

Utilização de Biodigestores Para Geração de Energia Elétrica a Partir de Dejetos de Suínos e Equinos: Uma Análise da Viabilidade Financeira Com o Uso da Simulação de Monte Carlo

Anderson Catapan (PUCPR) - andecatapan@yahoo.com.br

Alceu Souza (PUCPR) - alceu.souza@pucpr.br

Dariane Cristina Catapan (FATEC) - darianecatapan@yahoo.com.br

Jorge Harry Harzer (Católica SC) - harzer@catolicasc.org.br

Resumo:

A biomassa é uma matéria orgânica que advém de dejetos de animais e pode ser útil para geração de energia elétrica. Neste contexto, o objetivo deste artigo é, utilizando técnicas de análise de investimentos, determinar o ponto de equilíbrio, em número de animais, para viabilizar a implantação de biodigestores para a produção de energia elétrica com a utilização de dejetos de suínos e de equinos. Para tanto, foram levantadas informações de campo relativas aos investimentos iniciais e as entradas e saídas de caixa para implantação do biodigestor. Projetaram-se os fluxos de caixa para suínos e eqüinos de forma independente. A seguir calcularam-se os indicadores de viabilidade e procedeu-se a simulação de Monte Carlo para mensurar a sensibilidade dos parâmetros de entrada. Os resultados da pesquisa apontam que o ponto de equilíbrio são 1009 e 271 para suínos e eqüinos, respectivamente. Considerando as premissas da Simulação de Monte Carlo e considerando que $p(VPL < 0) = p(TIR < TMA)$ precisa ser no máximo 0,20, sugere-se implantar o biodigestor para propriedades com, no mínimo, 1075 suínos ou 288 equinos.

Palavras-chave: *Biodigestores; Equinos; Suínos; Viabilidade Financeira.*

Área temática: *Abordagens contemporâneas de custos*

Utilização de Biodigestores Para Geração de Energia Elétrica a Partir de Dejetos de Suínos e Equinos: Uma Análise da Viabilidade Financeira Com o Uso da Simulação de Monte Carlo

Resumo

A biomassa é uma matéria orgânica que advém de dejetos de animais e pode ser útil para geração de energia elétrica. Neste contexto, o objetivo deste artigo é, utilizando técnicas de análise de investimentos, determinar o ponto de equilíbrio, em número de animais, para viabilizar a implantação de biodigestores para a produção de energia elétrica com a utilização de dejetos de suínos e de equinos. Para tanto, foram levantadas informações de campo relativas aos investimentos iniciais e as entradas e saídas de caixa para implantação do biodigestor. Projetaram-se os fluxos de caixa para suínos e equinos de forma independente. A seguir calcularam-se os indicadores de viabilidade e procedeu-se a simulação de Monte Carlo para mensurar a sensibilidade dos parâmetros de entrada. Os resultados da pesquisa apontam que o ponto de equilíbrio são 1009 e 271 para suínos e equinos, respectivamente. Considerando as premissas da Simulação de Monte Carlo e considerando que $p(VPL < 0) = p(TIR < TMA)$ precisa ser no máximo 0,20, sugere-se implantar o biodigestor para propriedades com, no mínimo, 1075 suínos ou 288 equinos.

Palavras-chave: Biodigestores. Equinos. Suínos. Viabilidade Financeira.

Área Temática: Abordagens contemporâneas de custos: Custos ambientais.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos, a questão ambiental surgiu como foco de cobrança de órgãos públicos, ONG's e mais recentemente de consumidores e sociedade (CATAPAN *et. al.*, 2012). A partir destas preocupações, houve um redirecionamento das pesquisas para a busca do desenvolvimento sustentável. Em síntese, busca-se reduzir o impacto ambiental de forma economicamente viável, ambientalmente correta e socialmente aceitável.

Assim, diante de um cenário internacional com escassez do petróleo e pelas mudanças no clima, ocasionadas pela queima de combustíveis fósseis, surgem pesquisas e estudos de viabilidade de geração de energia limpa, também conhecidas como energias alternativas ou renováveis (CATAPAN *et. al.*, 2012). Assim, o desenvolvimento tecnológico tem permitido a geração de energias alternativas para produção de calor e de eletricidade, como a energia eólica, solar e da biomassa (PACHECO, 2006).

