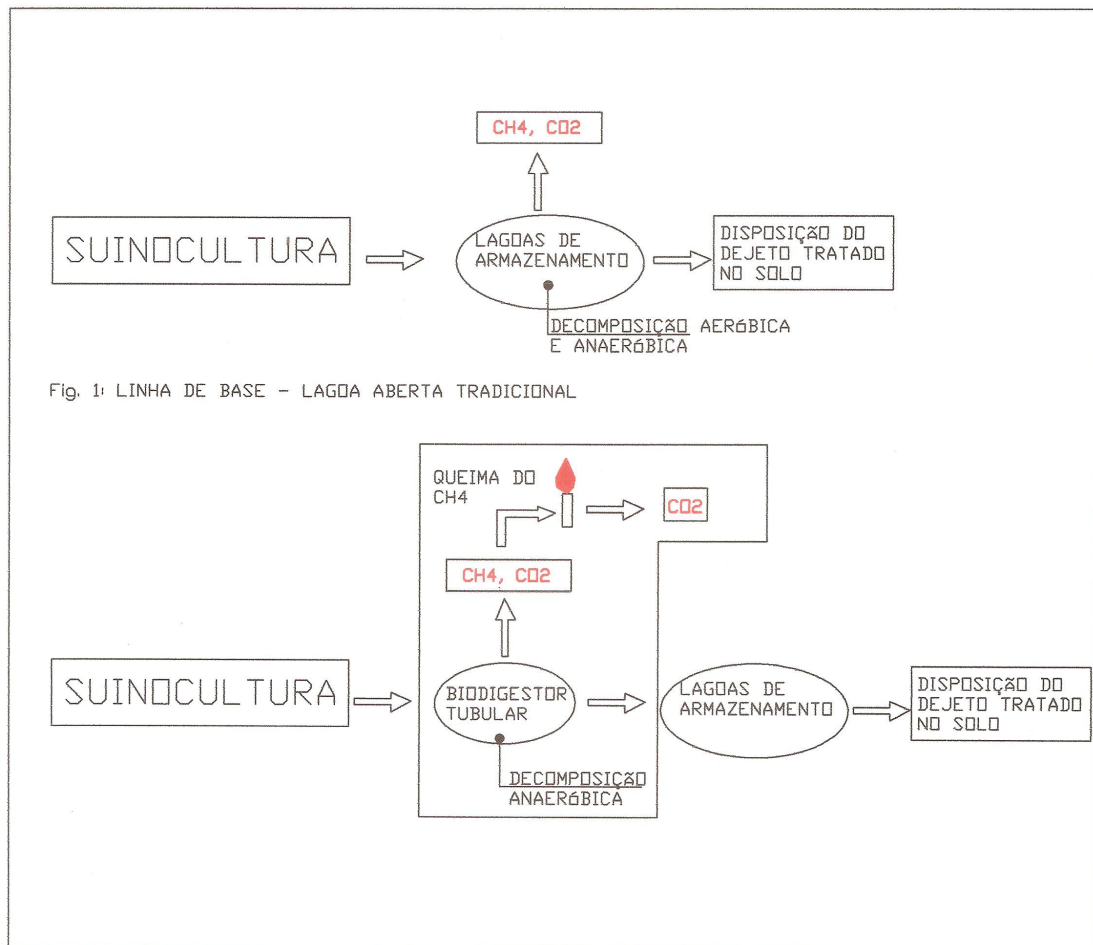


Figura 3 – Limites da fronteira do sistema proposto

Fonte: Elaborado pelo autor

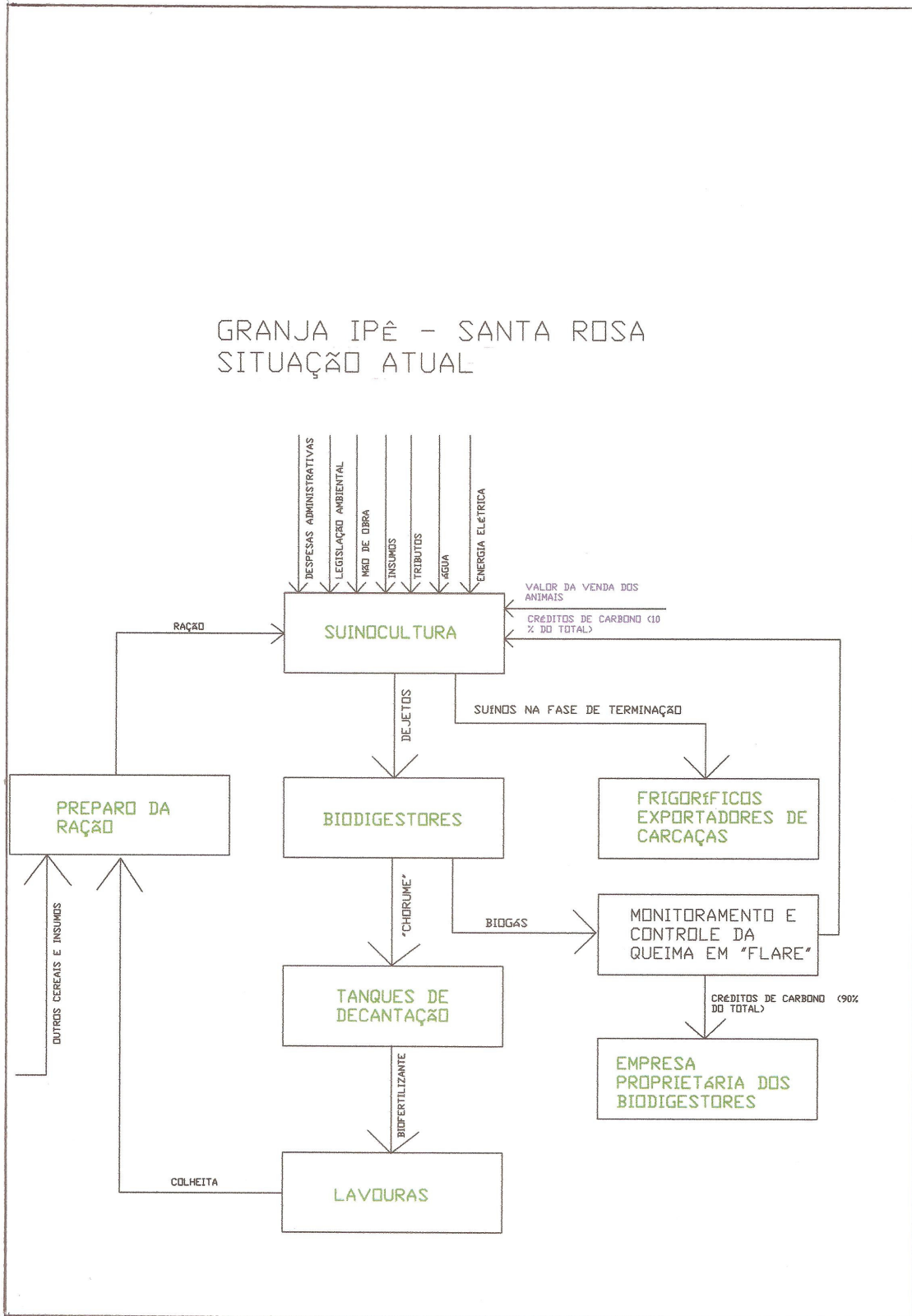


Figura 4 – Fluxograma da Granja Ipê
 Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 5 – Aspecto geral das estruturas dos reservatórios de biogás da Granja Ipê – ao fundo.

Fonte: Arquivo do autor.



Figura 6 – Equipamentos para medição do biogás - Em primeiro plano.

Fonte: Arquivo do autor.



Figura 7 – Aspecto do biofertilizante, após o tempo de retenção no biodigestor
Fonte: Arquivo do autor.



Figura 8 – Queimador do biogás (*flare*)
Fonte: Arquivo do autor.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Riscos ambientais e manejo

O risco ambiental do manejo dos dejetos suínos é cumulativo. O ambiente possui uma capacidade/suporte natural que pode absorver um certo nível de poluentes orgânicos e inorgânicos. Se esse nível for excedido poderá resultar na deterioração da qualidade das águas e das plantas e em distúrbios químicos, físicos e biológicos do solo (SEGANFREDO; GIROTTI, 2004, p. 17).

Uma propriedade de criação de suínos pode enquadrar-se basicamente em três tipos:

- a) Unidade de Produção de Leitões (UPL).
- b) Unidade de terminação (UT).
- c) Ciclo Completo (CC).

Um suinocultor pode ser independente, onde comercializa seus animais livremente, de acordo com a melhor proposta comercial. Normalmente se enquadra no chamado CC.

Também pode ser integrado à algum frigorífico exportador, onde o criador, com suas matrizes, produz para a Empresa Integradora, o pequeno suíno para criação, permanecendo até atingir o peso (massa) aproximado de 25 kg (UPL).

Outra opção para o integrado, é receber este animal já com seus 25 kg (aproximado) para a criação até a última fase (UT), sendo estes comercializados obrigatoriamente com o integrador. (GRANJA IPÊ)

Soma-se a isto, a suinocultura especializada na criação de matrizes e seu melhoramento genético, mas com ocorrência menor.

Uma suinocultura em implantação ou já em funcionamento, deve atender legislações próprias relativas à capacidade produtiva em correspondência a área agricultável ao redor.

A concepção geral orienta que os nutrientes presentes nos dejetos devem ser, preferencialmente, reciclados através do seu uso agrícola, levando a três tipos básicos de situações para o manejo de dejetos suínos (EMATER/RS, 2007, p. 45):

1) Granja que possui área agrícola suficiente para reciclar os dejetos na propriedade.

2) Granja que não possui área própria suficiente para reciclar os dejetos, mas possui áreas próximas (vizinhos) em condições e interesse de aproveitá-lo.

3) A granja com produção de dejetos superior à capacidade interna de reciclagem e sem condições de exportar o excedente para áreas agrícolas vizinhas.

No aspecto ambiental, a situação que mais preocupa, independente do aspecto tecnológico para aproveitamento do biogás, é a terceira, onde obrigatoriamente se deverá pensar em formas de tratamento dos dejetos excedentes, sendo esta a maior preocupação do suinocultor.

As áreas devem ser de uso rural e em conformidade com as diretrizes de zoneamento do município. Todos os estabelecimentos devem ter sistemas de retenção e tratamento de resíduos, esterqueiras com capacidade compatível com o número de animais.

Salienta-se isto para justificar a descrição resumida apresentada em 2.2, das opções para tratamento dos dejetos. Será tomada como base a legislação vigente no Estado do Rio Grande do Sul.

2.2 Formação do biogás

A formação do biogás, segundo Bavaresco, A.S. (Florianópolis,1988) compreende três fases distintas:

1^a fase hidrólise: nesta fase as bactérias liberam enzimas extra celulares que são responsáveis por quebrar as moléculas maiores e transformá-las em moléculas menores.

2^a fase ácida: as bactérias produtoras de ácidos transformam moléculas de proteína, gordura e carboidratos em ácidos orgânicos. Estas bactérias podem ser anaeróbicas ou facultativas (aquelas que podem trabalhar tanto na presença como na ausência de oxigênio).

3^a fase metanogênica: as bactérias metanogênicas atuam sobre os ácidos orgânicos simples, transformando-os em metano. Nesta fase, as bactérias são anaeróbicas.

A biodigestão anaeróbica é um processo de decomposição da matéria orgânica por microorganismos vivos (bactérias), em meio onde há ausência de oxigênio. Sobre isto, FARIA descreve:

Entretanto a biodigestão anaeróbica é bastante exigente e necessita do controle de alguns fatores:

- 1) Temperatura: As bactérias são bastante sensíveis às variações bruscas de temperatura (variações de 3° C já são suficientes para provocar a morte da maioria das bactérias digestoras). Este é um dos motivos pelos quais os biodigestores são enterrados. A terra ajuda a controlar a temperatura. Estima-se uma temperatura ideal entre 30 e 35° C
- 2) Tipo de resíduos: Manter o mesmo tipo para não alterar a relação carbono/nitrogênio, que deve ficar em torno de 1:30 ou 1:20.
- 3) Tempo de retenção: Cerca de 30 dias.
- 4) PH: Deve ser controlado, não pode ser muito ácido, caso contrário ocorrerá o desaparecimento das bactérias metanogênicas (que transformam os ácidos orgânicos em biogás).
- 5) Quantidade de água: O biodigestor funciona por carga hidráulica e, portanto, necessita de certa quantidade de água para funcionar. Por isso, matérias orgânicas com baixa umidade necessitam de um acréscimo de água (de acordo com o tipo da matéria) para que atinja uma relação propícia. O esterco bovino, por exemplo, apresenta em média 85% de água (se for imediatamente recolhido) e necessita de 100% do seu volume de água (proporção 1:1) (<http://www.infoescola.com/energa - 11/5/2010> 22:59).

Na suinocultura, não existe esta condição, pois é utilizado muita água na limpeza das baias, a qual vem à se somar aos dejetos sólidos.

Algumas das vantagens da digestão anaeróbica são: alta redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), produção de biofertilizante, pequena produção de lodo, baixos custos operacionais e de investimento, e possibilidades de sistemas descentralizados de tratamento de resíduos (OLIVEIRA, 2004).

A partir do domínio do processo, foi criado o biodigestor, para facilitar e acelerar a fermentação da matéria orgânica e o Biogás. Funciona com mistura de água, esterco animal e também fibras vegetais, como capim, cascas, etc.

Existem alguns tipos de biodigestores, sendo os mais comuns o indiano, o chinês e o canadense:

O biodigestor chinês, de volume constante, é construído em alvenaria, modelo de peça única. Pode ser enterrado para ocupar menos espaço. O custo é mais baixo em relação aos outros, pois a cúpula é feita em alvenaria.

No biodigestor indiano, de pressão constante, que é sempre enterrado, a cúpula é móvel, geralmente feita de ferro ou fibra. Tem a forma de poço com a função de um tanque digestor e possui uma campânula flutuante para o

fornecimento do biogás a uma pressão constante. Movimenta-se para baixo ou para cima, de acordo com a produção do biogás. Neste tipo de biodigestor o processo de fermentação ocorre mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo, que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Como não são objetos de estudo deste trabalho, não é realizado aqui um aprofundamento da descrição dos mesmos, apenas citações.

O biodigestor modelo canadense, objeto deste trabalho, que também pode ser entendido como uma lagoa anaeróbica coberta, é um modelo tipo horizontal, apresentando uma largura maior que a profundidade, possuindo assim uma maior área de exposição ao sol, o que possibilita grande produção de biogás, evitando o entupimento. Durante a produção de gás, a cúpula do biodigestor infla porque é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada. O maior empecilho deste modelo, é o alto custo da cúpula (CASTANHO; ARRUDA, 2008).

É comum a construção do fundo do mesmo, em forma de calhas, em alvenaria.

Em outra classificação, existem dois tipos de biodigestores: contínuo e descontínuo.

No tipo contínuo, como diz a própria definição, o fornecimento do substrato é feito de maneira contínua, assim como sua saída. Neste, a variação da temperatura é um fator importante. Normalmente são todos enterrados.

No tipo descontínuo ou de batelada, há duas partes distintas: a câmara de fermentação e o gasômetro, onde a primeira, é totalmente carregada periodicamente.

2.3 Conceito de biogás

Mistura gasosa, combustível resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica, composta principalmente por, dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), além de outros gases de menores proporções. É de baixa densidade, mais leve que o ar.

É inflamável e como regra geral, inodoro, porém pode possuir odor desagradável devido à formação do gás ácido sulfídrico (H_2S), com características de cheiro de “ovo podre”.

A constituição do biogás também pode ser descrita segundo a Tabela 2.

Tabela 2 – Constituição do biogás

Gás	Concentração no biogás (%)
Metano (CH ₄)	50 ~ 80
Dióxido de Carbono (CO ₂)	20 ~ 40
Hidrogênio (H ₂)	1 ~ 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 ~ 3
Gás Sulfídrico e outros (H ₂ S, CO, NH ₃)	1 ~ 5

Fonte: Coldebella (2006) apud La Farge (1979)

2.4 Utilização do biogás

Na busca por fontes de energia elétrica alternativas ou renováveis, o biogás é uma opção. É fonte renovável pois não utiliza combustíveis fósseis e sua produção é contínua em uma suinocultura como no empreendimento em estudo. É alternativa pois foge do padrão de hidroelétricas e termoelétricas do Sistema Elétrico Brasileiro. Portanto, a sua produção é contínua no tempo, independente do aproveitamento para gerar energia elétrica ou para ser queimado, transformando quase a totalidade do metano em dióxido de carbono.

O biogás pode ser utilizado, no presente estudo, na suinocultura de referência:

- Durante o inverno, no aquecimento interno da suinocultura, junto às matrizes e pequenos animais (creche), substituindo o GLP, resistências de aquecimento ou lâmpadas incandescentes, embora esta possibilidade praticamente não é empregada, pois necessitaria de queimadores específicos (*flares*), pois o gás metano é corrosivo para os queimadores disponíveis no comércio.

- Substituindo o gás de cozinha (GLP), não sendo necessário purificá-lo, desde que existam válvulas e equipamentos de saída ajustados para ele, mais resistentes à corrosão.

- Geração de energia elétrica, através de geradores acionados por motores ciclo Otto, já disponíveis no mercado ou até mesmo turbinas.

- Para lucrar com os Créditos de Carbono, agredindo menos o meio ambiente, desde que se tenha um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aprovado e implantado.

2.5 Equivalências energéticas do biogás

O poder calorífico do biogás, que varia de 5000 a 7000 kcal/m³ é devido à percentagem do metano. É devido à maior ou menor pureza. O biogás altamente purificado pode alcançar 12000 kcal/m³. (COLDEBELLA apud SGANZERLA, 1983).

Um metro cúbico de biogás equivale à:

- 0,613 litro de gasolina
- 0,579 litro de querosene
- 0,553 litro de Diesel
- 0,454 litro de gás de cozinha
- 1, 536 quilograma de lenha
- 0,790 litro de álcool hidratado
- 1,428 KW de eletricidade.

A utilização do biogás como fonte de energia se deve fundamentalmente ao metano, que quando puro e em condições normais de pressão (1atm) e temperatura (0^o C), possui poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³. O biogás com um teor de metano entre 50 e 80% terá um PCI entre 4,95 e 7,92 kWh/m³ (AGRENER, 2008).

Em termos práticos, pode-se considerar 1m³ equivalente à 1,8 kW de potência, considerando 65% de gás metano na mistura. Esta é a equivalência que empresas fabricantes de grupos motores/geradores empregam (FOCKING; BRANCO MOTORES, 2009) (1,8 kW por m³).

Nota-se a diferença entre os dados: 4,95 e 7,92 kWh/m³ da citação ao alto e 1,8 e 1,9 kW por m³ fornecidos pelos fabricantes, acima. Entende-se esta diferença devido ao fato que as empresas fabricantes tomam a medida de potência elétrica produzida, na saída do grupo, e a literatura do boletim informativo AGRENER, a potência na entrada do Grupo Motor/Gerador. Usando as relações matemáticas apropriadas, chega-se a diferenças entre 23 e 36%. Compreende-se este percentual

como sendo o baixo rendimento de um motor ciclo Otto, associado também com o rendimento do alternador.

2.6 Quantidade de dejetos para formar 1 m³ de biogás

A produção do biogás, no âmbito do presente trabalho, fundamenta-se na decomposição da Matéria Orgânica (MO) proveniente dos dejetos suínos tendo por destino um biodigestor, onde a mesma irá produzir CO₂ e CH₄. Destes, o gás de interesse nesta pesquisa é o metano (CH₄).

Para produzir 1m³ de gás metano, é necessário, por exemplo (MESQUITA, 2009):

- 25 Kg de esterco de gado ou
- 5 Kg de esterco de galinha ou
- 25 Kg de plantas ou cascas de cereais ou
- 20 Kg de lixo (aproximadamente) ou
- 12 Kg de esterco de suínos.

Deve-se considerar que os dejetos suínos na realidade, compõe-se de esterco mais a água utilizada no tratamento e bebedouros.

Em uma suinocultura, existe uma relação de produção de biogás em função das etapas de criação de suínos, que resumidamente está representada na Tabela 3.

Tabela 3 – Produção de biogás em função da criação

Fase da criação diária (m³/animal/dia)	Produção
Porca reprodutora em ciclo fechado	0,866
Porca produtora em criação de leitões	0,933
Porco em exploração de engorda	0,799

Fonte: www.agrener.com.br.

2.7 Estimativas de produção de biogás - métodos de cálculo

Na literatura existem alguns métodos de cálculo estimativo da produção do biogás, cujos resultados são um tanto diversos.

A produção de biogás também pode ser estimada em função dos Sólidos Totais presentes nos dejetos.

Sólidos Totais ou Matéria Seca estão presentes nos dejetos, onde 75% destes são os Sólidos Voláteis, substratos para as bactérias metanogênicas, que produzem o biogás.

A produção de biogás em biodigestores Modelo Canadense, pode ser estimada em função da alimentação diária de Sólidos Voláteis, pois para o caso da produção de suínos, a produção de biogás é de 0,45 m³/ Kg de S.V., para temperaturas variando entre 30 e 35^o C (La FARGE, 1995).

Também pode-se estimar a produção de metano (CH₄) em função da Demanda Química do Oxigênio (D.Q.O.).

A Demanda Química do Oxigênio (DQO) é utilizada para estimar a produção teórica de metano, Potencial Bioquímico do Metano - Bmp em processos anaeróbicos. Segundo CEE (2000) a produção teórica do metano assume sempre um valor fixo, expresso em função da DQO, onde 1 Kg de DQO convertido corresponde a 0,35 m³ de metano (CH₄). A conversão do chorume em biogás leva em consideração a biodegradabilidade da matéria orgânica (75%), a eficiência de conversão no biodigestor (85%) e a fração de matéria orgânica utilizada pelas bactérias no seu próprio crescimento (5%) (CCE, 2000).

2.8 Combustão – queima de hidrocarbonetos

No queimador utilizado na presente pesquisa, ocorre a Combustão Incompleta, pois não há o suprimento de oxigênio adequado para que a mesma ocorra de forma completa. O reagente queima em oxigênio, mas produz inúmeros produtos. Quando um hidrocarboneto queima em oxigênio, a reação gerará dióxido de carbono, monóxido de carbono, água e vários outros compostos, como óxidos de nitrogênio. Também há a liberação de átomos de carbono sob a forma de fuligem. (Fonte: DUARTE, G.).

Em síntese, do conhecimento geral da literatura da química orgânica, a equação química da combustão ideal de um hidrocarboneto é sempre a seguinte:

Combustível + Oxigênio = Dióxido de carbono + Água + Calor

A combustão é sempre uma reação de uma substância (combustível) com o oxigênio (O₂) (comburente) presente no ar, com liberação de energia.

Para o caso específico do gás metano, a combustão completa será:

$\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \Delta\text{H} = - 802 \text{ kJ/mol}$ (energia liberada).

2.9 Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) – Critérios

Um projeto precisa atender a dois critérios principais: Adicionalidade e Desenvolvimento Sustentável. Um projeto é adicional quando ele realmente contribui para a redução das emissões dos gases do efeito estufa. É traçada uma linha de base (*Baseline*) onde é determinado um cenário demonstrando o que aconteceria se a atividade do projeto não ocorresse. A partir da linha de base, pode-se determinar a adicionalidade, que é basicamente o detalhamento das atividades do projeto, demonstrando a redução das emissões. A contribuição para o desenvolvimento sustentável de cada projeto é avaliada pela Autoridade Nacional Designada, que no caso do Brasil, é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), presidida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, como já relatado em Introdução.

Um Projeto de MDL irá sempre observar a adicionalidade voluntária na Linha de Base. Diz-se voluntária, pois não pode haver legislação que torne obrigatória qualquer atividade acima da Linha de Base.

Sob o ângulo da redução de emissões, em projeto de MDL, a adicionalidade dos benefícios está diretamente relacionada com a linha de base. Por exemplo: sem um projeto de MDL (substituição de combustível fóssil por renovável), a emissão de uma determinada unidade industrial seria .X.. Nesse caso, .X. é a linha de base. Com o projeto, a emissão passaria a ser .Y.. A diferença .X-Y. se constitui na adicionalidade.

Não se deve esquecer, entretanto, que o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) está a serviço de uma iniciativa maior de evitar as mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável. Desse modo, a adicionalidade de um projeto agrega também pontos positivos quando proporciona efeitos benéficos ao meio ambiente e à sociedade em termos de qualidade de vida. Dadas as necessidades brasileiras, por exemplo, a capacidade de geração de empregos de um projeto geraria adicionalidades positivas à sua execução (CARDOSO, P.H., 2008, p. 18).

A quantificação de carbono é feita com base em cálculos, os quais demonstram a quantidade de dióxido de carbono a ser removida ou a quantidade de

gases do efeito estufa que deixará de ser lançada na atmosfera com a efetivação de um projeto. Cada crédito de carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente. Essa medida internacional, foi criada com o objetivo de medir o potencial de aquecimento global (GWP - Global Warming Potencial) de cada um dos seis gases causadores do efeito estufa. Por exemplo, o metano possui um GWP de 23, pois seu potencial causador do efeito estufa é 23 vezes mais poderoso que o CO₂. (N.A. - Segundo alguns autores, este valor pode oscilar entre 21 e 23, devido a outros fatores, não pertinentes ao presente trabalho) (MESQUITA, 2009).

O relatório de Validação do MDL da suinocultura objeto deste estudo, encontra-se em anexo sob o n. 711657 e abrange suinoculturas do Paraná e Rio Grande do Sul. Possui Título de validação do projeto de mitigação (ANEXO A). Esta estabelecido de acordo com todos os requisitos estabelecidos pelo Protocolo de Kyoto, os acordos de Marrakesh e as diretrizes pertinentes do Comitê Executivo do M.D.L.

As normas encontram-se disponíveis em www.vvmanual.info. Outra linha de base seria a geração pura e simples de energia elétrica, sem o sistema de queimador (*flare*), onde, em outro processo, pleitear-se-ia os Créditos de Carbono em função da energia elétrica gerada, economizando aquela proveniente da rede.

2.10 Outorga da água

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um instrumento que tem como objetivo assegurar o controle qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água e compete à Agência Nacional de Águas (ANA), outorgar, por meio de autorização, o direito do uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da união, bem como emitir outorga preventiva.

O outorgante é o poder público (União ou Estados).

Existem várias situações que dependem da outorga, entre as quais, a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo. Dependendo da atividade produtiva, existem diversas faixas para cobrança, mas para o consumo, são R\$ 0,02/por metro cúbico de água consumida (www.ana.gov.br/gestãoRecHídricos/Outorga_13/12/2009).

A Lei 9433/97, que abrange a política nacional de recursos hídricos, no seu Capítulo IV, preconiza como instrumentos a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos (inciso III) e a cobrança pelo uso de recursos hídricos (inciso IV).

No Artigo 12 desta mesma Lei, estão relacionados os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga da água:

- I – derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- II – extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo seletivo;
- III – lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de diluição, transporte ou disposição final;
- IV – aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- V – outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

2.11 Consumo de óleo Diesel em tratores

As empresas fabricantes de tratores são obrigadas a fazer um ensaio de cada modelo lançado no mercado, obtendo-se desta forma as curvas de torque, potência e consumo específico de combustível. Estes ensaios são normatizados para que possa se ter um padrão para todos os modelo.

Pode-se citar as seguintes normas para a realização destes ensaios:

- Código OCDE: Código 2 - Ensaio de performance de tratores agrícolas e florestais.
- NBR ISO 789: Tratores Agrícolas - Procedimentos de Ensaio (Correspondência: ASAE S209.5, SAE J708, UNE 68).
- NBR ISO 1585
- NBR ISO 2288

As estações de ensaio seguem estas Normas (principalmente o Código 2 da OECD), pois desta norma derivam todas as demais.

A altura de bombeamento (altura manométrica), não vai interferir muito no consumo, pois deve-se que manter neste tipo de equipamento (bomba + trator) uma rotação constante de trabalho, o que não varia na aceleração mantendo desta forma o consumo praticamente constante dentro desta faixa. Se por algum motivo ocorrer alguma sobrecarga momentânea, o motor entra na faixa de reserva de torque, aumentando momentaneamente o consumo (atuação do governador da bomba injetora), mas na média geral esse valor se torna praticamente desprezível ao longo de uma jornada de trabalho. (Fonte: Russini, A.).

2.12 Ativos e passivos ambientais

Todo equipamento permanente e já existente anterior à implantação do biodigestor, é considerado um patrimônio imobilizado. Também, todo equipamento construído para o biodigestor, mas que não entra no balanço energético do mesmo, também é considerado como passivo imobilizado da granja, no que se refere às entradas e saídas de energia.

Esta fundamentação inicial é necessária para a compreensão posterior, no balanço energético, onde são apontadas diversas estruturas, que contribuem indiretamente com a entrada e saída de dejetos nos biodigestores, mas não são contabilizadas pois não representam energias, mas valores monetários e equipamentos permanentes.

Toda atividade de suinocultura poderá gerar um passivo ambiental, principalmente se não possuir ativos destinados à mitigar toda a ação poluente ou, de outra forma, um ativo permanente na produção poderá gerar passivos ambientais, mesmo após o encerramento das atividades.

A aquisição de bens classificáveis no Ativo Permanente também poderá originar um Passivo Ambiental, em contrapartida a um ativo ambiental. Esse fato ocorrerá quando o processo de proteção, preservação e recuperação do meio ambiente exigir a compra de equipamentos e instalações que serão utilizadas por períodos superiores ao exercício em curso. Os referidos equipamentos e instalações podem ser utilizados na recuperação propriamente dita da área afetada, como também o monitoramento pré e pós realização do trabalho (RIBEIRO, 2008).

3 METODOLOGIA APLICADA

3.1 Legislação Ambiental

Anteriormente ao desenvolvimento do trabalho, da sua estruturação e da realização das medidas em campo, se fez necessário por parte do pesquisador, estudar e tornar-se ciente da legislação ambiental vinculada à suinocultura. Após isto, foi possível a estruturação da presente pesquisa. Diversas bibliografias foram consultadas, constando no item Referências. Resumidamente, apontou-se aqui algumas informações importantes.

É proibido por lei, o lançamento de resíduos não tratados diretamente aos cursos d'água. O efluente final gerado, no caso de tratamento de resíduos, devem ser lançados em cursos d'água, desde que sejam atendidos os padrões de emissão fixados pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente) - Portaria 05/89 -. No caso de utilização dos resíduos na pastagem e agricultura, além da estabilização, estes devem ser tratados para reduzir os patógenos (agentes transmissores de doença).

Com a suinocultura, invariavelmente está associado um grande consumo de água. Propriedades que se utilizam de água de poços artesianos, devem solicitar à FEPAM a concessão da Outorga de direito do uso da água. Este instrumento de concessão ou licença de uso da água, também trata das águas superficiais e encontra-se no Decreto Estadual/RS n. 37.033/96.

Como documentos de referência, há uma série de leis, normas e resoluções, como anteriormente já citado. Existem legislações no âmbito federal, estadual e municipal. As mesmas não serão relatadas aqui, por não serem relevantes ao escopo do trabalho.

Será tomada como base a legislação vigente no Estado do Rio Grande do Sul

As esterqueiras e as bioesterqueiras são uma necessidade para o suinocultor, não é uma opção para prováveis investimentos, como a geração de energia elétrica, o aquecimento da maternidade no inverno, o uso do biofertilizante (também

denominado de “chorume”) como adubo orgânico. É uma forma de atender as exigibilidades da legislação ambiental pertinente.

Contatou-se da literatura, que os biodigestores, não são uma exigência da legislação ambiental, mas uma opção para a concentração do gás metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) e sua possível utilização prática ou queima, gerando ou não créditos de carbono.

É necessário, para melhor compreensão, um apanhado simplificado das definições dos modelos existentes de tratamento dos dejetos suínos:

Esterqueira, defini-se como sendo um depósito que tem por objetivo, captar o volume de dejetos líquidos produzidos num sistema de criação, durante um determinado período de tempo (normalmente 4 a 6 meses), para que ocorra a fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A carga de abastecimento é diária, permanecendo o material em fermentação até a retirada. É um sistema não contínuo, sem saída.

De forma análoga, a bioesterqueira, também recebe os dejetos suínos, mas com maior tempo para a decomposição anaeróbica. Primeiramente, numa câmara de fermentação (45 dias) e após, num depósito (120 dias no mínimo). Após isto, o material já decomposto é utilizado na fertilização de lavouras. É um processo contínuo, entra e sai dejetos, diretamente para as lavouras (EMATER/RS, 2003.).

No biodigestor, ocorre a decomposição anaeróbica dos dejetos suínos, onde após aproximadamente 28 dias, para o modelo implementado na Granja Ipê, a massa resultante estabilizada está pronta para irrigar as lavouras. Possui um gasômetro sobre os tanques, normalmente de lonas, PVC ou fibra. No biodigestor, existe a produção do biogás, através da digestão anaeróbica, transformando compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, como os gases anteriormente citados.

Como o volume interno do biodigestor é limitado pela cobertura, ali está confinado o biogás, sem deixar espaço para o oxigênio (o mesmo não existe no interior de biodigestor), portanto a decomposição é considerada anaeróbica, explicando em parte, as diferenças de tempos para a decomposição dos dejetos.

Também se explica as diferenças anteriormente citadas, dentro dos tanques, em função do que se queira estabilizar ou tratar, ou seja, o elemento do substrato ou resíduo que se está focando. Para a fase de estabilização do carbono, de 20 a 40 dias, nos modelos mais comuns

3.2 Obtenção de informações necessárias para a composição das cinco hipóteses presumidas pelo pesquisador para o tratamento de dejetos e destinação dos gases oriundos da decomposição

Durante o período compreendido entre janeiro de 2008 e fevereiro de 2010, foram realizadas aproximadamente 8 visitas técnicas ao Município de Santa Rosa, situado na Micro Região da Grande Santa Rosa, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e composta por 8 municípios circunvizinhos: Tuparendi, Tucunduva, Três de Maio, Giruá, Sen. Salgado Filho, Ubiretama, Cândido Godói e Santo Cristo, com características econômicas muito semelhantes. Em todos estes municípios, há uma grande predominância de culturas agrícolas, da bacia leiteira, da criação de suínos para a exportação, indústria frigorífica e, particularmente no município de Santa Rosa, a indústria metal mecânica. O município de Santa Rosa conta com uma população de 65.034 habitantes, distante 495 Km da capital – Porto Alegre, temperatura média anual de 16° C e altitude de 277 m acima do nível do mar (IBGE, 2007).

Foram visitadas e analisadas duas suinoculturas de diferentes características, tipo Ciclo Completo (CC), e Unidade de Terminação (UT), respectivamente. Uma delas foi escolhida como local para a presente pesquisa, sendo uma unidade tipo Ciclo Completo e está localizada na localidade de Rincão dos Rocha, afastada cerca de 10 Km do centro do município de Santa Rosa.

Estas informações foram obtidas através de:

- Revisão de literatura respectiva à legislação ambiental (como citado em **3.1**);
- Questionários e levantamentos de informações com os suinocultores;
- Levantamentos fotográficos;
- Visita a frigorífico exportador;
- Diversos contatos telefônicos e via WEB.

3.3 Cenários para utilização dos dejetos, biogás e mitigação aos danos causados ao efeito estufa e ao meio ambiente

Foram construídas cinco hipóteses possíveis, sobre as quais este trabalho de pesquisa atuou, sempre visando duas linhas: rentabilidade ao suinocultor e

mitigação dos danos causados ao meio ambiente pela atividade de suinocultura. As mesmas encontram-se sob a forma de fluxogramas, discriminadas como Panorama 1, Panorama 2, Panorama 3, Panorama 4, Panorama 5, a seguir. São as Figuras: 9, 10, 11, 12 e 13.

Uma delas, por dedução, o panorama 3, é a de melhor rentabilidade e/ou maior mitigação do Efeito Estufa e o Balanço Energético – um dos objetivos deste trabalho – será realizado sobre esta.

O motivo pelo qual o panorama 3 apresenta a melhor rentabilidade e/ou maior mitigação do efeito estufa, pode ser obtido por exclusão das outras opções:

- Panorama 5: não existe aproveitamento do biofertilizante, do biogás para gerar energia elétrica e do mesmo para lucrar com os Créditos de Carbono.
- Panorama 4: não existe aproveitamento do biogás para gerar energia elétrica e do mesmo para lucrar com os Créditos de Carbono.
- Panorama 2: não existe aproveitamento do biogás para gerar energia elétrica.
- Panorama 1: não existe aproveitamento do biogás para lucrar com Créditos de Carbono.
- Por consequência, o Panorama 3, possui agregado à ele todas as possibilidades de aproveitamento do biofertilizante e biogás (segundo o “ponto de vista” do pesquisador); possibilidades estas que estão faltando em uma ou mais unidades nos demais panoramas.

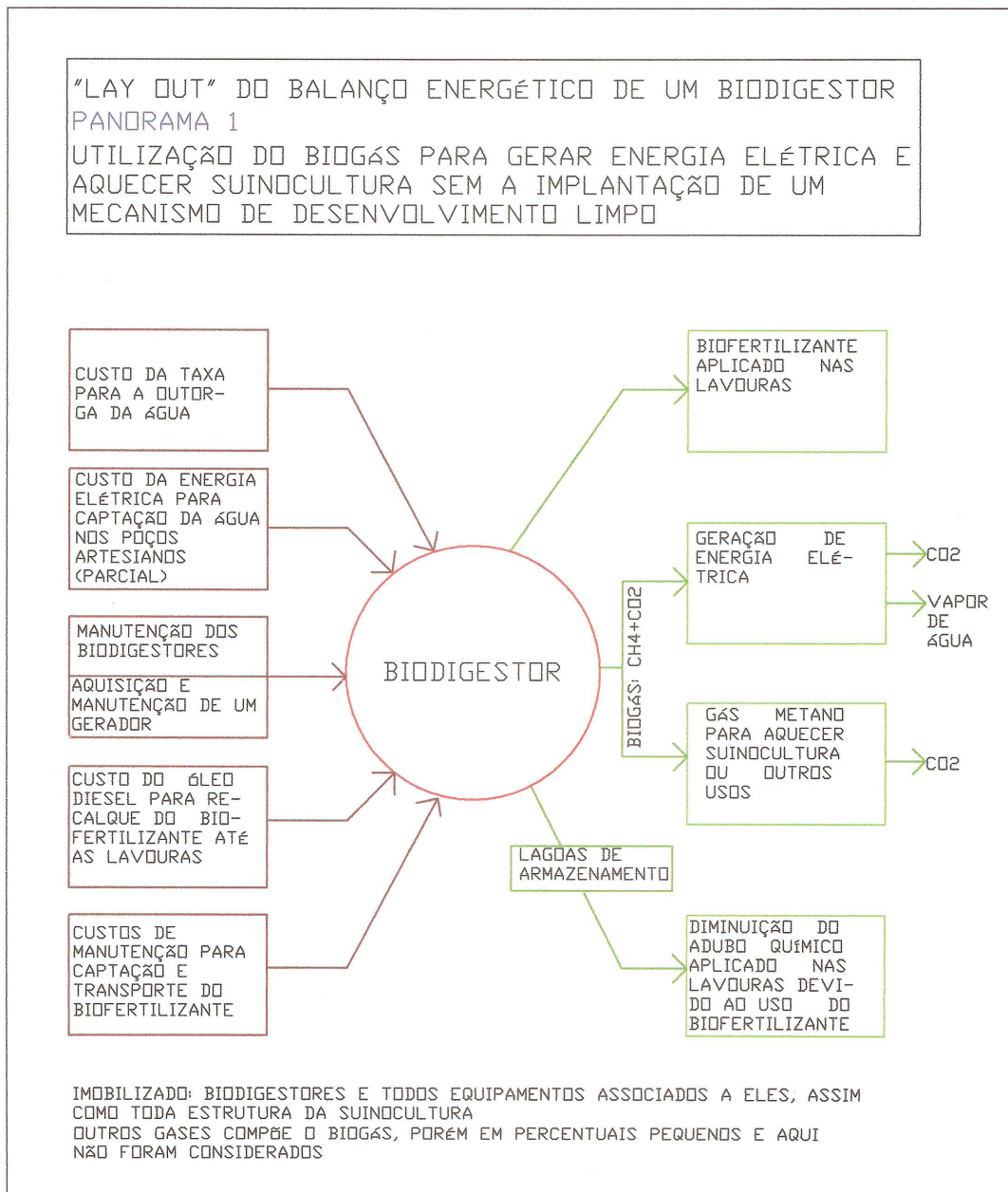


Figura 9 – Fluxograma do biodigestor 1

Fonte: Elaborado pelo autor.

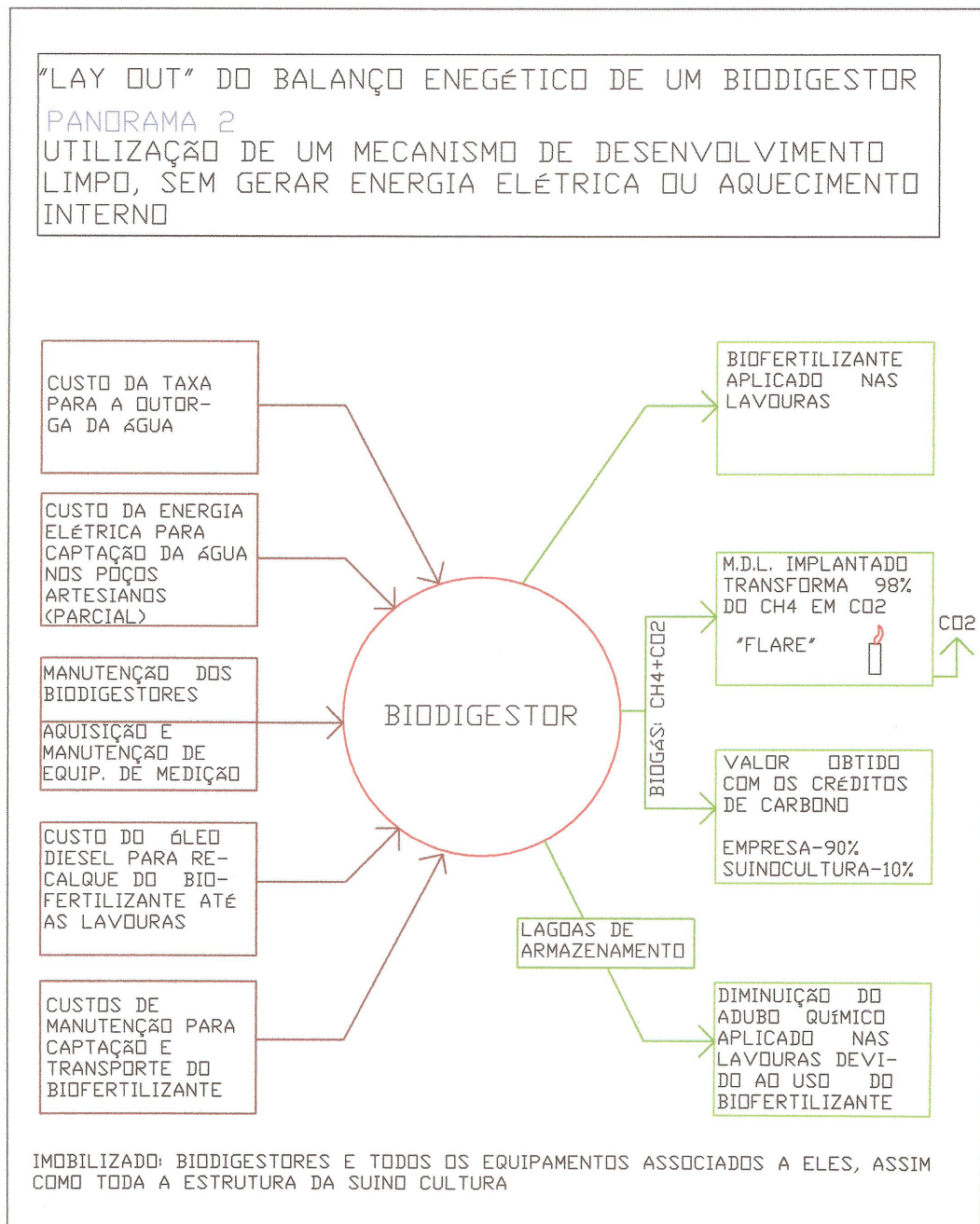


Figura 10 – Fluxograma do biodigestor 2

Fonte: Elaborado pelo autor.