A biomassa é uma matéria orgânica, morta ou viva, existente nos organismos (animais ou vegetais) de uma determinada comunidade, a qual pode ser recuperada através dos resíduos florestais, agrícolas, pecuários e até mesmo urbanos, podendo ser-lhe dadas algumas utilizações úteis, entre as quais a fertilização dos solos para agricultura ou a produção de energia primária (GEBLER; PALHARES, 2007).

Proveniente da biomassa surge o biogás que é um dos produtos da decomposição anaeróbia (ausência de oxigênio gasoso) da matéria orgânica, que se dá através da ação de determinadas espécies de bactérias (GEBLER; PALHARES, 2007). Através de biodigestores, que transformam o biogás em energia, pode ser gerada uma energia renovável. O grande problema para a implantação destes biodigestores é o custo de aquisição e implantação dos equipamentos para a geração da energia.

É dentro deste contexto que surge a questão de pesquisa deste artigo se resume em: **Qual o ponto de equilíbrio, em número de animais, para viabilizar financeiramente a implantação de um biodigestor para geração de energia elétrica com a utilização dos**

dejetos de suínos e equinos? Assim, o objetivo do artigo é, utilizando técnicas de análise de investimentos, determinar os pontos de equilíbrio em número de animais para viabilizar a implantação de biodigestores para produção de energia elétrica com a utilização de dejetos de suínos e de equinos.

A pesquisa justifica-se, pois a atividade rural tem potencial poluidor quando depositam-se os dejetos no solo; logo, é preciso que haja uma mudança na maneira de gerenciar o manejo e o controle ambiental, pois se os dejetos forem simplesmente lançados sobre a lavoura ou o solo, isso em longo prazo ocasionará riscos ao meio ambiente. A conscientização ambiental, em relação ao armazenamento e tratamento de dejetos, deve acompanhar o salto tecnológico presente na produção, tendo em vista a complexidade dos problemas que o depósito dos dejetos no solo ocasiona, como impactos ambientais no solo, na água e no ar (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005; CATAPAN; CARVALHO; CATAPAN, 2011). Ainda, além de evitar este impacto ambiental, o aproveitamento dos dejetos para a geração de energia, apresentando viabilidade, é uma maneira das propriedades rurais agregarem mais valor à sua atividade.

O artigo está subdividido em quatro seções além desta introdução. Na segunda seção apresentam-se questões teóricas sobre suinocultura, equinocultura, gestão estratégica de custos e viabilidade financeira. Na terceira seção apontam-se os procedimentos metodológicos utilizados. Depois, mostram-se a descrição e análise dos resultados. Por último, apresentam-se as considerações finais e as sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção tem o objetivo de apresentar aspectos teóricos de assuntos relacionados ao tema central da pesquisa. Assim, encontra-se dividida em suinocultura, equinocultura, aspectos técnicos sobre dejetos de suínos e equinos e, por último, viabilidade financeira.

2.1 SUINOCULTURA

A suinocultura é uma das mais importantes cadeias produtivas da indústria alimentar existente no Brasil, com plantel de suínos avaliado em cerca de 39,3 milhões de cabeças (IBGE, 2013). A Tabela 1 ilustra a quantidade de animais no Brasil.

Tabela 1 – Quantidade de animais no Brasil

Categorias	Quantidade (cabeças)		Variação anual (2011/2010) (%)
	2010	2011	
Grande porte	218 518 879	221 827 299	1,5
Bovino	209 541 109	212 797 824	1,6
Bubalino	1 184 511	1 277 199	7,8
Equino	5 514 253	5 508 546	(-) 0,1
Asinino	1 001 587	974 532	(-) 2,7
Muar	1 277 419	1 269 198	(-) 0,6
Médio porte	65 650 123	66 353 813	1,1
Suíno	38 956 758	39 306 718	0,9
Caprino	9 312 784	9 384 894	0,8
Ovino	17 380 581	17 662 201	1,6
Pequeno porte	1 252 131 165	1 282 267 287	2,4
Galos, frangas, frangos e pintos	1 028 151 477	1 050 261 738	2,2
Galinhas	210 761 060	216 204 308	2,6
Codornas	12 992 269	15 567 634	19,8
Coelhos	226 359	233 607	3,2

Fonte: IBGE (2013).