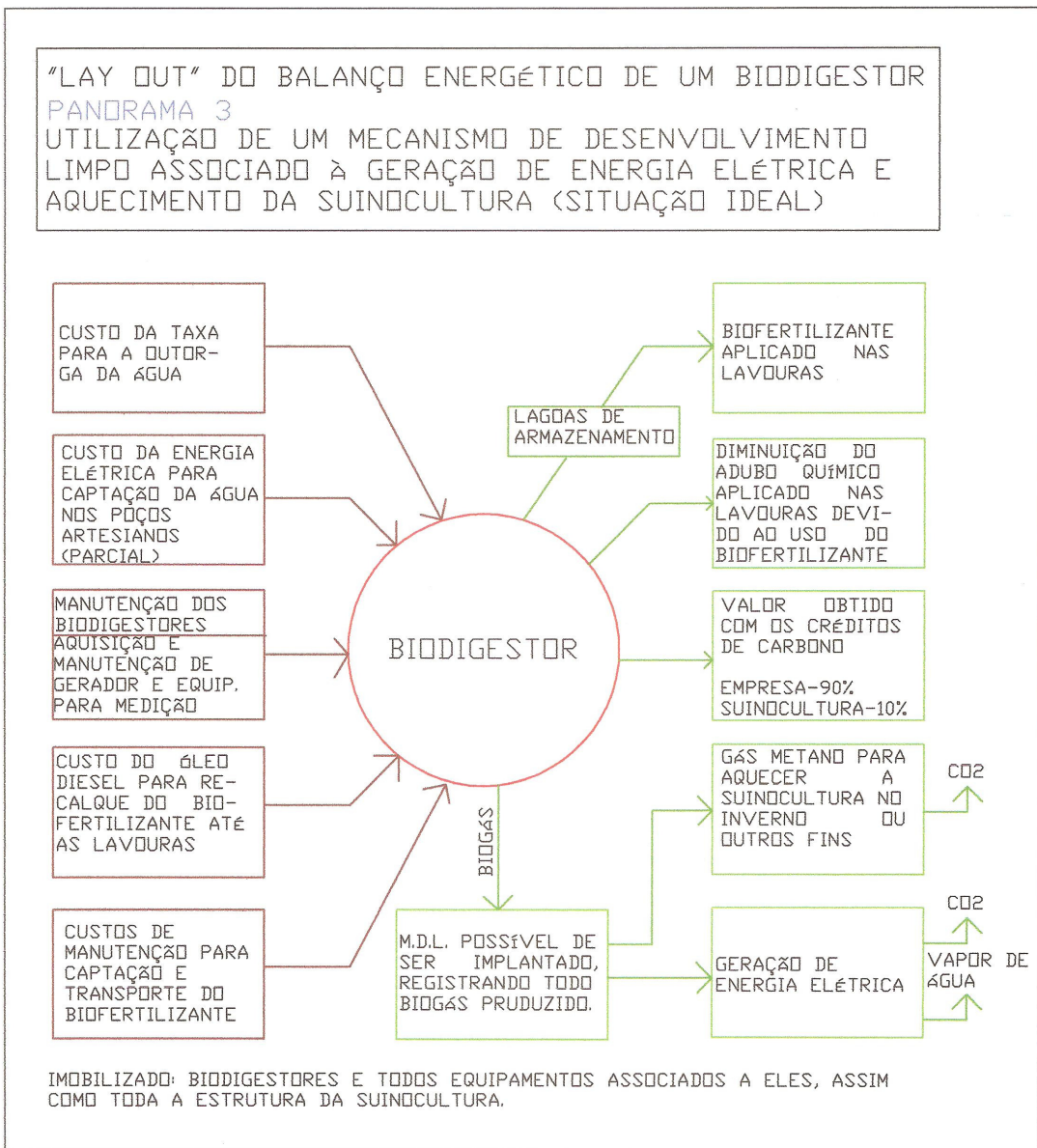


Figura 11 – Fluxograma do biodigestor 3
 Fonte: Elaborado pelo autor.

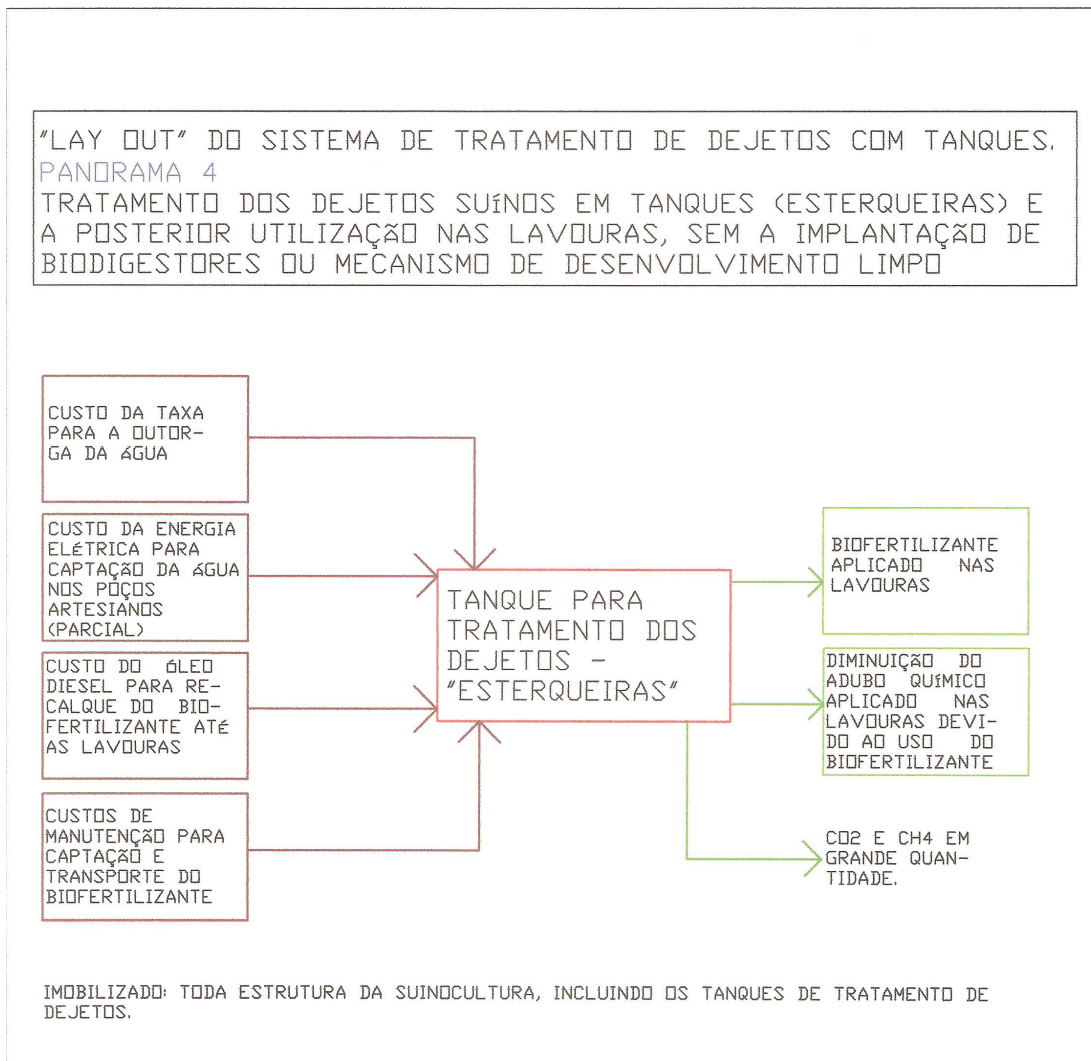


Figura 12 – Fluxograma do biodigestor 4

Fonte: Elaborado pelo autor.

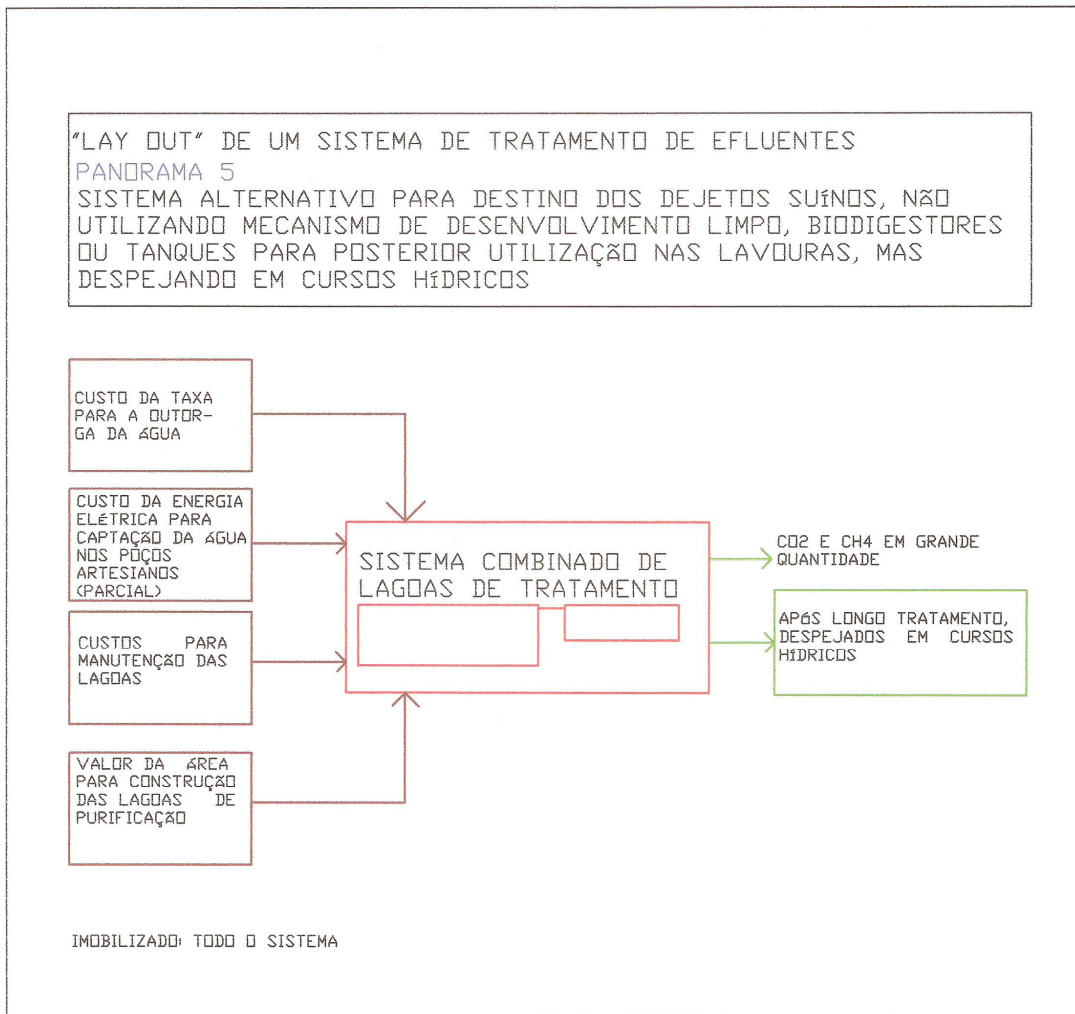


Figura 13 – Fluxograma do biodigestor 5

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Equipamento utilizado para a medição e queima do biogás

Para realizar a medição do biogás em períodos específicos, realizar a análise matemática dos valores lidos, confrontar com os métodos de cálculo atualmente existentes, conforme relatado em objetivos específicos, fez-se a medição *in loco* dos valores registrados no *display* do medidor de vazão do biogás. Os demais passos, encontram-se em Resultados e discussão.

No ANEXO B é descrição pertinente, demonstra-se a seqüência padrão para medição e queima do biogás, segundo o MDL aprovado.

O medidor de vazão do biogás é de propriedade da Empresa Investidora nos Créditos de Carbonos e está instalada junto aos biodigestores da propriedade objeto deste estudo. Trata-se de um medidor próprio para biogás, de procedência norte-americana, cujo mostrador da leitura (*display*) aponta o valor real do volume medido. Possui uma relação de transmissão (Ratio = 141,1764), indicando que a cada 141,1764 voltas das engrenagens (das haletas internas), o medidor conta 0,1 m³ de biogás. A capacidade máxima de medição é 100 m³ e o mesmo possui uma massa de cerca de 1kg.

Conforme abordado no ANEXO B, a eficiência da queima dos hidrocarbonetos é medida a cada três meses, com equipamento devidamente calibrado. A medição das concentrações de metano e dióxido de carbono, é realizada antes e após a queima dos gases, sem levar em consideração a temperatura da queima, porém a cada ano, é realizada uma auditoria para verificar a funcionalidade e anotar o valor contido no *display*, creditando assim a Empresa Investidora do Créditos de Carbono correspondentes.

Para realizar as medições diretas no equipamento detector de vazão, em um período de um dia, para posteriores cálculos, seguiu-se a seguinte seqüência:

- Em dia e horário determinado, registrado o valor no *display*;
- Exatamente 24 após, novo registro anotado no *display*;
- Anotada informação com proprietários da granja a respeito da quantidade de matrizes no plantel, exatamente neste dia. Como trata-se de uma suinocultura de Ciclo Completo, todos dejetos de todos suínos, são reportados e contabilizados às matrizes, ou seja, as matrizes são o referencial de produção de dejetos de toda suinocultura;
- Realizado cálculos (em Resultados).

De maneira completa, segundo a seqüência acima apresenta, **duas operações foram realizadas** (duas leituras defasadas no tempo em 24h), apenas para a **demonstração do método utilizado**.

Para a seqüência de cálculos, foram realizadas outras medições em 01 e 02 de junho de 2010, mas está representado em Resultados. A defasagem no tempo, ficou em 229 dias.

Optou-se em não realizar diversas medições individuais e diárias, continua ou alternadamente, por não ser necessário uma inferência estatística, também pelo

fato que os resultados em função do número de matrizes, tenderem a serem invariáveis, assim como a taxa de variação dos valores lidos.

Demonstra-se aqui duas medições e os cálculos correspondentes, realizadas na suinocultura em estudo (Santa Rosa/RS), nos dias treze e quatorze de outubro de 2009:

Data	Horário	Valor lido (m ³)	Referência para cálculo
13/10/2009	15:55 h	669925,15	A (ver Figura 15)
14/10/2009	15:50 h	670798,67	B (ver Figura 16)

Neste período, a temperatura ambiente sofreu uma variação entre 18 e 28° C.

Assim, $B - A = 873,52 \text{ m}^3/\text{dia de biogás}$.

Figura 14 (A) – Detalhe do *display*.

Figura 15 (B) – Detalhe do *display* – 24 horas depois.



Figura 14 – *Display* da medida do biogás 1

Fonte: Arquivo pessoal do autor



Figura 15 - Display da medida do biogás 2

Fonte: Arquivo pessoal do autor

3.5 Linhas de crédito para implantação de um MDL

Devido ao fato das dificuldades de implementação de um MDL relativo aos custos, é abordado aqui de maneira resumida, as informações obtidas com o setor de desenvolvimento sustentável do Banco do Brasil. É colocada aqui esta abordagem, pois em Conclusões se expõe que as dificuldades de crédito financeiro, também estão atreladas à mitigação do efeito estufa, indiretamente. Não se trata de informações científicas, mas financeiras, pertinentes ao estudo de caso presente.

O método para obtenção destas informações, foi por contato telefônicos e via eletrônica com o setores de Crédito Rural e Desenvolvimento Sustentável do Banco do Brasil.

Existem linhas de crédito, no Banco do Brasil, denominadas de Crédito Rural, a menores taxas de juros, que financiam projetos passíveis de enquadramento num MDL, porém, atualmente, não há como o produtor amortizar ou quitar o financiamento com os Créditos de Carbono futuros, utilizando recursos do crédito rural.

Existem ainda outras linhas (fora do crédito rural) que financiam o projeto:

I) A FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, empresa pública vinculada ao MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia, tem o programa Pró-MDL que financia o pré-investimento e o desenvolvimento científico e tecnológico, associados à atividades de projeto no âmbito do MDL. As modalidades observadas no Quadro 1 são:

Modalidade	Limite	Prazo	Custo Máximo
Financiamento Reembolsável	90% - para projetos com valor mínimo de R\$ 500 mil	120 meses, incluída a carência de até 36 meses	TJLP + 5%
Financiamento Não-Reembolsável	50% - para projetos com valor mínimo de R\$ 300 mil	120 meses, incluída a carência de até 36 meses	TJLP + 5%

Quadro 1 – Linhas de financiamento para MDL.

II) Há também linhas de recursos do BNDES com destinação específica para meio ambiente:

a) Apoio a Investimentos em Meio Ambiente - na qual existe a possibilidade de financiar o estudo de viabilidade, custos de elaboração do projeto, Documento de Concepção de Projeto (PDD) e demais custos relativos ao processo de validação e registro.

b) Apoio à Eficiência Energética – PROESCO.

c) Apoio ao Reflorestamento de Carajás - REFLORESTA.

O prazo total desses financiamentos pode chegar até 72 meses, incluindo carência de até 24 meses. A taxa de juros da operação é mais alta em relação ao crédito rural e é determinada pela seguinte fórmula: Taxa de Juro = TJLP + Remuneração do BNDES + Taxa de intermediação financeira.

Uma questão importante é a necessidade de regulamentação do Crédito de Carbono de forma que se defina a natureza jurídica da Certificação de Emissão Reduzida (CER). Caso o Crédito de Carbono seja considerado um título negociável, regulamentado por Lei, provavelmente este poderá ser utilizado em garantia de operações ou antecipação de crédito.

Atualmente o Banco do Brasil pode financiar o empreendimento e intermediar a venda dos Créditos de Carbono, mas são projetos a serem analisados individualmente. Os recursos oriundos desta venda podem ser utilizados no abatimento/amortização do financiamento, sendo esta condição prevista em contrato. Quanto ao ciclo de aprovação de um projeto de MDL, as linhas disponíveis no Crédito Rural ainda não o financiam, mas já existe esta discussão junto aos formuladores dos Planos de Safras e linhas de crédito, inclusive com sugestões de se incluir como item financiável do Crédito Rural.

Ainda, com relação à financiamentos, existe a possibilidade que a implantação de um M.D.L. seja pagável por si só, ou de outra maneira, que os recursos futuros advindos dos Créditos de Carbono, sejam utilizados para quitar ou amortizar o financiamento contratado, via FINEP.

O fundo constitucional do Centro-Oeste (FCO) já prevê em suas normas o financiamento do projeto do M.D.L. (processo de certificação, consultorias, auditorias – EOD), mas atende apenas MT, MS, DF e GO que são as unidades federativas do Centro-Oeste (NETO, 2010).

Um fato importantíssimo é a Linha de Base ou linha de fronteira do sistema proposto, que no presente trabalho está representado na Figura 3. Esta linha não necessariamente é fixa ao longo do tempo, mas pode ser “flutuante”. De outra maneira: O Protocolo de Kyoto preconiza que todo projeto de MDL possua uma ação de voluntariedade acima das legislações obrigatórias.

Tomando-se um exemplo hipotético relacionado com o presente trabalho e a Linha de Base do mesmo: Não existe no Brasil, Rio grande do Sul ou no Município de Santa Rosa, legislação que torne obrigatória a utilização de biodigestores e queima do biogás por parte do suinocultor, porém hipoteticamente como antes relatado, seria criada legislação para este fim, seja nacional, estadual ou regional. Ocorrerá que no momento da entrada em vigor desta legislação, os Créditos de Carbonos deixarão de existir, a empresa investidora deixará de recebê-los, pois não é possível haver um MDL sobre algo cuja prática é obrigatória por Lei.

3.6 Unidades e equivalentes

Os valores obtidos e calculados, serão reduzidos ao equivalente à uma Unidade Padrão de Referência de 100 kg de carne suína, ou simplesmente Suíno Vivo (SV) para abreviar a expressão anterior e ao final, transformados em Joules. Foi estabelecida esta unidade como comparação e também, devido ao fato que o peso médio (massa) de cada suíno vendido é 100 kg, conforme será abordado em 4.1.

Seguem algumas definições de unidades e equivalentes utilizados:

Ampère (A) – Unidade de Corrente Elétrica – do Sistema Internacional (SI).

Volt (V) – Unidade de Tensão Elétrica.

Watt (W) – Unidade de potência.

Fator de Potência ($\cos \varnothing$) – Defasamento entre os sinais da corrente elétrica (A) e da tensão elétrica (V).

Volt Ampère (VA) – Representa a potência elétrica aparente, onde o Fator de Potência não está incluso.

Joule (J) – Unidade de energia.

Quilograma (kg) – Unidade de massa – do SI.

Watt hora (Wh) – Representa o consumo contínuo de 1 W durante uma hora. É a forma de quantificar a energia elétrica.

Real (R\$) - Unidade Monetária do Brasil.

Euro (€) - Unidade Monetária da Comunidade Européia.

Diâmetro Nominal (DN) – Diâmetro interno de tubulações.

Rotação Por Minuto (RPM) – Velocidade de rotação do eixo de máquinas.

$$1 \text{ Watt (W)} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ caloria (cal)} = 4,1868 \text{ J}$$

$$1 \text{ grama (g) de carne suína} = 4.000 \text{ cal}$$

$$1 \text{ Hectare (Ha)} = 100 \times 100 \text{ m (10.000 m}^2\text{)}$$

$$1 \text{ tonelada (t)} = 1000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ metro cúbico (m}^3\text{)} = 1000 \text{ litros (l ou L)}$$

$$1 \text{ Cavalo Vapor (CV)} = 736 \text{ Watts (W)}$$

$$1 \text{ "Horse Power" (HP)} = 746 \text{ Watts (W)}.$$

Nota: Como citado anteriormente, as iniciais SV (Suíno Vivo), substitui o termo “100 kg de carne suína”, em todas as citações do mesmo, diminuindo o volume da “escrita” e transformando em um trabalho mais técnico e de fácil compreensão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Quantidade de carne suína produzida na granja base para esta pesquisa

A granja comercializa em média, 1000 animais por mês. Como referência, tomou-se os meses de setembro e outubro de 2009, justamente o período coincidente com as leituras no medidor de vazão de biogás tomadas como base de cálculo (embora tenham sido feitas outras leituras):

- setembro/2009950 animais comercializados.
- outubro/20091094 animais comercializados.

Esta média se mantém aproximadamente constante ao longo do tempo.

Cada animal é comercializado quando atinge o peso de 100 kg. O peso máximo admitido para compra pelos frigoríficos exportadores, é 120 kg.

Logo: $1000 \text{ animais} \times 100 \text{ kg} = 100.000 \text{ kg}$ de carne suína comercializada mensalmente ou 3.333 kg/dia.

O número de matrizes é praticamente constante ao longo do tempo e basicamente compõe-se:

- Matrizes em gestação e lactantes – 600 à 620, como base para cálculo, tomou-se a média, 610 unidades.

- Matrizes inseminadas – 60 à 80, como base de cálculo, tomou-se a média de 70 unidades.

Como já visto em metodologia, tomar-se-á a unidade padrão de 100 kg como referência para outras unidades, porém sua expressão será SV.

4.2 Consumo de energia elétrica e seus equivalentes pela suinocultura

O consumo de energia elétrica na suinocultura desta pesquisa abrange:

- Iluminação das baias;

- Aquecimento da “creche”, principalmente nos meses de temperaturas baixas, através de lâmpadas incandescentes;
- Motores elétricos para recalque de água dos poços artesianos;
- Motores e equipamentos elétricos utilizados na fábrica de ração e equipamentos de silagem;
- Escritório de atendimento, vestiários e dependências de funcionários, anexos, iluminação em geral.

Dentro do perímetro da granja e suinocultura, nenhuma residência encontra-se ali estabelecida, de maneira que a média de consumo de energia elétrica, é destinada somente à cadeia produtiva e anexos da suinocultura.

NOTA

Até a realização deste trabalho, a suinocultura não utilizava biogás para aquecer os pequenos animais, mas lâmpadas incandescentes, porém estudos se faziam para utilizar o biogás para aquecer estes animais no inverno.

Tomou-se para base de cálculo e para fins comparativos, uma Nota Fiscal de consumo de energia elétrica, do período de outubro de 2006 à outubro de 2007, onde o consumo permanece praticamente o mesmo no ano de 2009.

Classificação Tarifária: B-2 – Rural – Trifásica, alimentada diretamente por baixa tensão (a suinocultura não possui um transformador próprio).

Tarifa: 0,242104/kWh

Média mensal de consumo: **15658 kW**

Logo, $15658\text{kW} \times 0,242104 = \text{R\$ } 3.790,00 \text{ ou } \text{€ } 1.463,32$, já incluso tributações.

A opção pela expressão dos valores monetários em Reais e Euros, deve-se ao fato de que os Créditos de Carbono são compensados em Euros.

Remetendo este valor à unidade de 100 kg de carne suína (SV):

$15658 \text{ kW} / 30 = 521,93 \text{ kW/dia}$

Sabe-se, de **4.1** (Quantidade de carne suína produzida na granja base para esta pesquisa), que a media diária de carne suína que a granja produz gira em torno de 3.333 kg diários.

Logo, para obter-se os dados em função da unidade 100kg de carne suína, deve-se dividir por 33,33 (se o divisor fosse 3333, seria em função de 1,0kg de carne):

$521,93 \text{ kW/dia}/33,33 \text{ kg} = \mathbf{15,66 \text{ kW/SV}}$, ou seja, para produzir 100 kg de carne suína são necessários **15,66 kW**

De maneira análoga, chega-se à **R\$ 3,79/100 kg de carne ou € 1,463**

Transformando este valor em Joules, sendo a relação $1\text{W} = 3600 \text{ J}$:

$15,66 \text{ kW} \times 3600 \text{ J} = \mathbf{56.376 \text{ kJ/SV}}$, ou seja, são necessários 56 MJ (de custo de energia elétrica), para produzir 100kg de carne suína.

4.3 Medição do Biogás e determinação da real produção em função do plantel de suínos e produção de dejetos

Medições diretas no medidor de vazão, foram realizadas e descrito em Metodologia, assim como a fundamentação para a realização dos cálculos sobre uma só leitura, porém em um período entre leituras, de 229 dias.

Demonstra-se aqui duas medições e os cálculos correspondentes, realizadas na suinocultura em estudo (Santa Rosa/RS), entre os dias 14 de outubro de 2009 e 1º de janeiro de 2010:

Data	Horário	Valor lido (m ³)
14/10/2009	15:50 h	670798,67
01/06/2010	11:48 h	807543,54

Considerando o período de 229 dias, podendo ser desprezado as 4 horas adicionais em função do montante de dias, obteve-se 136.744,87 m³ de biogás produzido. Dentro deste período, houve uma queda de aproximadamente 40% da produção do biogás, devido à um fator externo que perdurou por 23 dias, porém foi contemplado nos cálculos do ANEXO C. No mesmo está demonstrado os cálculos para a produção do biogás da Granja Ipê, a qual resultou em **612,12 m³/dia**.

Como abordado em **4.1**, o número de matrizes neste período é praticamente constante: 610 matrizes em lactação e gestantes e de 70 matrizes inseminadas.

O volume de dejetos produzidos por dia, de acordo com o ciclo de produção, pode ser estimado usando a Tabela 4.

Tabela 4 – Volume de dejetos produzidos por dia

Tipo de Sistema de produção	Produção Diária de Dejetos (Litros/Dia)
Ciclo Completo	85,0
Unidade de Produção de Leitões	45,0
Unidade de Crescimento e Terminação	7,0

Fonte: Oliveira (1993); Bipers Embrapa/Emater, RS (1998)

Considerando a tabela, C.C., 85L/dia/matriz, chega-se a 85L/dia x 680 matrizes em lactação, gestantes ou inseminadas = **57.800 L/dia de dejetos** produzidos na granja em estudo.

Continuando, obtém a relação entre a quantidade de biogás produzida e a quantidade de dejetos produzidos na granja:

$57.800,0\text{m}^3$ dejetos dia/ $612,12\text{m}^3$ biogás dia = **94,23L de dejetos para compor 1 m³ de biogás**. Associando a quantidade de biogás produzida diariamente com a quantidade de matrizes, chega-se à **0,90 m³/dia matriz** pouco diferenciando da tabela n. 3 (ver **2.6**), onde consta para porcas lactantes, gestantes ou inseminadas. Tudo isto não é um valor absoluto, mas variável, dependendo da concentração de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (S.V. – para diferenciar de SV da unidade padrão Suíno Vivo) nos dejetos. Quanto menor a entrada de água pluvial e quanto menor o desperdício de água, maior é a concentração de ST e S.V. e conseqüentemente, maior é a produção de biogás por volume de dejetos.

Também deve-se salientar que as mudanças de temperatura contribuem para o aumento ou diminuição da produção do biogás. Enfim, existem diversas variáveis à serem consideradas. Explica-se com isto a diferença entre esta medição compreendida no período de 229 dias e a medição de apenas um dia, demonstrada em **3.4**.

4.4 Produção do biogás e seu equivalente em energia elétrica

Este item demonstra a quantidade de energia elétrica possível de ser gerada com o biogás realmente produzido na Granja Ipê. Todos os cálculos e descrições pertinentes, encontram-se no ANEXO C.

Descreve-se aqui os resultados finais.

33,05 kW possível de ser gerado para cada 100kg de carne produzida (SV), ou em valores monetários, R\$ 8,0 ou € 3,20/100 kg de carne produzida

Em Joules:

118.980 kJ de energia possível de ser produzida para cada unidade e SV.

Este valor entrará no balanço energético do biodigestor.

4.5 Produção do biogás e seu equivalente em Créditos de Carbono

Segundo Empresa Investidora em Créditos de Carbono, para o projeto de MDL aprovado na Granja Ipê, cada 110m³ de biogás registrado, equivale a um Crédito de Carbono (DUARTE, G.), ou seja:

110m³ de biogás = 1 Crédito de Carbono = 1 tonelada de CO₂ equivalente

A relação anterior é válida com a comprovação da queima de 98% dos hidrocarbonetos. O medidor da vazão do gás, possui velocidade constante, devido à um compressor colocado em estágio anterior, conforme visto na figura nº 10. Para verificar esta eficiência de queima, é realizada a cada inspeção, uma análise do queimador (*flare*). Se não comprovada a eficiência de 98% da queima dos hidrocarbonetos, se este percentual for menor, a Empresa Investidora nos Créditos de Carbono continuará recebendo os mesmos, porém a quantidade de biogás necessária para formar um Crédito de Carbono será superior a 110m³. Periodicamente, empresas credenciadas ao INMETRO executam a aferição dos equipamentos. Para este processo existe um custo de operação, a cargo da Empresa Investidora dos Créditos de Carbono, porém de acordo com a metodologia aprovada, para alguns *flares* padrão e homologados, não é necessária fazer a análise *in loco*.

Os Créditos de Carbono são acumulados de auditoria para auditoria e são certificados a cada auditoria de verificação que, como visto anteriormente, ocorre uma vez ao ano, porém, dependendo do volume de cada projeto, estes períodos podem ser menores.

Por exemplo: Se na auditoria o medidor de biogás estiver registrando 800.000m³ e a queima dos hidrocarbonetos for de 98%, serão certificados a diferença de valor entre esta auditoria e a auditoria anterior.

Como abordado no ANEXO B, não foi exigido o uso de *Data logger* na suinocultura em estudo, mas neste caso a eficiência é medida a cada três meses, com equipamento devidamente calibrado. A eficiência é medida através das concentrações de metano e dióxido de carbono, antes e após a queima dos gases, sem levar em consideração a temperatura da queima.

Os equivalentes energéticos: 110m³ de biogás x 1,8 kW = **198kW de potência elétrica possível de ser produzida para cada Crédito de Carbono recebido**, ou 198.000 W X 3600 J = **712.800 kJ**.

4.6 Valores recebidos pelos Créditos de Carbono - Projeto de MDL da Granja Ipê

Conforme visto em 2.6, os valores dependem da “Lei de Oferta e Procura”, em bolsas ou fundos. No caso do presente trabalho, com seu respectivo M.D.L., os valores oscilaram, no período pesquisado, entre 10 e 18 Euros, resultando a média de 14 Euros.

Sendo a produção diária de biogás de 612,12 m³, é iniciada uma seqüência de cálculos, os quais estão representados no ANEXO D.

$$612,12 \text{ m}^3 / 110 \text{ m}^3 = \mathbf{5,56 \text{ Créditos de Carbono/dia}}$$

R\$ 197,71 ou € 77,84 dia

Relativamente à unidade padrão de SV:

€ 2,33 ou R\$ 5,93/SV.

No ANEXO D, realizou-se uma comparação entre os valores monetários e os valores em energia, decorrente da quantidade de biogás, mas não entrará no balanço energético do biodigestor. O valor que entrará no balanço, é aquele da energia elétrica possível de ser gerada (4.4).

4.7 Créditos de Carbono x Energia Elétrica possível de ser gerada

Como visto em **4.6**, os valores monetários recebidos pelos Créditos de Carbono para cada unidade referência de 100 kg de carne suína são de € 2,33 e conforme visto em **4.4**, a potência elétrica possível de ser gerada é de 33,05 kW para a mesma unidade de referência.

Considerando a tarifa de energia elétrica B.T. Rural R\$ 0,242109/kWh (ver 4.2) chega-se a:

$$33,05 \text{ kW} \times \text{R\$ } 0,242104/\text{kWh} = \text{R\$ } 8,00 \text{ ou } \text{€ } 3,15/\text{SV}.$$

A princípio, tem-se uma rentabilidade na geração 25% superior ao recebimento puro e simples dos Créditos de Carbono, porém deve ser analisado os custos de aquisição e manutenção do gerador de energia elétrica – o resultado está demonstrado em **4.9** – Deve ser considerado também do total aproximado de implantação dos biodigestores e o processo para aprovar o MDL, assim como separar os custos de construção dos biodigestores e os custos para a aprovação do mesmo. e sua manutenção – está abordado em **4.10**.

Também deve ser analisado os o fato de se concretizar a comercialização do excedente de energia à Concessionária Pública. O valor que a empresa distribuidora de energia elétrica irá pagar pelo kWh, normalmente é inferior à R\$ 0,2421 (dados de 2008 e 2009). O cálculo em que resultou a rentabilidade superior para a geração de energia, foi baseada nos R\$ 0,2421/kWh.

Demonstrou-se em **3.3** que o panorama de maior rentabilidade, assegurando-se a menor agressão ao meio ambiente, é o **Panorama 3** (3.3, Figura 11), onde tem-se os valores monetários dos Créditos de Carbono do MDL aprovado, somados aos valores da energia elétrica possível de ser gerada:

$$\text{€ } 2,33 + \text{€ } 3,15 = \text{€ } 5,48/\text{SV}.$$

Atualmente, na granja em estudo, o **Panorama 2** (3.3, Figura 10) está em vigor, ou seja, existe um MDL aprovado, recebimento de Créditos de Carbono, mas não está se utilizando o biogás para gerar energia ou outro uso.

Há hipótese de confrontar duas situações com MDL aprovado e uma delas queimado biogás em *flare* e a outra utilizando o mesmo para gerar energia elétrica, a análise do custo de implantação de biodigestores e aprovação de MDL (4.10) é desconsiderada, pois é a mesma para ambas.

4.8 Custo de aquisição e manutenção de um Grupo motor/gerador de energia elétrica

Neste item, demonstra-se a tabela de manutenção e os resultados finais dos cálculos dos custos de aquisição de um Grupo motor/gerador, também os custos de manutenção em função de horas-homens trabalhadas, em energia. A descrição dos cálculos, encontra-se no anexo E.

- Grupo motor/gerador à biogás, trifásico, $V_{saída}=380$ V, 60 Hz, 4 polos/1800 RPM, 70 kVA/56 kW.

- Valor de aquisição: **R\$ 85.000,00 ou € 33.398,82.**

O custo de manutenção mensal, deve-se principalmente ao biogás, o qual é corrosivo e o motor alimentado por ele deve ser retificado a cada 8000 horas – o custo desta manutenção é distribuído ao longo dos meses, para fins de comparação e cálculo. Foi considerado o Grupo motor/gerador trabalhando 15 horas por dia, conforme a Tabela 5:

Tabela 5 – Estimativa de gastos em manutenção mensal

Descrição	Custo
Manutenção periódica (velas e óleo lubrificante)	R\$ 360,00
Manutenção a longo prazo (retífica a cada 8000 h)	R\$ 480,00
Total	R\$ 840,00 ou € 328,60

Fonte: Focking (2009)

R\$ 2,035 ou € 0,796 para cada 100 kg de carne suína produzida(ou unidade de SV), necessário para pagar a aquisição e manutenção do Grupo motor/gerador.

O valor consumido em energia, devido às horas-homens trabalhadas são:

$$148,44 \text{ kcal} \times 4,1868\text{J} = \mathbf{621,48 \text{ kJ/SV.}}$$

O valor acima é o que entra no balanço energético devido à manutenção do Grupo Motor/Gerador.

4.9 Viabilidade comercial de instalação do Grupo motor/gerador em função da economia da compra de energia elétrica da rede pública

Os cálculos correspondentes a este, estão demonstrados no ANEXO F, resultando em **27, 40 meses ou dois anos, três meses e 11 dias** de trabalho do Grupo motor/gerador em funcionamento para que o equipamento se pague.

Deve-se recordar, como visto em **4.9**, que a vida útil estimada do Grupo motor/gerador, é estimada em 5 anos, 11 meses e 5 dias. Isto devido ao gás metano, o qual é corrosivo. Claro que, ao desmembrar o gerador do grupo, este último possuirá uma vida útil consideravelmente maior, porém isto não será abordado aqui.

4.10 Custo de implantação dos biodigestores, aprovação do MDL e sua manutenção na granja objeto desta pesquisa

No ANEXO G, encontram-se os cálculos correspondentes a este item.

Segundo informações da Empresa Investidora em Créditos de Carbono, o custo total de implantação, na suinocultura base desta pesquisa, em 2007:

Biodigestores + Equipamentos de medição e queima + Processo de aprovação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo = R\$ 230.000,00 e a vida útil dos mesmos, considerada 10 anos.

De acordo com o contrato firmado, a Empresa Investidora nos Créditos de Carbono, é responsável por todo investimento e possíveis manutenções no sistema. Ao suinocultor, cabe o fornecimento contínuo dos dejetos suínos nos biodigestores.

90% dos Créditos de CarbonoEmpresa Investidora

10% dos Créditos de Carbono.....Suinocultor

#Obs.: Não foi possível ter acesso aos dados, para discriminar o percentual do investimento que se refere aos biodigestores e equipamentos e o percentual referente ao processo de aprovação do MDL, portanto será considerado como um valor total.

São necessários **R\$ 64,00/dia ou € 25,20/dia** para que toda a implantação dos equipamentos e processo do MDL se pague.

No valor acima não estão incluídos valores com manutenção e possíveis juros de financiamentos externos.

Relativamente à 100 kg de carne suína:

R\$ 64,00/3.333 kg = R\$ 0,019202/kg ou

R\$ 1,92/SV ou € 0,76/SV.

Ou seja, o valor acima significa que são necessários R\$ 1,92 ou € 0,76 para cada 100 kg de carne produzida e comercializada para pagar todo o investimento de biodigestores, equipamentos e aprovação do projeto de MDL, ao longo de 10 anos. Considerando a vida útil do sistema como 10 anos e não considerando juros de possíveis financiamentos externos, manutenção nos biodigestores e equipamentos e custos das auditorias de creditação e aferição de equipamentos por empresas credenciadas ao INMETRO.

4.11 Custo da água utilizada na suinocultura relativo à Outorga da Água

Como a água utilizada na suinocultura provém de dois poços artesianos, o custo da energia elétrica já engloba os valores. Os custos com manutenção de motores elétricos e compressores para o recalque d'água, pode ser considerado desprezível.

Porém, como a granja utiliza a água em quantidade considerável e a utiliza no seu sistema produtivo, incide sobre a mesma o custo da Outorga da Água, a qual é

emitida e cobrada por órgão estadual de proteção ao meio ambiente. Como o valor é baixo, a cobrança não é feita anualmente, mas em um período maior.

A Granja Ipê (incluindo a suinocultura), consome entre 100 e 120m³ de água por dia, sendo mais comum o segundo valor apresentado. Uma parte desta produção de água é destinada à suinocultura. A água utilizada na produção dos animais na suinocultura, a qual será transformada em dejetos para os biodigestores, pode ser adotada para fins de cálculo, como a quantidade de dejetos dia produzida. A mesma foi calculada em **4.3** e resultou em 57.800 L dejetos/dia. Calculada segundo a literatura vigente, pois não existe implantado medidor de vazão dos dejetos.

$57.800L/120.000L =$ aproximadamente 50% ou mais de toda a água (já que foi adotado 120m³), somente para a parte operacional da suinocultura, ou seja, somente para o tratamento dos animais. O restante destina-se aos outros setores da suinocultura, à fabricação de ração, às culturas agrícolas de toda granja.

$$57,80 \text{ m}^3 \times \text{R\$ } 0,02/\text{m}^3 = \text{R\$ } 1,15/\text{dia ou R\$ } 34,68/\text{mês}$$

O valor acima calculado refere-se ao valor da Outorga d'água somente relativo ao biodigestor. É importante salientar, pois apenas este irá entrar no balanço energético do mesmo. Conclui-se que este valor pode ser considerado desprezível.

4.12 Custo da água utilizada na suinocultura relativo ao consumo de energia elétrica para captação da mesma

A Granja Ipê utiliza dois poços artesianos para a captação de água. Ambos funcionam simultânea ou alternadamente, ou seja, não é deixado um como reserva e outro operacional contínuo, segundo informações dos proprietários.

A - Poço artesiano provido de bomba centrífuga acionada por motor elétrico trifásico de 15 CV/380 V, com capacidade de fornecimento de 30m³ de água por hora; possui profundidade de 175m.

B - Poço artesiano com bomba centrífuga acionada por motor elétrico trifásico de 6CV/380V, com capacidade de fornecimento de 6m³ de água por hora; possui profundidade de 275m.

Do total em kWh consumidos pelos dois motores: **1.090,08 kWh/mês**, ou em valores monetários **R\$ 263,90/mês ou € 103,49**.

Este é o custo de energia elétrica para a captação de água dos poços, para todos os serviços da granja.

Porém, como da quantidade total de água extraída dos poços artesianos, cerca de 50% é destinada ao tratamento dos animais (irá entrar no balanço energético), divide-se os valores acima por dois e tem-se **R\$ 131,95/mês ou € 51,74/mês**.

Relacionado com a unidade padrão de 100 kg de carne suína, demonstrado no ANEXO H:

R\$ 0,132/SV ou € 0,052/SV.

NOTA

O consumo de energia elétrica calculado é somente relativo ao bombeamento da água dos poços e que finalmente terminará no biodigestor. Não é o consumo relativo ao setor produtivo da suinocultura e da granja como um todo.

Transformando estes valores em Joules:

Motor A - 19,629 kWh/dia x 3600 J = 70.664 kJ/dia

Motor B - 16,71 kWh/dia x 3600 J = 60.156 kJ/dia

Motor A + Motor B = 130.82kJ/dia

Para obter o resultado relacionado à unidade padrão de 100 kg de carne suína, divide-se por 33,33:

$130.820 \text{ kJ dia} / 33,33 = \mathbf{3.924,99 \text{ kJ/SV}}$.