A produção total de dejetos em granjas de suínos é muito variável, dependendo principalmente do número e categoria dos animais (leitões, fêmeas em lactação ou gestação, machos em idade de crescimento ou terminação, machos reprodutores), instalações, equipamentos e manejo de limpeza adotado em cada granja. Essas variáveis são determinantes para maior ou menor quantidade de água utilizada. A composição e volume dos dejetos tem papel fundamental para o planejamento e estabelecimento de programas e técnicas de tratamento e armazenamento de dejetos, além da agregação de valor aos estercos produzidos. O interesse no aproveitamento dos resíduos orgânicos (estercos) gerados nas suinoculturas tem aumentado, pelo aproveitamento energético do biogás (produto gerado pela decomposição de resíduos orgânicos) indicando a existência de um potencial para que se desenvolvam métodos que possibilitem às propriedades tornarem-se energeticamente independentes (CATAPAN; CATAPAN; CATAPAN, 2011).

Mas para que uma propriedade torne-se energeticamente independente é preciso que as instalações de manejo, armazenamento e tratamento de dejetos sejam eficazes. Porém, o armazenamento dos dejetos muitas vezes é confundido com tratamento, embora muitas formas de armazenar não promovam qualquer ação nesse sentido. Conceitualmente, a armazenagem consiste em colocar os dejetos em depósitos adequados durante um determinado tempo, com o objetivo de fermentar a biomassa (forma de digestão anaeróbica) e reduzir os patógenos presentes. Todavia, por não ser um sistema de tratamento, fica aquém dos parâmetros exigidos pela legislação ambiental para lançamento em corpos d'água e a sua utilização como fertilizante requer cuidados especiais (GOSMANN, 1997; MIRANDA, 2005). Entre as alternativas de armazenamento dos dejetos, as mais utilizadas são a esterqueira e a bioesterqueira.

De acordo com Diesel, Miranda e Perdomo (2002), esterqueira tem o objetivo de captar o volume de dejetos líquidos produzidos num sistema de criação, durante um determinado período de tempo (normalmente entre quatro e seis meses), para que ocorra a fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A carga de abastecimento é diária, permanecendo o material em fermentação até a retirada. As vantagens das esterqueiras são: (i) facilidade de construção que permite a fermentação do dejetos e o seu melhor aproveitamento como fertilizante; e, (ii) custo que é aproximadamente 20% menor do que a bioesterqueira. Como desvantagem é que nesse processo não ocorre separação de fases e o dejetos fica mais concentrado, exigindo maiores áreas para sua disposição final como fertilizante.

Já a bioesterqueira é a adaptação da esterqueira convencional para melhorar a eficiência no tratamento do dejetos, através do aumento do tempo de retenção do mesmo. Esta construção é composta por uma câmara de retenção e um depósito. Surgiu a partir dos biodigestores, pois a câmara de fermentação é semelhante a um biodigestor, porém sem campânula. A vantagem é reduzir a carga orgânica do dejetos, bem como melhora a qualidade do esterco a ser distribuído na lavoura; já a desvantagem é que o custo é maior (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002).

Diante desse contexto das propriedades ou empreendimentos possuir instalações eficazes para o correto destino dos dejetos, é importante saber que a maioria das granjas de suínos não seguem essa “regra”, isso pode ser resultado tanto da falta de conhecimento dos problemas gerados pelos resíduos quanto da falta de apoio técnico e governamental. Esse cenário pode ser observado nas granjas de suínos do Município de São José dos Pinhais.

De acordo com Catapan, Carvalho e Catapan (2011), o sistema de coleta, armazenamento e tratamento de dejetos é precário e são poucos os produtores que possuem um sistema intensivo de produção com algum nível de tecnologia. Da pesquisa realizada por esses autores, em relação ao destino dos dejetos, dos 261 produtores de suínos totalizando 100%, 53,26% lançam os dejetos para lavoura sem tratamento prévio; 15,32% amontoam os dejetos em alguma parte da propriedade, deixam-o secar a pleno sol para então lança-los na

lavou; somente 14,94% dos produtores armazenam os dejetos em esterqueira e após o período de fermentação destinam eles para lavou; 11,11% faz o acúmulo dos dejetos na propriedade e 5,37% fazem outros destinos, como por exemplo utilizar os dejetos como fonte de alimentação para piscicultura.

Estes achados mostram que é necessária uma ruptura dos padrões atuais de produção, que permita incorporar as suas rotinas e a seus custos uma gestão ambientalmente correta da produção, viabilizando um manejo eficaz dos dejetos e seus efluentes. Assim, a gestão ambiental é o conjunto de ações empreendidas pela sociedade, ou parte dela, com o objetivo de proteger, restaurar, conservar e utilizar o meio ambiente de maneira sustentável (SEGANFREDO, 2007).