O valor acima calculado está relacionado com toda a água captada e utilizada na granja, porém o tratamento de animais da suinocultura ocupa 50% (mínimo) desta água, como abordado em **4.3** e **4.12**, pois não existe medidor de vazão, logo:

$3.924,99 \text{ kJ}/100 \text{ kg} / 2 = \mathbf{1.962,49 \text{ kJ/SV}}$.

4.13 Diminuição do uso do adubo químico nas lavouras devido ao uso do biofertilizante

O biofertilizante possui uma quantidade significativa de nitrogênio e potássio, e pouco fósforo, portanto o adubo químico é indispensável para complementar a

correta formulação e, deve contemplar aquele composto natural. A dosagem dos principais elementos químicos a ser aplicada, varia de ano para ano e de acordo com a análise do solo, onde será utilizada.

A granja objeto deste estudo, e a qual engloba a suinocultura, em 2009, teve uma área agrícola cultivada de 550 hectares, porém esta área é cultivada e nela é realizada a colheita duas vezes ao ano (culturas de inverno e verão): logo tem-se 1.100 hectares cultivados por ano. Grande parte da produção é destinada ao preparo da ração usada na própria suinocultura, mas de acordo com balanceamento calculado por empresas que atuam no ramo.

Antes do uso do biofertilizante, a granja utilizava entre 500 e 600 kg de adubo químico por hectare ano, ou seja, para as duas culturas - 1.100 hectares. Após o início da utilização do biofertilizante, a aplicação do adubo químico diminuiu no mínimo 40%. O custo do adubo químico é muito variável, dependendo da composição química, mas pode ir desde R\$ 1.000,00 até R\$ 2.200,00 por tonelada (t).

Claro que com valores oscilantes, é difícil estabelecer-se uma média, mas para fins de cálculo para a posterior inserção no Balanço Energético do Biodigestor, firmam-se segundo a Tabela 6.

Tabela 6 – Percentual do adubo químico utilizado

Custo do adubo químico	R\$ 1.600,00 por tonelada
Percentual de diminuição do adubo químico	40%
Utilização do adubo químico sem o biofertilizante	550 kg por hectare

Fonte: Granja Ipê (2009).

Cálculo da diminuição da quantidade de adubo químico nas culturas para posterior uso no balanço energético do biodigestor, encontra-se no ANEXO I.

Chega-se ao resultado de **R\$ 32,60/SV ou € 12,80/SV**

Este é o valor economizado no uso do adubo químico, em relação a 100 kg de carne, embora, como não é desta que parte o custeio principal da lavoura.

De outra maneira, são economizados, **R\$ 32,60 ou € 12,80/55.818,42**, devido ao uso do biofertilizante, porém, para o balanço energético do biodigestor, é necessário um valor em Joules. O valor anteriormente calculado é uma relação de

custo envolvendo um valor monetário e uma quantidade estabelecida de carne suína, como padrão. Para obter um valor em Joules (diferente de valor monetário) e associado à unidade de referência que é 100kg de carne suína, é necessário utilizar o NPK - Nitrogênio, Fósforo e Potássio para obter-se a quantidade de energia em Joules necessária para elaborar adubo químico.

Existem outras vantagens no uso do adubo orgânico que não podem ser quantificado em Joules – o fato do adubo orgânico manter os micro organismos do solo, por exemplo. Também, diferentemente do adubo químico, o biofertilizante não é ácido, de maneira que a aplicação do calcário é minimizada ou abolida. Neste particular, quantidade de energia economizada para produzir 1 kg de calcário, pode ser obtido em Joules, de maneira indireta, mas não seria muito significativa no balanço energético, pois seu equivalente energético é baixo e a aplicação do mesmo no solo é realizada em períodos esporádicos.

Existe uma metodologia para compor o adubo químico (NPK), de acordo com as necessidades de cada solo analisado, mas sempre é transcrito na mesma seqüência: primeiro o nitrogênio (N), depois o fósforo (P) e por último o potássio (K) - A numeração ali exposta, representa a relação de cada elemento sobre um saco de 50 kg de adubo químico. Por exemplo, quando se usa somente o adubo químico, uma formulação básica é 10-25-25, ou seja, para cada quantidade de nitrogênio utilizado, serão utilizados 2,5 vezes mais de fósforo e 2,5 vezes mais de potássio (GRANJA IPÊ).

Na Tabela 7 observam-se vários equivalentes energéticos, onde está inclusa a quantidade de energia necessária para formular 1 kg de NPK:

Tabela 7 – Itens da entrada de energia da produção agrícola e seus respectivos coeficientes energéticos

Itens da entrada	Coeficientes energéticos
Trabalho humano	1.050 kcal/hora-homem
Trabalho animal	2.050 kcal/hora-animal
Máquinas	20.000 kcal/kg
Óleo Diesel	11.414 kcal/litro
Gasolina	10.109 kcal/litro

Itens da entrada	Coefficientes energéticos
Eletricidade	2.863 kcal/kw
Nitrogênio	12.000 kcal/kg
Fósforo	3.000 kcal/kg
Potássio	1.600 kcal/Kg
Adubo químico	(correspondente a NPK)
Defensivos	80.000 kcal/kg de P.A.
Sementes ou mudas	(específico para cada cultura)
Calcário	315 kcal/kg
Lenha	1.750.000 kcal/m ³
Plástico	30.000 kcal/kg

Fonte: Pimentel et al. (1973); Pimentel (1980); Quesada et al. (1987).

O resultado do cálculo, no ANEXO I, finaliza em **396.196,88 kJ/SV**.

O valor acima calculado entra no balanço energético, pois é o valor realmente economizado de adubo químico (transformado em Joules), por Ha, para cada 100 kg de carne suína produzida.

4.14 Consumo de óleo Diesel para o transporte do biofertilizante das lagoas secundárias às lavouras

A granja em estudo utiliza todo o biofertilizante para a adubação das culturas da propriedade, como já abordado. Uma máquina agrícola (trator) acoplado à uma bomba de recalque é posicionado na jusante dos reservatórios de biofertilizante, ou seja, das lagoas secundárias.

O recalque é feito de maneira direta, ou seja, por sistema de irrigação tubular para transporte e dispersores para espalhar nas lavouras. Para a inserção no Balanço Energético do biodigestor, a manutenção do trator, bomba e todo o sistema de irrigação, serão considerados desprezível. Valores de aquisição de máquinas, não são consideradas, pois as mesmas fazem parte do patrimônio da granja, parte do passivo da mesma, já existente para outras finalidades.

A potência consumida pode ser obtida colocando-se o motor em funcionamento na rotação da bomba usualmente utilizada. O reservatório de combustível deve ser completamente preenchido e, após uma hora, desligar o motor e medir o volume do combustível utilizado (completando o tanque) e ao mesmo tempo, medir a quantidade de biofertilizante bombeado.

Porém existe uma forma teórica de cálculo do óleo Diesel consumido, utilizando-se de gráficos apropriados para cada modelo de trator. Na Granja Ipê são utilizadas dois tratores para bombeamento, de maneira alternada, de acordo com a disponibilidade de cada máquina, porém a bomba é sempre a mesma, assim como o sistema de transporte e irrigação. Os dados obtidos “*in loco*” são:

- Trator 1: marca Ford, modelo 7630, com 106 CV.
- Trator 2: marca Ford, modelo 6600, com 80 CV.
- Capacidade da bomba: 50 CV.
- Vazão máxima da bomba: 100 m³/h.
- DN da tubulação de bombeamento: 125mm e na dispersão, 100mm.
- Altura manométrica: máximo 20m.

Será realizado o cálculo, demonstrado no ANEXO J, segundo os dois modelos de tratores e ao final, uma média aritmética simples, já que não dispõe-se da possibilidade de se fazer a medição do consumo de combustível diretamente no campo.

As empresas fabricantes de tratores são obrigadas a fazer um ensaio de cada modelo lançado no mercado, obtendo-se desta forma as curvas de torque, potência e consumo específico de combustível. Estes ensaios são Normalizados para que possa se ter um padrão para todos os modelos.

Pode-se citar as seguintes normas para a realização destes ensaios:

- Código OCDE: Código 2 - Ensaio de performance de tratores agrícolas e florestais.
- NBR ISO 789: Tratores Agrícolas - Procedimentos de Ensaio (Correspondência: ASAE S209.5, SAE J708, UNE 68).
- NBR ISO 1585
- NBR ISO 2288

As estações de ensaio seguem estas Normas (principalmente o Código 2 da OECD), pois desta norma derivam todas as demais.

ESTIMATIVA DO CONSUMO HORÁRIO DO TRATOR FORD 7630:

ESSAI DE LA PRISE DE FORCE

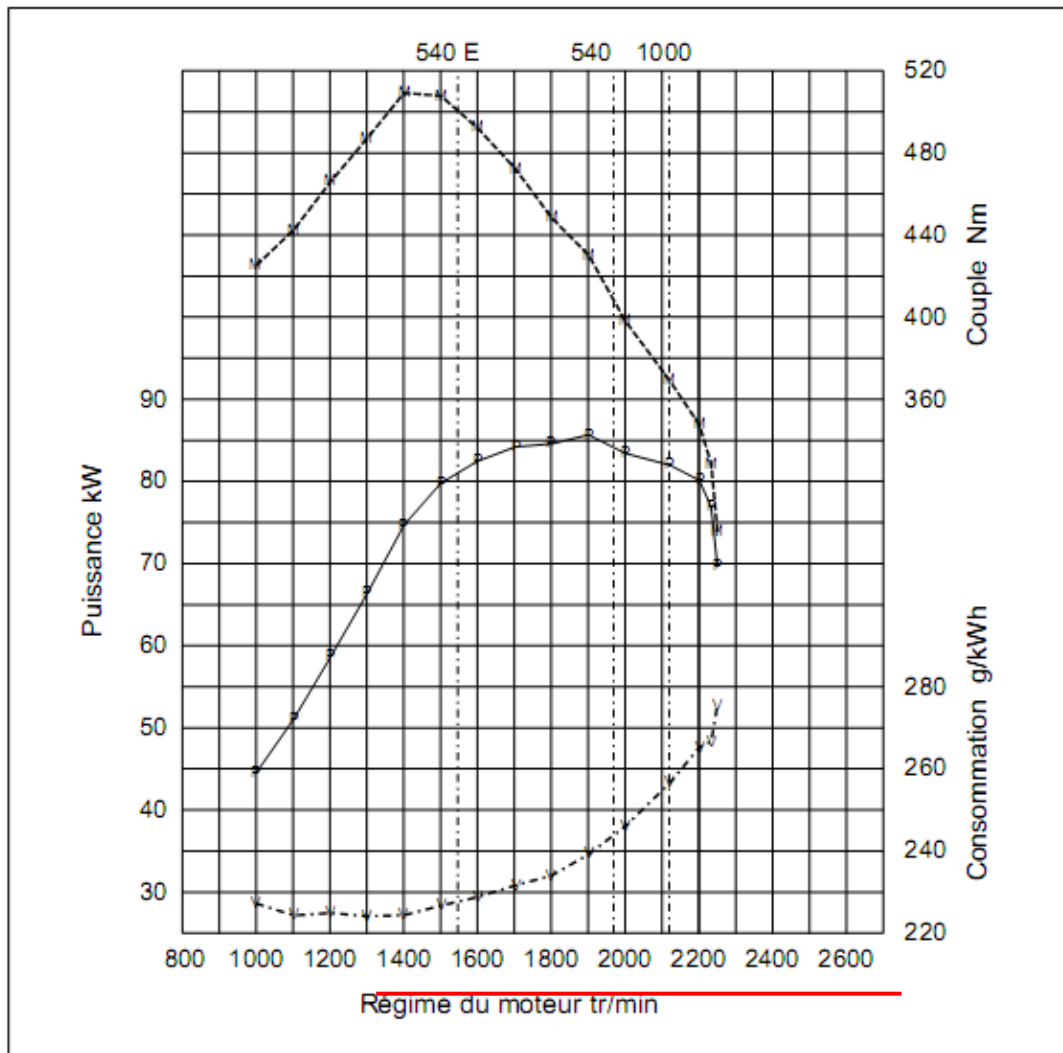


Gráfico 1 – Consumo do trator Ford 7630.

Fonte: Estação de Testes de Motores, Nebraska, EUA.

Os cálculos, no ANEXO J, resulta em **19,8 litros de óleo Diesel por hora**

De outra forma, **0,198 L de óleo para cada metro cúbico de biofertilizante transportado.**

Ainda, em relação à unidade padrão de 100 Kg de carne suína:

11,85 l / 33,33 kg (como abordado em 4.1) = **0,355 L de óleo/SV.**

Considerando o valor médio comercializado do óleo Diesel, no período da elaboração deste trabalho como R\$ 2,00/L:

0,355 l x R\$ 2,00 = **R\$ 0,71/L ou € 0,27/L.**

Transformando este valor em Joules:

16.944 kJ/SV.

A altura de bombeamento (altura manométrica), não vai interferir muito no consumo, pois deve-se que manter neste tipo de equipamento (bomba + trator) uma rotação constante de trabalho (no caso 540 rpm na tomada de potência do trator), o que não varia na aceleração mantendo desta forma o consumo praticamente constante dentro desta faixa. Se por algum motivo ocorrer alguma sobrecarga momentânea, o motor entra na faixa de reserva de torque, aumentando momentaneamente o consumo (atuação do governador da bomba injetora), mas na média geral esse valor se torna praticamente desprezível ao longo de uma jornada de trabalho.

CONSUMO HORÁRIO DO TRATOR FORD 6600.

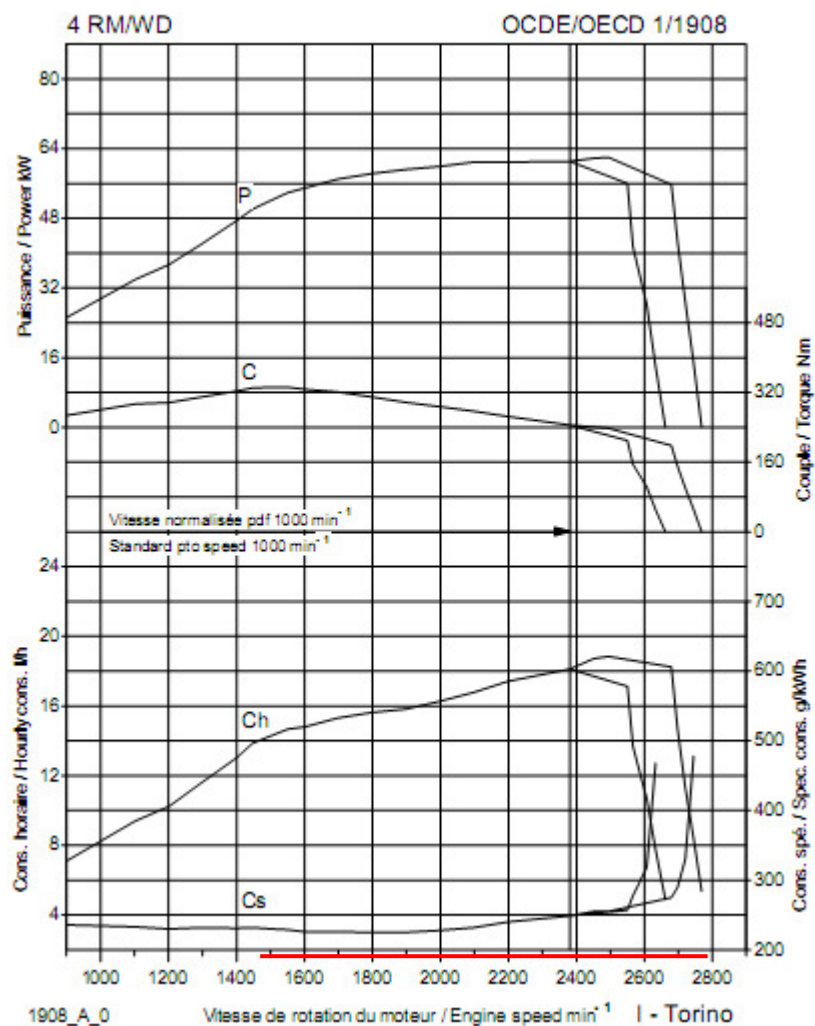


Gráfico 2 – Consumo do trator Ford 6600

Fonte: Estação de Testes de Motores, Nebraska, EUA.

Os cálculos, no ANEXO J, resultam em **13,92 litros de óleo Diesel por hora**. De outra forma, **0,139L de óleo para cada metro cúbico de biofertilizante transportado.**

Ainda, em relação à unidade padrão de 100 Kg de carne suína:

8,33 L/33,33 kg (como abordado em 4.1) = **0,250L de óleo/SV.**

Considerando o valor médio comercializado do óleo Diesel, no período da elaboração deste trabalho como R\$ 2,00/L:

0,250 L x R\$ 2,00 = **R\$ 0,50/L ou € 0,19/L.**

Transformando este valor em Joules:

11.932 kJ/SV.

Como citado anteriormente, a utilização dos dois modelos de trator para o bombeamento, se realiza de maneira alternada, dependendo da disponibilidade de cada máquina. Para simplificação dos cálculos, far-se-á uma média aritmética simples:

$16.944\text{kJ (Trator Ford 7630)} + 11.932\text{ kJ (Trator Ford 6600)}/2 = \mathbf{14.438\text{ kJ/SV.}}$

Este é o valor que entra no balanço energético do biodigestor. Em valores monetários, R\$ 0,61/SV.

NOTA

Estes consumos foram calculados para trabalhar na rotação padrão da tomada de potência (540 RPM). Este cálculo foi feito com embasamento teórico, sobre ensaios realizados. Normalmente, os operadores das máquinas, não a utilizam na rotação correta, ou seja, abaixo dos 540 RPM.

Os tratores, no local de trabalho e operando a uma rotação mais baixa, consomem uma quantidade menor de óleo combustível, porém para o balanço energético, adota-se o valor calculado teoricamente.

4.15 Balanço Energético do biodigestor

Reportando-se novamente à Figura 13, em metodologia, como sendo a situação ideal, ou seja, máxima eficiência e menor agressão ao meio ambiente, pois todas as possibilidades de aproveitamento do biogás estão lá centradas.

Todos os valores estão relacionados à unidade padrão de 100kg de carne suína (SV):

ENTRADA:

- Custo da Outorga da água: desprezível – não considerado.
- Custo da energia elétrica para recalque da água dos poços artesianos:
1.962,49 kJ/SV (R\$ 0,132).
- Manutenção dos biodigestores: desprezível – não considerado.
- Manutenção do Grupo Motor/Gerador:
621,48 kJ (R\$ 0,84).

- Aquisição do Grupo Motor/Gerador: Embora calculado em valores monetários, o mesmo faz parte do passivo imobilizado da granja, portanto não entra no balanço energético.

- Custo do óleo Diesel para recalque do biofertilizante até as lavouras:
14.438,00 kJ (R\$ 0,61).

- Custo de manutenção do sistema de irrigação do biofertilizante: pouca ou nenhuma manutenção – não considerado, pois faz parte do passivo imobilizado da granja;

- Custo para implantar e aprovar um projeto de MDL:

São valores monetários e a estrutura é do passivo imobilizado da granja, portanto não entra no balanço energético.

SAÍDA:

- Biofertilizante aplicado na lavoura, o qual é quantificado através da diminuição do adubo químico aplicado nas duas culturas anuais:

396.196,00 kJ (R\$ 32,60);

- Valores obtidos com os Créditos de Carbono, os quais foram quantificados em energia (Joules), levando em consideração a relação entre biogás e kW, conforme ANEXO D:

94.392 kJ (R\$ 5,93) – Este é o valor em energia do biogás gerado (110 m³ para formar um Crédito de Carbono) relativo à 100 kg de carne produzida. Não entra no balanço pois seria duplamente contabilizada, já que a energia elétrica possível de ser gerada deste mesmo gás, entra no balanço energético.

- Valores obtidos com a energia elétrica possível de ser gerada:

118.980 kJ (R\$ 8,00);

- Em termos financeiros, poder-se-ia considerar a economia obtida em não consumir a energia elétrica proveniente da concessionária de distribuição da mesma, mas em termos de energia, seria duplamente contabilizada.

Logo, saída – entrada = $(396.196,00 + 118.980,00)$ kJ - $(1.962,49 + 621,48 + 14.438,00)$ kJ = $(515.176,00 - 17.021,97)$ kJ = **498.154,03 kJ/100 kg de carne suína produzida ou SV.**

Dos valores acima também deduz-se que a energia de entrada (custos) é aproximadamente 3,3% da energia de saída (resultados), de um biodigestor, onde inclui a redução do adubo químico devido ao uso do biofertilizante.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões gerais

Este trabalho, além dos cálculos demonstrando as reais possibilidades de conversão energética do biogás e o quanto é capturado de gás metano, não sendo lançado na atmosfera, também demonstrou as grandes dificuldades financeiras e administrativas para implantar um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e ao mesmo tempo utilizar o biogás como fonte energética.

Dentro da idéia da Qualidade e Produtividade à qual este trabalho está vinculado, pode-se concluir que uma suinocultura com as características abordadas neste trabalho, pode ganhar em cinco aspectos:

- **MDL com Linha de Base para a queima de CH₄** – Ganho para o meio ambiente e ganho com os Créditos de Carbono para empresa investidora ou para o próprio suinocultor.

- **Geração de energia elétrica com Grupo motor/gerador, associado ou não com MDL** – Ganho para o suinocultor, pois a energia gerada irá substituir a energia comprada da rede.

- **Venda da energia elétrica gerada** – Ganho para o suinocultor, pois o mesmo poderá comercializar com a concessionária. Ganho também com Créditos de Carbono, pois uma nova Linha de Base poderá ser criada com a diminuição da geração de energia gerada pelo sistema elétrico brasileiro. Com isto, ganho indireto do meio ambiente.

- **Ganho na redução do uso de adubo químico nas lavouras** – Ganho do meio ambiente. Ganho também ao produtor, pois além de reduzir custos com insumos agrícolas, o Tempo de Retenção hidráulica do biofertilizante acondicionado em tanque com biodigestor, é significativamente menor que um tanque sem biodigestor.

- **Uso do biogás para aquecer os pequenos animais, principalmente no período de inverno** – Ainda não implantado até o final deste trabalho, mas em

análise. Ganho para o suinocultor, pois deixará de consumir o GLP e irá substituir o mesmo pelo biogás.

Como “conclusão prática”, observada *in loco* e em contato com os proprietários e com o setor operacional da Empresa Investidora em Créditos de Carbono, observou-se, as enormes dificuldades em utilizar o biogás e ao mesmo tempo o MDL implantado não perder a validação ou não diminuir a quantidade de Créditos de Carbono recebidos, tanto que, apesar das intenções dos proprietários da suinocultura e dos fabricantes de Grupo Motor/Gerador, não foi possível a instalação de uma unidade, sem que para isto fossem necessários outros investimentos por parte do suinocultor e novas auditorias de conformidade e calibração de equipamentos, segundo a metodologia aprovada nos moldes do Protocolo de Kyoto, estas, porém por conta dos proprietários da granja.

Nas duas medições realizadas em um período de 24 h, nos dias 13 e 14 de outubro de 2009, obteve-se 873,52 m³ de biogás naquele dia. Entretanto, nas duas medições realizadas em um período de 229 dias, obteve-se 612,12 m³/dia. Conclui-se com isso que, são muitas as variáveis, como temperatura, diluição, quantidades de sólidos totais, o que poderia tornar errônea a medição de um único dia e tomar a mesma por base para realização de cálculos.

Com base no que foi calculado em 4.7, conclui-se que, se investido puramente na geração de energia elétrica, tem-se uma rentabilidade 25% ao investimento em um MDL somente para lucrar com os Créditos de Carbono; porém este cálculo, baseado em tarifas, é simplista e não pode ser considerado de maneira real.

As conclusões referentes às dificuldades financeiras para implantar um MDL, estão relacionadas com acesso ao crédito e alguns outros obstáculos. Pode-se resumir esses em:

- Alto custo para implantação de projetos.
- Ausência de qualquer tipo consultorias para os suinocultores, seja para esclarecimento dos custos e benefícios, do processo de implantação e de procedimentos para manutenção.

Dentro do mesmo foco, também existem dificuldades técnicas para calibração e certificação de geradores de energia elétrica, que utilizam o biogás, mantendo o projeto do MDL.

5.2 Recomendações de temas para futuras pesquisas

a)- Uma sugestão para estudo, independente de aprovação de MDL, mas visando a geração de energia elétrica, seria a substituição do Grupo Motor/Gerador do tipo Ciclo Otto por turbina, onde os custos com manutenção seriam menores.

b)- Estudo da legislação e normas para a venda da energia excedente à Concessionária de Energia Elétrica. Suas implicações tributárias e impactos na economia.

c)- Assim como ficou demonstrado, através de análise matemática, o balanço energético de um biodigestor de suinocultura, pode-se realizar trabalho semelhante, tendo este por base ou não, em biodigestor associado à criação bovina confinada ou semi-confinada.

Com suas características próprias, os dejetos bovinos possuem maior teor de sólidos totais e menor quantidade de água. Como ainda não existe legislação específica de tratamento de dejetos de bovinos, da mesma maneira como existe para dejetos suínos, pode-se pensar em criar um projeto de MDL para criação bovina confinada ou semi-confinada, cuja Linha de Base e as fronteiras do sistema seja mais abrangentes.

5.3 Confronto entre valores obtidos e literatura existente

Determinação da produção do biogás em função do número de suínos no plantel e da fase de criação.

Também, na suinocultura, existe uma relação estimada de produção de biogás em função das etapas da criação de suínos, em tabela já vista na revisão da literatura (2.6 – Tabela 3) e reproduzida aqui:

Tabela 3 - Produção de biogás em função da criação

Fase da criação diária (m³/animal/dia)	Produção
Porca reprodutora em ciclo fechado	0,866
Porca produtora em criação de leitões	0,933
Porco em exploração de engorda	0,799

Fonte: www.agrener.com.br

Considerando que no Ciclo Completo, toda a produção de dejetos é remetida ao número de matrizes e considerando o valor obtido de biogás na medição direta como **612,12 m³/dia**:

$$610 \times 0,933 \text{ (porca em criação)} = 569,13 \text{ m}^3 \text{ de biogás estimado A}$$

$$70 \times 0,866 \text{ (porca ciclo fechado)} = 60,62 \text{ m}^3 \text{ de biogás estimado B}$$

Logo, $A + B = \mathbf{629,75 \text{ m}^3/\text{dia}}$, o qual praticamente o mesmo da leitura direta, confirmando de maneira positiva o resultado do trabalho, de acordo com a literatura vigente.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NORMA ISO 1585**: veículos rodoviários: código de ensaio de motores: potência líquida efetiva. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NORMA ISO 14001**. Sistema da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. ABNT, 2004.

_____. **NORMA ISO 2288**. Motores de máquinas e tratores agrícolas. ABNT, 1979.

_____. **NORMA ISO 789**: Tratores Agrícolas - Procedimentos de Ensaio (Correspondência: ASAE S209.5, SAE J708, UNE 68). Aves. Comunicado Técnico, 417).

AGRENER. Revista Eletrônica da UNICAMP. Campinas, São Paulo, 2008.

BAVARESCO, A.S. do L. **Lagoas de aguapés no tratamento terciário de dejetos de suínos**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

BLEY JÚNIOR, C.J. **Projeto de controle da contaminação ambiental decorrente da suinocultura no Estado do Paraná**. Curitiba: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

BRAGA, N.G. **A água virtual**. 2008. Disponível em: http://www.cofecon.org.br/index.php?option=com_content&task=view&id=1607&Itemid=99. Acesso em: 19 ago. 2009.

CARDOSO, P.H. (Coord.) – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro/RJ, 2008. Disponível em www.cebeds.com.

CASTANHO, D.S; ARRUDA, H. J. **Biodigestores**. Artigo científico. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa/PR, 2008.

CCE - Centro para a Conservação de Energia. Guia Técnico de Biogás. AGEEN - Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000.

COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para a geração de energia elétrica e irrigação em rurais. **Dissertação**. jun./2006.

D'AVIGNON, A.; La ROVERE, E.L. (Coord.). **Manual de auditoria ambiental**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

DUARTE, G. **Dados Técnicos sobre Créditos de Carbono**. (mensagem pessoal). Mensagem recebida por <jcbrondani@gmail.com> em jan-set. 2009.

EMPRESAS FOCKING; BRANCO MOTORES, Panambi, RS; Curitiba, PR, 2009.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Estadual n.º 37.033, de 21 de novembro de 1996**. Regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994.

FARIA, C. **Fatores que Influenciam na Biodigestão Anaeróbia para produção de Biogás**. 2008. Disponível em: <http://www.infoescola.com/energia/fatores-que-influenciam-na-biodigestao-anaerobia-para-producao-de-biogas/>. Acesso em: 11/5/2010 22:59).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Pesquisa da Pecuária Municipal, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Populacional 2003. Município de Santa Rosa, RS, 2007.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, 1997.

LA FARGE, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995.

LERSCH, A. (Coord.). **Regulamento de Instalações Consumidoras em Baixa Tensão (RIC-BT)**: Manual Técnico. Porto Alegre, 2006 (AES SUL, CEEE, RGE).

LINDNER, E. A. **Diagnóstico da suinocultura e avicultura em Santa Catarina**. Florianópolis: FIESC-IEL, 1999 1 CD -ROM.

MESQUISA, A. G. **Aquecimento Global e o Mercado de Créditos de Carbono**. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/composer>. Acesso em: 02 mar. 2009.

Ministério de Ciência e Tecnologia – **Manual Para Submissão de Atividades de Projetos no Âmbito do MDL**. Brasília, 2008.

NETO, M. **Linhas de financiamento para MDL**. Unidade de Desenvolvimento Sustentável (UDS). Banco do Brasil. Maria/RS, (mensagem pessoal). Mensagem recebida por <jcbrondani@gmail.com> em jan. 2010.

OCDE – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Código 2 - Ensaio de performance de tratores agrícolas e florestais.

OLIVEIRA (1993); BIPERS EMBRAPA/EMATER, RS (1998).

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Projeto de biodigestores e estimativa de produção de biogás em sistema de produção**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 417).

PERDOMO, C.C. Suinocultura e meio ambiente. In: WORKSHOP: MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E A AGROPECUÁRIA BRASILEIRA, 1, 1999, Campinas. Memória. Embrapa Meio Ambiente, 1999. p.43.

PIEPER, N. A. (Coord.). **Controle da contaminação ambiental decorrente da suinocultura no Estado do Rio Grande do Sul**: manual técnico/Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2.ed. Porto Alegre: SEMA, 2006. V.1 – il.

PIEPER, N. A. (Coord.). **Controle da contaminação ambiental decorrente da suinocultura no Estado do Rio Grande do Sul**: manual técnico/Secretaria Estadual do Meio Ambiente. 2.ed. Porto Alegre: SEMA, 2006. V.2 – il.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**. v. 14. n. 1, p. 65-76. 2005.

RIBEIRO, M. S. **Contabilidade Ambiental**. São Paulo: Saraiva, 2008.

RUSSINI, A. **Dados Técnicos sobre consumo de óleo Diesel em tratores.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - UFSM (mensagem pessoal). Mensagem recebida por <jcbrondani@gmail.com> em out-dez. 2009.

SEGANDREDO, M. A. **Gestão Ambiental na Suinocultura.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

SEGANFREDO, M. A.; GIROTTI, A. F. **Tratamento dos dejetos suínos e seu impacto econômico em unidades terminadoras.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. (Embrapa Suínos e Aves, 2004).

SHINYASHIKI, R. **A coragem de confiar.** São Paulo: Editora Gente, 2009.

SMDA BR05-B-08, PARANÁ E RIO GRANDE DO SUL – BRASIL – 22 DE MAIO DE 2006

WEYDMANN, C. L. O padrão concorrencial na agroindústria suína e as estratégias ambientais. In: GUIVANT, J.; MIRANDA, C. (Org.). **Desafios para o desenvolvimento sustentável da suinocultura.** Chapecó, [s.n.].

ANEXOS

ANEXO A – Relatório de validação do MDL



Relatório de Validação

AgCert International Ltd., Irlanda

**VALIDAÇÃO DO PROJETO DE MITIGAÇÃO SMDA
GEE BR05-B-08, PARANÁ E RIO GRANDE DO SUL
– BRASIL.**

Relatório nº 711657, Revisão 1

22 de maio de 2006

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Serviço de Gestão de Carbono
Westendstr. 199 - 80686 Munique - ALEMANHA

ANEXO B

Critérios para queima ou utilização do biogás

As empresas investidoras e proprietárias dos biodigestores e equipamentos de monitoramento e queima do biogás (para transformar o metano em dióxido de carbono), liberam a utilização do mesmo ao suinocultor, para uso onde mais lhe convém: geração de energia elétrica, substituição do GLP. Qualquer que seja a opção, deve-se atender às Diretrizes de Uso do Biogás.

Abordando inicialmente a utilização do biogás como aquecimento interno da suinocultura, nos meses de inverno, especialmente para as matrizes e a creche, depara-se com uma situação específica: o percentual de queima deste gás deve ser de no mínimo 98% comprovadamente. Mesmo instalando-se queimadores (*flares*) adequados e específicos para o metano, cada um destes deve ter sua certificação do percentual de queima mínima, anteriormente citado, por empresa credenciada. Todo este custo de instalação e certificação compete ao proprietário do estabelecimento (salvo quando o contrato estabeleça formas diferentes).

A prática tem mostrado, nas suinoculturas já contempladas com os Créditos de Carbono, que a instalação de apenas um queimador, onde a empresa investidora controla a queima em um único ponto, tem sido a opção mais viável. Observa-se melhor no fluxograma da Figura 16, seguindo uma seqüência padrão de queima dos hidrocarbonetos no *flare*, abaixo descrito:

SISTEMA PADRÃO PARA QUEIMA DO BIOGÁS COM O USO DO "FLARE"

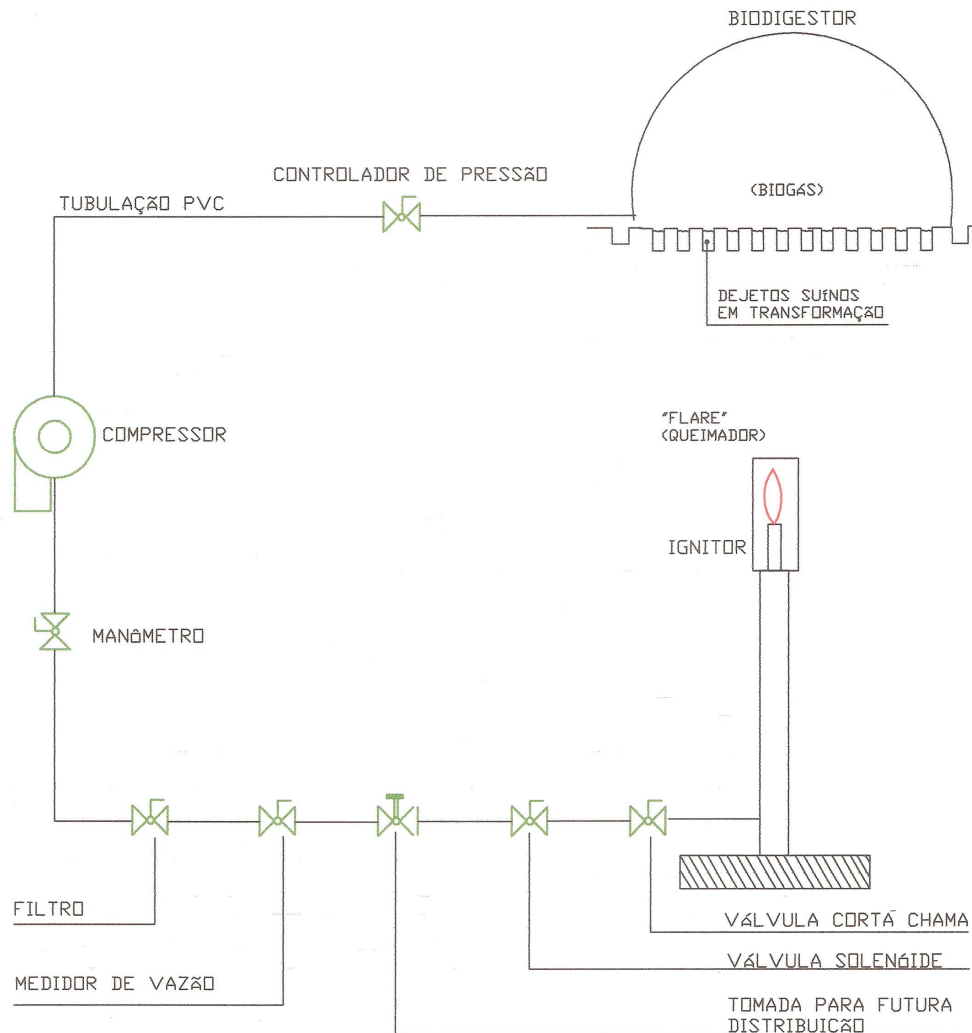


Figura 16 - Fluxograma da queima do biogás

Fonte: Elaborado pelo autor

- 1) Quando o transmissor de pressão indicar que a pressão de gás atingiu o valor de 10 mmCA o Soprador entrará em funcionamento e terá início a seqüência de partida;
- 2) O temporizador após o tempo programado acionará o transformador de ignição e a abertura da válvula solenóide, permitindo o fluxo do biogás;
- 3) Após o acendimento do *flare*, um sensor de temperatura (termopar) passará a monitorar a temperatura da chama;
- 4) Quando o transmissor de pressão indicar que a pressão de gás atingiu o valor de 6 mmCA o sistema será desarmado evitando assim o consumo excessivo

de biogás para que a pressão interna do biodigestor não reduza ao ponto de ocasionar rebaixamento da manta superior.

Em caso da chama não se confirmar no procedimento inicial de “start” do sistema, o circuito fechará a válvula solenóide desligará o Soprador e todo o processo será reiniciado a partir do item 1.

Data logger um equipamento muito usado em projetos de MDL de grande porte para controlar parâmetros, como por exemplo temperatura da chama e vazão do biogás, os quais são transferidos para um computador, mas não em tempo real. Na Granja Ipê, o controle é feito diretamente no local, com analisador da concentração do gás metano.

Uma alternativa a ser pesquisada, é o aquecimento indireto; por exemplo: o calor da chama do *flare* é usado para aquecer água, a qual circulará no interior das baias, por meio de serpentinas, aquecendo a mesma por calefação.

No que se refere à geração de energia elétrica, a eficiência mínima de queima do biogás também deve ser a mesma, ou seja, a saída do motor que aciona o gerador deve apresentar percentual mínimo de queima de 98%, comprovadamente. O motor deve possuir laudo de análise de hidrocarbonetos, realizada no local, por empresas credenciadas pelo INMETRO.

Existem também critérios para o sistema inter-travado de geração de energia elétrica com queimadores, ou seja, quando o motor não absorve todo o gás produzido no biodigestor, porém não será abordado aqui.

A válvula de retenção de gás, um solenóide, instalado antes do queimador (*flare*), deve estancar o biogás imediatamente. Não deve haver resíduo do mesmo sendo jogado à atmosfera.

Se algum dos itens não atender, os valores recebidos pelos Créditos de Carbonos irão decair. Na realidade, será necessário maior quantidade de biogás para formar um Crédito de Carbono, não mais os 110 m³, como será abordado em **4.5 e 4.6**.

No *flare* de alguns projetos há a necessidade de medição da temperatura da queima, sendo necessário o uso de *Data Logger* para medição de vazão e temperatura, ou seja, o equipamento informa através de um programa as duas informações. Se eventualmente, na medição, a temperatura não estiver de acordo, o sistema entende que não está queimando e não serão certificados os créditos ou será necessário um volume maior de biogás para formar um Crédito de Carbono. Ele

armazena os dados, os quais são descarregados no computador e posteriormente as informações são enviadas para os auditores credenciados, mas não o transmite em tempo real.

No caso da suinocultura objeto desta pesquisa, não foi exigido o uso de *Data Logger*, mas por outra a eficiência é avaliada a cada três meses, com equipamento devidamente calibrado. A eficiência é medida através das concentrações de metano e dióxido de carbono, antes e após a queima dos gases, sem levar em consideração a temperatura da queima.

Porém, estes não são os únicos critérios para a creditação. Existe também o critério da produção do biogás associado com o plantel de suínos. No endereço eletrônico da UNFCCC, existe uma fórmula para calcular os Créditos de Carbono de acordo com o número de animais, fase da criação, volume de gás queimado, composição dos gases. Dependendo de cada um destes itens, serão necessários maior ou menor volume de gás queimado para formar um Crédito de Carbono (Fonte: DUARTE, G – setor operacional da Empresa Investidora em Créditos de Carbono).

Tomando-se um exemplo hipotético:

Uma granja possui 1000 animais em fase de terminação e um potencial para gerar 100 m³, mas está gerando 150 m³ dia. Somente serão certificados 100 m³, ou seja, pelo potencial que 1000 animais podem gerar.

Se ocorrer o contrário, 1000 animais em fase de terminação com potencial para produzir 100 m³ dia e produzir apenas 50 m³, serão certificados os créditos pela medição verificada no equipamento.

Sempre será certificado o menor volume, medido ou previsto (DUARTE, 2009).

ANEXO C

Produção do biogás e cálculo do seu equivalente em energia elétrica

Demonstra-se aqui o cálculo da produção do biogás na Granja Ipê:

A seguir, duas medições e os cálculos correspondentes, realizadas na suinocultura em estudo (Santa Rosa/RS), entre os dias 14 de outubro de 2009 e 1º de janeiro de 2010:

Data	Horário	Valor lido (m ³)
14/10/2009	15:50 h	670798,67 (A)
01/06/2010	11:48 h	807543,54 (B)

Diferença entre (A) e (B) resultou em 136.744,87 m³ de biogás, no período de 229 dias.

NOTA: Ao dia 08 de maio de 2010, ocorreu uma limpeza geral dentro das baias da suinocultura, com aplicação de produtos químicos e raspagem de sedimentos calcários. Ocorreu que os sedimentos inorgânicos oriundos desta raspagem, junto com resíduos dos produtos utilizados, afluíram para o primeiro biodigestor. Houve entupimento parcial do biodigestor, transbordamento dos dejetos em ponto anterior à entrada do mesmo, e conseqüente mortandade de grande parte das bactérias necessárias à formação do gás metano. Estipulou-se que a produção de biogás, neste período, ficou reduzida entre 50 e 60% da capacidade total de produção. Este período abrangeu da data anteriormente mencionada até o dia dos últimos registros (Fonte: Granja Ipê).

Leitura em datas deste período:

Data	Horário	Valor lido (m ³)
01/06/2010	11:48 h	807543,54 (C)
02/06/2010	11:48 h	807916,45 (D)

Resultando em uma diferença entre (C) e (D) de 372,91 m³ de biogás. Como citado anteriormente, o valor acima está cerca de 40% abaixo da capacidade máxima produtiva. Por interpolação, corrigindo este valor, chega-se à 149,16 m³ que deixou de ser produzido diariamente.

Logo: 149,16 m³ x 23 dias = 3.430,70 m³, que deixou de ser produzido no período de 23 dias devido ao incidente.

Logo: 136.744,87 m³ + 3.430,70 m³ = 140.175,57 m³

140.175,57 m³/229 dias = **612,12 m³**. Esta é a produção diária de biogás da Granja Ipê.

Considerando agora, a quantidade possível de energia elétrica a ser gerado, a partir da produção do biogás:

Considerando a equivalência de 1,0 m³ de biogás (com 65% de gás metano), como sendo capaz de produzir 1,8 kW de potência elétrica final ou 1,8 kWh de energia (já descontadas todas as perdas de um Ciclo Otto), segundo informações privadas dos próprios fabricantes de geradores específicos, já visto na Revisão da Literatura, tem-se:

$$612,12 \text{ m}^3 \text{ biogás} \times 1,8 \text{ kW} = 1.101,82 \text{ kW/dia.}$$

Dividindo o resultado acima por 24, para ter a produção em kWh, chega-se a **45,91 kWh**.

Considerando o consumo de energia elétrica da suinocultura anteriormente detalhado, como sendo uma média mensal aproximada de 16000 kWh, e dividindo este valor por 30 para obter a média de consumo diário, chega-se a 533,30 kWh. Mais uma vez, dividindo este último valor por 24, para obter a média de consumo por hora, chega-se a **22 kWh**. Com isto conclui-se que a quantidade de energia elétrica possível de ser produzida pela granja, é duas vezes superior ao consumo da mesma.

Transportando este valor para o equivalente à 100 kg de carne suína:

1101,82 kWh/dia/3.333 kg carne dia = 0,3305 kWh/kg ou **33,05 kWh possível de ser gerado por unidade de SV**.

Considerando a taxa rural comercial de R\$ 0,2421/kWh,

logo:

$$\text{R\$ } 0,2421/\text{kWh} \times 33,05 \text{ kWh} = \text{R\$ } 8,0 \text{ ou } \text{€ } 3,2/100 \text{ kg de carne produzida}$$

Considerando $1W = 3600 J$, tem-se:

$33.050,0 W \times 3600 J = 118.980.400 J$ ou **118.980,40 kJ de energia possível de ser produzida para cada 100 kg de carne suína**. Este valor entrará no balanço energético do biodigestor.

ANEXO D

Valores recebidos pelos Créditos de Carbono - Projeto de MDL da Granja Ipê

No caso do presente trabalho, com seu respectivo M.D.L., os valores oscilaram, no período pesquisado, entre 10 e 18 Euros, resultando a média de 14 Euros.

Sendo a produção diária de biogás de 612,12 m³,

logo:

$$612,12 \text{ m}^3 / 110 \text{ m}^3 = \mathbf{5,56 \text{ Créditos de Carbono/dia}}$$

Considerando o valor médio de 14 Euros por Crédito, chega-se à **R\$ 197,71 ou € 77,84 dia** (sendo 90% deste valor destinado à Empresa Investidora em Créditos de Carbono e 10% aos proprietários da suinocultura).

Transportando o valor acima para o equivalente a 100 kg de carne suína:

$$€ 77,84/\text{dia} / 33,33 \text{ unidades de } 100 \text{ kg carne suína} = € \mathbf{2,33} \text{ ou } \mathbf{R\$ 5,93/SV}.$$

Para obter o valor acima em Joules:

612,12 m³/dia/33,33 unidade padrão = 18,36 m³ para cada 100 kg de carne produzida;

Como abordado em **2.5**, nas equivalências energéticas do biogás, sabe-se que 1 m³ equivale a 1,428 kW,

logo:

$$18,36 \text{ m}^3 \times 1,428 \text{ kW} = 26,22 \text{ kW}$$

Como 1 W = 3600 J, chega-se a:

94.392 kJ/SV. Este valor não entrará no balanço energético do biodigestor, pois é um valor referenciado aos Créditos de Carbono, valores monetários. O valor que entrará no balanço, é aquele da energia elétrica possível de ser gerada (4.4).

ANEXO E

Cálculo do custo de aquisição e manutenção de um Grupo motor/gerador de energia elétrica

Os dados abaixo descritos, são provenientes de empresa fabricante de Grupo motor/gerador específico para biogás. Esta empresa encontra-se estabelecida no Município de Panambi - RS. Os dados referem-se à proposta técnica/comercial elaborada em outubro/2008, não anexa, e destinada especificamente à suinocultura objeto deste trabalho:

- Grupo motor/gerador à biogás, trifásico, $V_{saída}=380$ V, 60 Hz, 4 polos/1800 RPM, 70 kVA/56 kW.

- A composição do biogás, deve conter mínimo de 65% de metano.

- Valor de aquisição: **R\$ 85.000,00 ou € 33.398,82.**

O custo de manutenção mensal, deve-se principalmente ao biogás, o qual é corrosivo e o motor alimentado por ele deve ser retificado a cada 8000 horas – o custo desta manutenção é distribuído ao longo dos meses, para fins de comparação e cálculo. Foi considerado o Grupo motor/gerador trabalhando 15 horas por dia, conforme a Tabela 5:

Tabela 5 – Estimativa de gastos em manutenção mensal

Descrição	Custo
Manutenção periódica (velas e óleo lubrificante)	R\$ 360,00
Manutenção a longo prazo (retífica a cada 8000 h)	R\$ 480,00
Total	R\$ 840,00 ou € 328,60

Fonte: Focking (2009)

Cálculo do custo de aquisição em função da carne suína produzida:

O Grupo motor/gerador acima descrito, possui vida útil estimada em 32.000 h.

Considerando 15 horas de funcionamento por dia:

$$15 \text{ h} \times 30 \text{ dias} = 450 \text{ h/mes}$$

$$450 \text{ h/mes} \times 12 \text{ meses} = 5400 \text{ h/ano}$$

$$32.000 \text{ h} / 5400 \text{ h/ano} = 5,93 \text{ anos ou, por regra de três, } \mathbf{5 \text{ anos, } 11 \text{ meses e}}$$

5 dias de vida útil para o Grupo motor/gerador trabalhando 15 horas diárias.

Logo:

$$\text{R\$ } 85.000 / 5,93 \text{ anos} = \text{R\$ } 14.333,9/\text{ano}$$

$$\text{R\$ } 14.333,9 / 12 = \text{R\$ } 1.194,5/\text{mês}$$

$$\text{R\$ } 1.194,5 / 30 = \text{R\$ } 39,82/\text{dia}$$

$$\text{R\$ } 39,82 / 3.333 \text{ kg carne dia} = 0,011946$$

$$0,011946 \times 100 = \mathbf{\text{R\$ } 1,195/\text{SV (A)}}.$$

Cálculo da manutenção mensal em função da carne produzida:

$$\text{R\$ } 840,00 / 30 \text{ dias} = \text{R\$ } 28,00/\text{dia}$$

$$\text{R\$ } 28,00/3.333 \text{ kg carne dia} = \text{R\$ } 0,008401/\text{kg carne dia}$$

$$\text{R\$ } 0,008401 \times 100 = \mathbf{\text{R\$ } 0,84/\text{SV (B)}}.$$

Logo, **(A) + (B) = R\$ 2,035 ou € 0,796 para cada 100 kg de carne suína produzida (ou unidade de SV), necessário para pagar a aquisição e manutenção do Grupo motor/gerador.**

A empresa fabricante do Grupo motor/gerador, também considera a possibilidade da geração contínua de 30 kWh, durante 15 horas diária e devido à correntes de partida elevadas de alguns motores no setor de fabricação de ração da suinocultura, durante alguns períodos do dia, a compra parcial de energia elétrica da concessionária, em fase com a produzida. O mesmo não está em anexo e não será abordado aqui.

Considerando a Tabela 7 **(4.13)**, uma hora de trabalho de um homem, possui o equivalente à 1.050 kcal.

Considerando a troca de velas e óleo do motor a cada mês, estipula-se para facilidade dos cálculos, duas horas trabalhada por mês, por um homem, pois a tarefa é bastante simples: **2100 kcal/hora-homem (C).**

Considerando a manutenção a cada 8000 h para retífica. Estipula-se, para facilidade de cálculos, dois homens trabalhando durante dois dias contínuos:

8000 h/15 h de funcionamento-dia = 533,33 dias ou 1 ano, seis meses e 15 dias (17,5 meses), para cada retífica, logo:

1.050 kcal/hora-homem x 2 homens = 2.100kcal x 24 horas = 50.400 kcal/17,5 meses = **2.847,45 kcal/mês (D)**

(C) + (D) = 4.947,45 kcal/ mês.

Em relação a unidade padrão de 100 kg de carne suína:

4.947,45kcal/mês/33,33

148,44 kcal/SV

Em energia:

148,44 kcal x 4,1868J = **621,48 kJ/SV.**

O valor acima é o que entra no balanço energético devido à manutenção do Grupo Motor/Gerador.

ANEXO F

Cálculo da viabilidade comercial de instalação do Grupo motor/gerador em função da economia da compra de energia elétrica da rede pública

Considerando os valores gastos mensalmente com a compra de energia elétrica, já abordado em 4.2, como sendo R\$ 3.790,00 ou € 1.463,32 (média):

$$\text{R\$ } 85.000,00 / \text{R\$ } 3.790,00 / \text{mês} = 22,43 \text{ meses}$$

Porém, a cada 22,43 meses, deve-se acrescentar o valor da manutenção mensal, o qual gira em torno de R\$ 840,00, como abordado em 4.9, logo:

$$22,43 \text{ meses} \times 840,00 = \text{R\$ } 18.839, \text{ então:}$$

$$\text{R\$ } 85.000,00 + \text{R\$ } 18.839,00 = \text{R\$ } 103.839,00 \text{ seguindo:}$$

$\text{R\$ } 103.839,00 / \text{R\$ } 3.790,00 = \mathbf{27, 40 \text{ meses ou dois anos, três meses e 11 dias de trabalho do Grupo motor/gerador em funcionamento para que o equipamento se pague.}}$

Deve-se recordar, como visto em **4.9**, que a vida útil estimada do Grupo motor/gerador, é estimada em 5 anos, 11 meses e 5 dias. Isto devido ao gás metano, o qual é corrosivo. Claro que, ao desmembrar o gerador do grupo, este último possuirá uma vida útil consideravelmente maior, porém isto não será abordado aqui.

Cálculo da viabilidade comercial de instalação do Grupo motor/gerador em função da economia da compra de energia elétrica da rede pública

Considerando os valores gastos mensalmente com a compra de energia elétrica, já abordado em 4.2, como sendo R\$ 3.790,00 ou € 1.463,32 (média):

$$\text{R\$ } 85.000,00 / \text{R\$ } 3.790,00 / \text{mês} = 22,43 \text{ meses}$$

Porém, a cada 22,43 meses, deve-se acrescentar o valor da manutenção mensal, o qual gira em torno de R\$ 840,00, como abordado em 4.9, logo:

$$22,43 \text{ meses} \times 840,00 = \text{R\$ } 18.839, \text{ então:}$$

$$\text{R\$ } 85.000,00 + \text{R\$ } 18.839,00 = \text{R\$ } 103.839,00 \text{ seguindo:}$$

$\text{R\$ } 103.839,00 / \text{R\$ } 3.790,00 = \mathbf{27, 40 \text{ meses ou dois anos, três meses e 11 dias de trabalho do Grupo motor/gerador em funcionamento para que o equipamento se pague.}}$

Deve-se recordar, como visto em 4.9, que a vida útil estimada do Grupo motor/gerador, é estimada em 5 anos, 11 meses e 5 dias. Isto devido ao gás metano, o qual é corrosivo. Claro que, ao desmembrar o gerador do grupo, este último possuirá uma vida útil consideravelmente maior, porém isto não será abordado aqui.

ANEXO G

Custo de implantação dos biodigestores, aprovação do MDL e sua manutenção na granja objeto desta pesquisa

Segundo informações da Empresa Investidora em Créditos de Carbono, o custo total de implantação, na suinocultura base desta pesquisa, em 2007:

Biodigestores + Equipamentos de medição e queima + Processo de aprovação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo = R\$ 230.000,00 e a vida útil dos mesmos, considerada 10 anos.

De acordo com o contrato firmado, a Empresa Investidora nos Créditos de Carbono, é responsável por todo investimento e possíveis manutenções no sistema. Ao suinocultor, cabe o fornecimento contínuo dos dejetos suínos nos biodigestores.

90% dos Créditos de CarbonoEmpresa Investidora

10% dos Créditos de Carbono.....Suinocultor

#Obs.: Não foi possível ter acesso aos dados, para discriminar o percentual do investimento que se refere aos biodigestores e equipamentos e o percentual referente ao processo de aprovação do MDL, portanto será considerado como um valor total.

R\$ 230.000,00 / 10 anos = R\$ 23.000,00 ano

R\$ 23.000,00 / 12 meses = R\$ 1.917,00 mês

R\$ 1.917,00 / 30 dias = **R\$ 64,00/dia ou € 25,20/dia**

No valor acima não estão incluídos valores com manutenção e possíveis juros de financiamentos externos.

Relativamente à 100 kg de carne suína:

R\$ 64,00/3.333 kg = R\$ 0,019202/kg ou

R\$ 1,92/SV ou € 0,76/SV.

Ou seja, o valor acima significa que são necessários R\$ 1,92 ou € 0,76 para cada unidade se SV de carne produzida e comercializada para pagar todo o investimento de biodigestores, equipamentos e aprovação do projeto de MDL, ao longo de 10 anos. Considerando a vida útil do sistema como 10 anos e não considerando juros de possíveis financiamentos externos, manutenção nos biodigestores e equipamentos e custos das auditorias de creditação e aferição de equipamentos por empresas credenciadas ao INMETRO.

ANEXO H

Cálculo do custo da água utilizada na suinocultura relativo ao consumo de energia elétrica para captação da mesma

Como a Granja Ipê utiliza dois poços artesianos para a captação da água, os cálculos serão realizados para ambos e, ao final, somados.

Ambos funcionam simultânea ou alternadamente, ou seja, não é deixado um como reserva e outro operacional contínuo, segundo informações dos proprietários.

A - Poço artesiano provido de bomba centrífuga acionada por motor elétrico trifásico de 15 CV/380 V, com capacidade de fornecimento de 30m³ de água por hora; possui profundidade de 175m.

B - Poço artesiano com bomba centrífuga acionada por motor elétrico trifásico de 6CV/380V, com capacidade de fornecimento de 6m³ de água por hora; possui profundidade de 275m.

O consumo diário de água de toda granja, como visto em **4.12**, situa-se entre 100 e 120m³ diário, porém o percentual destinado somente à parte operacional do tratamento de animais é estimado em 50% aproximadamente, como abordado em **4.3**. Considerando que os motores elétricos e bombas centrífugas tenham sido corretamente dimensionados e empregados, o consumo de energia elétrica é independente da profundidade dos poços.

Cálculo do consumo de energia dos motores elétricos:

A - Motor de 15 CV:

Através do manual técnico Regulamentação das Instalações Consumidoras em Baixa Tensão (RIC-BT), no seu anexo G, obtém as relações CV/kVA:

15 CV corresponde a uma carga de 12,7 kVA.

Considerando o Fator de Potência para os motores como sendo 0,7 e ajustando os valores:

$$12.7 \text{ kVA} \times 0,70 = 8,89 \text{ CV}$$

$$8,89 \text{ CV} \times 736 \text{ W} = 6.543 \text{ W}$$

O valor acima calculado é a potência ativa consumida, ou na forma de kWh:

$$6,543 \text{ kWh.}$$

Considerando que o poço fornece 30 m^3 de água por hora, em três horas de funcionamento deste motor, tem-se o total do dia para este, ou seja, 90 m^3 . Os restantes 30 m^3 para perfazer a quantidade diária de 120 m^3 , são fornecidos pelo outro poço. Não necessariamente nesta proporção, mas assim adotado pela facilidade de cálculo. Logo:

$$6,543 \text{ kW} \times 3 \text{ h/dia} = 19,629 \text{ kWh/dia}$$

$$19,629 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias/mês} = 588,87 \text{ kWh mês}$$

Considerando a tarifa de R\$ 0,242104/kWh, como abordado em **4.2**:

$$588,87 \text{ kWh mês} \times \text{R\$ } 0,242104/\text{kWh} = \text{R\$ } 142,57/\text{mês.}$$

B - Motor de 6 CV:

Pelo mesmo manual técnico RIC-BT, na tabela apropriada de equivalência CV/KVA, não existe valor correspondente à potência de 6CV, porém, existe para 5CV: 5CV corresponde à 5,40 kVA, logo por interpolação simples, já que as relações na tabela são aproximadamente lineares:

$$5 \text{ CV} \dots\dots\dots 5,40 \text{ kVA}$$

$$6 \text{ CV} \dots\dots\dots X \text{ kVA}$$

Logo, 6 CV corresponde a 6,48 kVA

Aplicando o Fator de Potência 0,7 para ajustar os valores para potência ativa (consumo real):

$$6,48 \text{ kVA} \times 0,7 = 4,54 \text{ CV, logo:}$$

$$4,54 \text{ CV} \times 736 \text{ W} = 3.341,44 \text{ W}$$

Ou ao longo de uma hora, em forma de kWh: 3,341,44 kWh

Considerando a capacidade de 6 m^3 de água por hora, no poço B:

$$30 \text{ m}^3 \text{ (para perfazer os } 120 \text{ m}^3)/6 \text{ m}^3/\text{h} = 5 \text{ horas de funcionamento, logo:}$$

$$3,34144 \text{ kWh} \times 5 \text{ h/dia} = 16,71 \text{ kWh/dia, portanto:}$$

$$16,71 \text{ kWh/dia} \times 30 \text{ dias/mês} = 501,21 \text{ kWh/mês}$$

Considerando a tarifa de R\$ 0,242104/kWh:

$R\$ 0,242104/kWh \times 501,21 = R\$ 121,34$

Fazendo o somatório de A + B = **R\$ 263,90/mês ou € 103,49/mês.**

Do total em kWh: **1.090,08 kWh/mês.**

Este é o custo de energia elétrica para a captação de água dos poços, para todos os serviços da granja.

Porém, como a quantidade total de água extraída dos poços artesianos, cerca de 50% é destinada ao tratamento dos animais (irá entrar no balanço energético), divide-se os valores acima por dois e tem-se **R\$ 131,95/mês ou € 51,74/mês.**

Relacionado com a unidade padrão de 100 kg de carne suína:

Como a granja comercializa uma média de 100.000 kg de carne suína/mês:

$100.000 \text{ kg} / 100 \text{ kg} = 1000$ unidades de 100 kg de carne suína, logo:

$R\$ 131,95 / 1000 = \mathbf{R\$ 0,132/SV \text{ ou } € 0,052/SV.}$

NOTA

O consumo de energia elétrica calculado, é somente relativo ao bombeamento da água dos poços e que finalmente terminará no biodigestor. Não é o consumo relativo ao setor produtivo da suinocultura e da granja como um todo.

Transformando estes valores em Joules:

Motor A - $19,629 \text{ kWh/dia} \times 3600 \text{ J} = 70.664 \text{ kJ/dia}$

Motor B - $16,71 \text{ kWh/dia} \times 3600 \text{ J} = 60.156 \text{ kJ/dia}$

Motor A + Motor B = 130.82 kJ/dia

Para obter o resultado relacionado à unidade padrão de 100 kg de carne suína, divide-se por 33,33:

$130.820 \text{ kJ dia} / 33,33 = \mathbf{3.924,99 \text{ kJ/SV.}}$

O valor acima calculado está relacionado com toda a água captada e utilizada na granja, porém o tratamento de animais da suinocultura ocupa 50% (mínimo) desta água, como abordado em 4.3 e 4.12, pois não existe medidor de vazão, logo:

$3.924,99 \text{ kJ} / 100 \text{ kg} / 2 = \mathbf{1.962,49 \text{ kJ/SV.}}$

Com isto comprova-se também, embora não seja um objetivo deste trabalho, que um motor elétrico de grande porte, acionando uma bomba centrífuga, é mais eficiente que dois ou mais motores elétricos, perfazendo a mesma potência.

ANEXO I

Diminuição do uso do adubo químico nas lavouras devido ao uso do biofertilizante

O biofertilizante possui uma quantidade significativa de nitrogênio e potássio, e pouco fósforo, portanto o adubo químico é indispensável para complementar a correta formulação e, deve contemplar aquele composto natural. A dosagem dos principais elementos químicos a ser aplicada, varia de ano para ano e de acordo com a análise do solo, onde será utilizada.

A granja objeto deste estudo, e a qual engloba a suinocultura, em 2009, teve uma área agrícola cultivada de 550 hectares, porém esta área é cultivada e nela é realizada a colheita duas vezes ao ano (culturas de inverno e verão): logo tem-se 1.100 hectares cultivados por ano. Grande parte da produção é destinada ao preparo da ração usada na própria suinocultura, mas de acordo com balanceamento calculado por empresas que atuam no ramo.

Antes do uso do biofertilizante, a granja utilizava entre 500 e 600 kg de adubo químico por hectare ano, ou seja, para as duas culturas - 1.100 hectares. Após o início da utilização do biofertilizante, a aplicação do adubo químico diminuiu no mínimo 40%. O custo do adubo químico é muito variável, dependendo da composição química, mas pode ir desde R\$ 1.000,00 até R\$ 2.200,00 por tonelada (t).

Claro que com valores oscilantes, é difícil estabelecer-se uma média, mas para fins de cálculo para a posterior inserção no Balanço Energético do Biodigestor, firmam-se segundo a Tabela 6.

Tabela 6 – Percentual do adubo químico utilizado

Custo do adubo químico	R\$ 1.600,00 por tonelada
Percentual de diminuição do adubo químico	40%
Utilização do adubo químico sem o biofertilizante	550 kg por hectare

Fonte: Granja Ipê (2009).

Cálculo da diminuição da quantidade de adubo químico nas culturas para posterior uso no balanço energético do biodigestor:

A - Sem o uso do biofertilizante:

550kg/Ha x 1.100 Ha = 605 toneladas de adubo químico no ano, para toda área cultivada, nos dois cultivos, logo:

$$605 \text{ Ha t} \times \text{R\$ } 1.600,00/\text{t} = \text{R\$ } 968.000,00.$$

$$\text{R\$ } 968.000,00/12 \text{ meses} = \text{R\$ } 80.666,00/\text{mês}$$

$$\text{R\$ } 80.666,00/30 \text{ dias} = \text{R\$ } 2.688,80/\text{dia}$$

Para obter-se o valor em relação à carne suína produzida:

$$\text{R\$ } 2.688,80/3.333 \text{ kg carne suína} = \text{R\$ } 0,81/\text{kg ou R\$ } 81,00/100\text{kg (SV)}.$$

O valor acima é alto, mas na realidade não é a carne suína que custeia toda a utilização de adubo químico – apenas uma parte de toda a produção agrícola da granja é usada para a preparação da ração, porém é uma referência para posterior introdução no balanço energético.

B - Com o uso do biofertilizante:

Como a utilização do adubo químico diminuiu em 40% (no mínimo) após a utilização do biofertilizante, tem-se:

$$605 \text{ t} \times 0,60 = 363 \text{ t/ano para os dois cultivos, ou seja, } 1.100 \text{ Ha, logo:}$$

$$363 \text{ t} \times \text{R\$ } 1.600,00 = \text{R\$ } 580.800,00$$

$$\text{R\$ } 580.800,00/12 \text{ meses} = \text{R\$ } 48.400,00/\text{mês}$$

$$\text{R\$ } 48.400,00/30 \text{ dias} = \text{R\$ } 1.613,33/\text{dia}$$

Para obter relativamente à carne suína:

$$\text{R\$ } 1.613,33/3.333 \text{ kg carne suína} = \text{R\$ } 0,484/\text{kg, ou em relação à unidade padrão de } 100\text{Kg: R\$ } 48,40/100 \text{ kg (SV)}.$$

Finalmente:

$$\text{A} - \text{B} = 81,00 - 48,40 = \text{R\$ } 32,60/\text{SV ou € } 12,80/\text{SV}$$

Este é o valor economizado no uso do adubo químico, em relação a 100 kg de carne, embora, como não é desta que parte o custeio principal da lavoura.

Como abordado em **3.7:**

$$1 \text{ g de carne suína} = 4000 \text{ cal (4 kcal)}$$

$$3.333.000 \text{ g} \times 4.000 \text{ cal} = 13.332.000 \text{ kcal ou } 13.332 \text{ Mcal}$$

$$\text{Como } 1 \text{ cal} = 4,1868\text{J:}$$

$$13.332 \text{ Mcal} \times 4,1868 = \mathbf{55.818,42 \text{ MJ}}$$

De outra maneira, são economizados, **R\$ 32,60 ou € 12,80/55.818,42 MJ**, devido ao uso do biofertilizante, porém, para o balanço energético do biodigestor, é necessário um valor em Joules. O valor anteriormente calculado é uma relação de custo envolvendo um valor monetário e uma quantidade estabelecida de carne suína, como padrão. Para obter um valor em Joules (diferente de valor monetário) e associado à unidade de referência que é 100kg de carne suína, é necessário utilizar o NPK - Nitrogênio, Fósforo e Potássio para obter-se a quantidade de energia em Joules necessária para elaborar adubo químico.

Existem outras vantagens no uso do adubo orgânico que não podem ser quantificado em Joules – o fato do adubo orgânico manter os micro organismos do solo, por exemplo. Também, diferentemente do adubo químico, o biofertilizante não é ácido, de maneira que a aplicação do calcário é minimizada ou abolida. Neste particular, quantidade de energia economizada para produzir 1 kg de calcário, pode ser obtido em Joules, de maneira indireta, mas não seria muito significativa no balanço energético, pois seu equivalente energético é baixo e a aplicação do mesmo no solo é realizada em períodos esporádicos.

Existe uma metodologia para compor o adubo químico (NPK), de acordo com as necessidades de cada solo analisado, mas sempre é transcrito na mesma seqüência: primeiro o nitrogênio (N), depois o fósforo (P) e por último o potássio (K) - A numeração ali exposta, representa a relação de cada elemento sobre um saco de 50 kg de adubo químico. Por exemplo, quando se usa somente o adubo químico, uma formulação básica é 10-25-25, ou seja, para cada quantidade de nitrogênio utilizado, serão utilizados 2,5 vezes mais de fósforo e 2,5 vezes mais de potássio (GRANJA IPÊ).

A granja objeto desta pesquisa, como exemplificação, para a cultura do milho, utilizou na safra de verão 2009 a formulação 10-20-20 e para a safra de verão de 2010, 10-20-10, de maneira que é observada claramente a diminuição da utilização do fósforo e do potássio em relação ao uso somente do adubo químico. Na preparação para a safra de milho do verão de 2010, foi utilizado 360 kg de adubo químico – contra a média de 500 a 600 kg/Ha de adubo químico sem o uso do

biofertilizante (600 kg/Ha é uma quantidade muito usada para quem não supre o solo com nenhum tipo de adubo orgânico). Foi colhido 8t/Ha.

Na Tabela 7 observam-se vários equivalentes energéticos, onde está inclusa a quantidade de energia necessária para formular 1 kg de NPK:

Tabela 7 - Itens da entrada de energia da produção agrícola e seus respectivos coeficientes energéticos

Itens da entrada	Coeficientes energéticos
Trabalho humano	1.050 kcal/hora-homem
Trabalho animal	2.050 kcal/hora-animal
Máquinas	20.000 kcal/kg
Óleo Diesel	11.414 kcal/litro
Gasolina	10.109 kcal/litro
Eletricidade	2.863 kcal/kw
Nitrogênio	12.000 kcal/kg
Fósforo	3.000 kcal/kg
Potássio	1.600 kcal/Kg
Adubo químico	(correspondente a NPK)
Defensivos	80.000 kcal/kg de P.A.
Sementes ou mudas	(específico para cada cultura)
Calcário	315 kcal/kg
Lenha	1.750.000 kcal/m ³
Plástico	30.000 kcal/kg

Fonte: Pimentel et al. (1973); Pimentel (1980); Quesada et al. (1987).

Como exposto anteriormente, considerando-se a média de 550kg/Ha de adubo químico aplicado nas culturas quando não é utilizado adubo orgânico e considerando a utilização de 360 kg/Ha na última safra de milho (janeiro/2010), tem-se uma redução de 190 kg de NPK por Ha.

Da tabela 5, deve-se somar os coeficientes energéticos do nitrogênio, fósforo e potássio, logo:

$$12.000\text{kcal/kg} + 3.000\text{kcal/kg} + 1.600\text{kcal/kg} = 16.600\text{kcal/kg.}$$

$$\text{Logo } 16.600\text{kcal/kg} \times 190 \text{ kg} = \mathbf{3.154.000\text{kcal/Ha.}}$$

Relacionando à carne suína:

$$3.154.000 \text{ kcal Ha}/3.333 \text{ kg de carne suína} = 946,295 \text{ kcal/Ha}$$

Relacionando à unidade padrão de referência - 100 kg de carne:

94.630 kcalHa/100 kg de carne suína

Transformando em Joules:

1 cal = 4,1868 Joules

Logo: $94.630 \text{ kcalHa/kg} \times 4,1868 \text{ J} = \mathbf{396.196,88 \text{ kJ/SV}}$.

O valor acima calculado entra no balanço energético, pois é o valor realmente economizado de adubo químico (transformado em Joules), por Ha, para cada 100 kg de carne suína produzida.

ANEXO J

Cálculo do consumo de óleo Diesel para o transporte do biofertilizante das lagoas secundárias às lavouras

A granja em estudo utiliza todo o biofertilizante para a adubação das culturas da propriedade, como já abordado. Uma máquina agrícola (trator) acoplado à uma bomba de recalque é posicionado na jusante dos reservatórios de biofertilizante, ou seja, das lagoas secundárias.

O recalque é feito de maneira direta, ou seja, por sistema de irrigação tubular para transporte e dispersores para espalhar nas lavouras. Para a inserção no Balanço Energético do biodigestor, a manutenção do trator, bomba e todo o sistema de irrigação, serão considerados desprezível. Valores de aquisição de máquinas, não são consideradas, pois as mesmas fazem parte do patrimônio da granja, parte do passivo da mesma, já existente para outras finalidades.

A potência consumida pode ser obtida colocando-se o motor em funcionamento na rotação da bomba usualmente utilizada. O reservatório de combustível deve ser completamente preenchido e, após uma hora, desligar o motor e medir o volume do combustível utilizado (completando o tanque) e ao mesmo tempo, medir a quantidade de biofertilizante bombeado.

Porém existe uma forma teórica de cálculo do óleo Diesel consumido, utilizando-se de gráficos apropriados para cada modelo de trator. Na Granja Ipê são utilizadas dois tratores para bombeamento, de maneira alternada, de acordo com a disponibilidade de cada máquina, porém a bomba é sempre a mesma, assim como o sistema de transporte e irrigação. Os dados obtidos “*in loco*” são:

- Trator 1: marca Ford, modelo 7630, com 106 CV.
- Trator 2: marca Ford, modelo 6600, com 80 CV.
- Capacidade da bomba: 50 CV.
- Vazão máxima da bomba: 100 m³/h.
- DN da tubulação de bombeamento: 125mm e na dispersão, 100mm.
- Altura manométrica: máximo 20m.

Será realizado o cálculo segundo os dois modelos de tratores e ao final, uma média aritmética simples, já que não dispõe-se da possibilidade de se fazer a medição do consumo de combustível diretamente no campo.

As empresas fabricantes de tratores são obrigadas a fazer um ensaio de cada modelo lançado no mercado, obtendo-se desta forma as curvas de torque, potência e consumo específico de combustível. Estes ensaios são Normalizados para que possa se ter um padrão para todos os modelo.

Pode-se citar as seguintes normas para a realização destes ensaios:

- Código OCDE: Código 2 - Ensaio de performance de tratores agrícolas e florestais.

- NBR ISO 789: Tratores Agrícolas - Procedimentos de Ensaio (Correspondência: ASAE S209.5, SAE J708, UNE 68).

- NBR ISO 1585

- NBR ISO 2288

As estações de ensaio seguem estas Normas (principalmente o Código 2 da OECD), pois desta norma derivam todas as demais.

ESTIMATIVA DO CONSUMO HORÁRIO DO TRATOR FORD 7630:

ESSAI DE LA PRISE DE FORCE

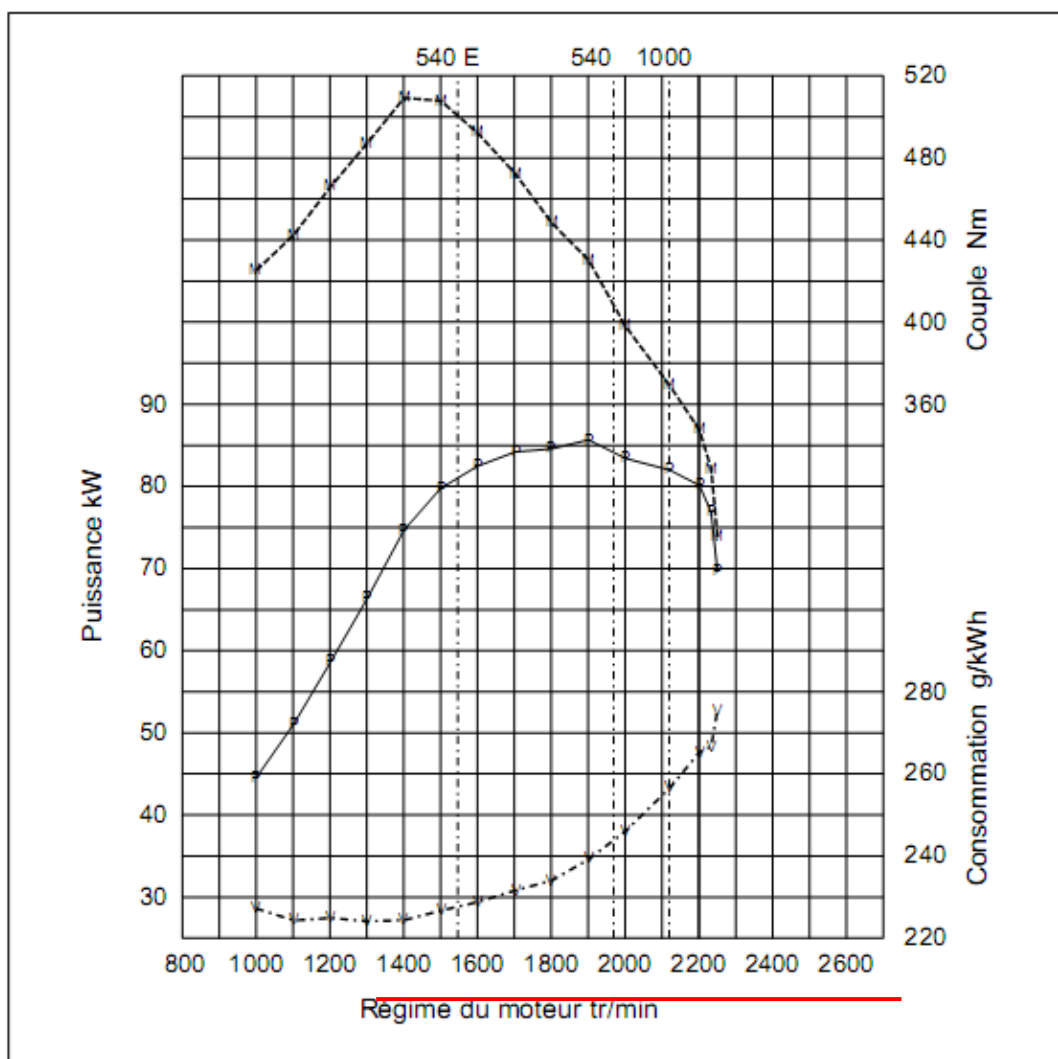


Gráfico 1 - Consumo do trator Ford 7630.
Fonte: Estação de Testes de Motores, Nebraska, EUA.

Este trator possui uma potência de 106 CV, o que corresponde a exatamente 77kW. Quando este trator trabalha com a tomada de potência (no caso, para bombeamento), opera a 540 RPM e a rotação pode alcançar até 1900 RPM.

Em outras aplicações, porém o mais usual é alcançar 1550 RPM, devido a sua reserva de torque. Como se pode observar no gráfico, o consumo nesta faixa de rotação fica ao redor de 225 g/kWh.

Para determinação do consumo utiliza-se a seguinte equação da Norma ISO 789/1:

$$Cs = (\text{Cons.horário} \times \text{Densidade} \times 1000) / \text{potência}$$

Densidade do óleo Diesel: 0,875

$225 = (Ch \times 0875 \times 1000) / 77$, logo:

19,8 litros de óleo Diesel por hora

Considerando que a bomba possui uma vazão máxima de 100 m³/h:

$100\text{m}^3/\text{h} / 19,8\text{L} (0,0198 \text{ m}^3) = 5,05 \text{ m}^3$ de biofertilizante transportado para cada litro de óleo Diesel consumido, logo:

1 litro de óleo/5,05 m³ = **0,198 L de óleo para cada metro cúbico de biofertilizante transportado.**

Como a produção de dejetos/dia calculada para a Granja Ipê é 59.840 litros, como abordado em 4.3 e confirmado pela quantidade de água captada, abordado em 4.11, conclui-se que esta quantidade de biofertilizante deve ser transportada, logo:

$59,84 \text{ m}^3 \times 0,198 \text{ litros de óleo combustível} = \mathbf{11,85 \text{ L de óleo/dia}}$, necessário para transportar a quantia anteriormente mencionada de biofertilizante.

Referenciando o valor calculado à unidade padrão de 100 Kg de carne suína:

$11,85 \text{ l} / 33,33 \text{ kg}$ (como abordado em 4.1) = **0,355 L de óleo/SV.**

Considerando o valor médio comercializado do óleo Diesel, no período da elaboração deste trabalho como R\$ 2,00/L:

$0,355 \text{ l} \times \text{R\$ } 2,00 = \mathbf{\text{R\$ } 0,71/\text{L} \text{ ou } \text{€ } 0,27/\text{L}}$.

Transformando este valor em Joules:

Um litro de óleo Diesel possui equivalente energético aproximado de 11.400 kcal (ver tabela 7).

Como 1 caloria (cal) = 4,1868 J, chega-se à:

$0,355 \text{ l de óleo} \times 11.400 \text{ kcal} = 4047 \text{ kcal} \times 4,1868 \text{ J} = \mathbf{16.944 \text{ kJ/SV}}$.

A altura de bombeamento (altura manométrica), não vai interferir muito no consumo, pois deve-se que manter neste tipo de equipamento (bomba + trator) uma rotação constante de trabalho (no caso 540 rpm na tomada de potência do trator), o que não varia na aceleração mantendo desta forma o consumo praticamente constante dentro desta faixa. Se por algum motivo ocorrer alguma sobrecarga momentânea, o motor entra na faixa de reserva de torque, aumentando momentaneamente o consumo (atuação do governador da bomba injetora), mas na média geral esse valor se torna praticamente desprezível ao longo de uma jornada de trabalho.

CONSUMO HORÁRIO DO TRATOR FORD 6600.

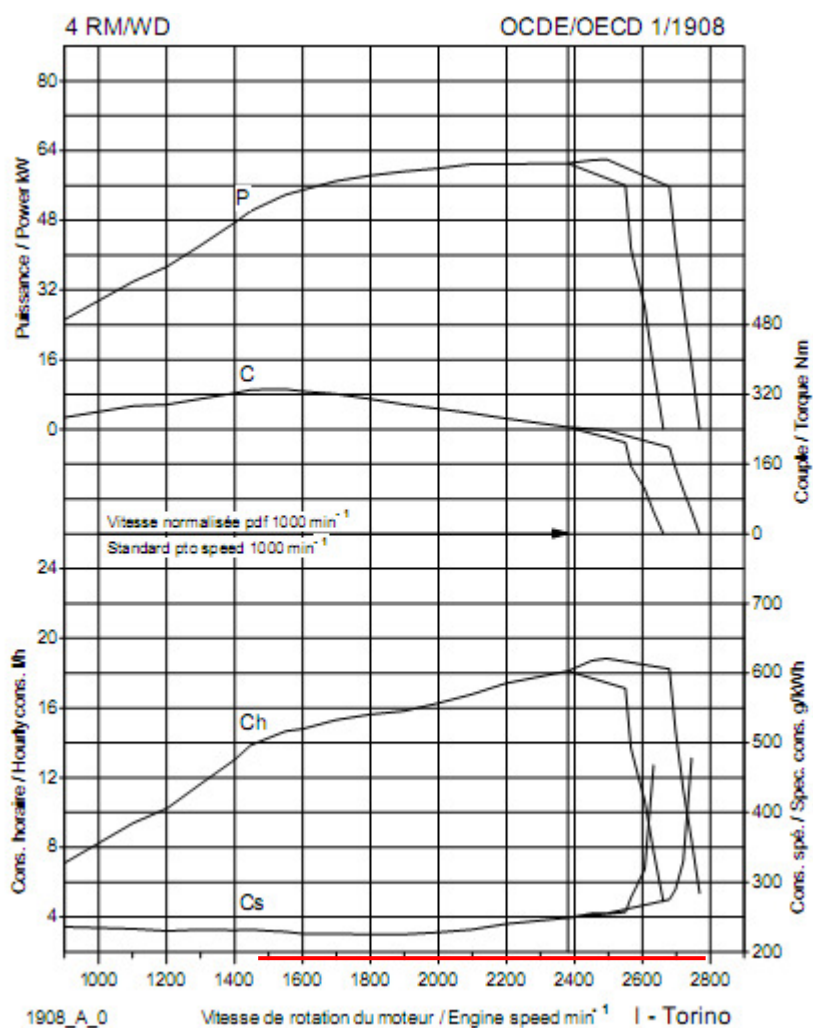


Gráfico 2 – Consumo do trator Ford 6600
Fonte: Estação de Testes de Motores, Nebraska, EUA.

Este trator também trabalha com a tomada de potência a 540 rpm, na faixa de rotação de aproximadamente 1850 rpm do motor. Sua reserva de torque encontra-se entre 1550 a 1800 aproximadamente. Nesta faixa o consumo específico fica ao redor de 210 gramas por kW hora. A Potência do motor é 58 kW.

Para determinação do consumo utiliza-se a seguinte equação da Norma ISO 789/1:

$$Cs = (\text{Cons.horário} \times \text{Densidade} \times 1000) / \text{potência}$$

$$210 = (\text{Ch} \times 0875 \times 1000)/58, \text{ logo:}$$

13,92 litros de óleo Diesel por hora

Considerando que a bomba possui uma vazão máxima de 100 m³/h:

100m³/h/13,92L (0,0139m³) = 7,18m³ de biofertilizante transportado para cada litro de óleo Diesel consumido, logo:

1 litro de óleo/7,18 m³ = **0,139L de óleo para cada metro cúbico de biofertilizante transportado.**

Como a produção de dejetos/dia calculada para a Granja Ipê é 59.840 litros, como abordado em 4.3 e confirmado pela quantidade de água captada, abordado em 4.11, conclui-se que esta quantidade de biofertilizante deve ser transportada, logo:

59,84 m³ x 0,139 litros de óleo combustível = **8,33L de óleo/dia**, necessário para transportar a quantia anteriormente mencionada de biofertilizante.

Referenciando o valor calculado à unidade padrão de 100 Kg de carne suína:

8,33 L/33,33 kg (como abordado em 4.1) = **0,250L de óleo/SV.**

Considerando o valor médio comercializado do óleo Diesel, no período da elaboração deste trabalho como R\$ 2,00/L:

0,250 L x R\$ 2,00 = **R\$ 0,50/L ou € 0,19/L.**

Transformando este valor em Joules:

Considerando o equivalente energético do óleo Diesel, já abordado anteriormente, assim como o equivalente caloria para Joule:

Como 1 caloria (cal) = 4,1868 J, chega-se à:

0,250 L de óleo x 11.400 kcal = 2850 kcal x 4,1868 J = **11.932 kJ/SV.**

Como citado anteriormente, a utilização dos dois modelos de trator para o bombeamento, se realiza de maneira alternada, dependendo da disponibilidade de cada máquina. Para simplificação dos cálculos, far-se-á uma média aritmética simples:

$16.944\text{kJ (Trator Ford 7630)} + 11.932\text{ kJ (Trator Ford 6600)}/2 = \mathbf{14.438\text{ kJ/SV}}$.
Este é o valor que entra no balanço energético do biodigestor. Em valores monetários, R\$ 0,61/SV.

NOTA

Estes consumos foram calculados para trabalhar na rotação padrão da tomada de potência (540 RPM). Este cálculo foi feito com embasamento teórico, sobre ensaios realizados. Normalmente, os operadores das máquinas, não a utilizam na rotação correta, ou seja, abaixo dos 540 RPM.

Os tratores, no local de trabalho e operando a uma rotação mais baixa, consomem uma quantidade menor de óleo combustível, porém para o balanço energético, adota-se o valor calculado teoricamente.