2.2 EQUINOCULTURA

Os equinos representam 5,5 milhões de cabeças no Brasil (IBGE, 2013). A criação destes animais é uma atividade impactante ao meio ambiente devido ao elevado número de animais em propriedades (haras) e a quantidade produzida diariamente por animal. Mas segundo Catapan *et. al.* (2012), a questão ambiental, ou seja, as práticas ambientalmente corretas não são facilmente aceitas pelos produtores, sofrendo, geralmente, resistência na sua aplicação. Primeiramente, os motivos são devido ao fato do dejeito equino sempre ter sido visto pelo ser humano como fertilizante do solo, tornando desnecessário o tratamento do mesmo. Em segundo lugar, pela necessidade da aplicação de recursos financeiros, o que nem sempre é viável para o responsável pela atividade.

A escolha do tratamento é sempre uma tarefa difícil, todo e qualquer sistema de tratamento apresenta limitações e sua aplicabilidade ao resíduo deve ser avaliada, levando-se em conta vantagens e desvantagens (PERDOMO *et al.*, 2003). A primeira pergunta, que deve ser feita antes da escolha do tratamento, diz respeito ao que se pretende com a escolha da tecnologia. Em função disso – e das possibilidades financeiras de cada produtor- existe uma série de tecnologias que podem ser utilizadas de acordo com a realidade de cada sistema. Os sistemas de tratamento são classificados em três diferentes categorias: físicos, biológicos e químicos (GEBLER; PALHARES, 2007). Seja qual for a escolha do tratamento de dejetos a ser utilizado na propriedade, a gestão ambiental dentro da propriedade deve existir: desde a escolha correta do alimento do animal até a produção do seu esterco, assim como o tratamento para os dejetos, que se feito da forma correta, pode até gerar energia (BARRERA, 1993).

Os equinos produzem uma grande quantidade de esterco diariamente. Desse modo essa espécie tem alto potencial de produção de biogás. Mas a baixa relação carbono/nitrogênio (C/N) interfere na produção do biogás. Portanto deve-se monitorar essa relação, para que não tenha excesso de N, decorrente da alimentação em concentrado (proteína) fornecido no cocho. Uma forma de corrigir é adicionar resíduos vegetais como palhas, sabugos e serragem para atingir o ponto ideal (LENZ *s.d.*). A relação C/N equilibrada é de 25/1 á 30/1 conforme Gonçalves (2005) para que o biogás seja formado de forma homogênea.

Esse conceito de relação C/N com ponto ideal pode ser verificado em um trabalho aplicado onde foi utilizado biodigestores com dejetos de equino. Nos tratamentos que continham maiores proporções de serragem do que de dejetos houve menor produção de biogás (CATAPAN *et. al.*, 2012).

2.3 ASPECTOS TÉCNICOS SOBRE DEJETOS DE SUÍNOS E EQUINOS

Os compostos orgânicos gerados pelos dejetos de animais são ricos em matéria orgânica (AMARAL; AMARAL; LUCAS JUNIOR, 2004), a quantidade produzida diariamente pela espécie animal varia proporcionalmente, logo influencia no potencial de produção de biogás, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Produção de dejetos e potencial de produção de biogás por diferentes animais

Dejetos	Produção diária	Kg biogás/Kg dejetos	Concentração Gás Metano
Suínos	2,25 kg/animal	0,062	66%
Equinos	10 kg/animal	0,048	60%

Fonte: Adaptado de Barrera (1983) e Kunz (2007).

Segundo Quadros (2009) a equivalência energética do biogás, seja ele produzido pela fermentação de dejetos suínos ou equinos, em relação à energia elétrica é de: 1m³ biogás = 5,5 KWh (PRATI, 2010). É necessário que os produtores de animais se adaptem à gestão ambiental, produzindo dejetos e que estes sejam reconhecidos como algo que pode gerar receitas na propriedade. O incorreto destino dos dejetos (se não forem manejados, armazenados e tratados com a utilização de esterqueiras e/ou biodigestores), sejam eles oriundos de suínos ou equinos, é classificado como um impacto ambiental significativo ao meio ambiente, sendo necessário então uma avaliação de impacto ambiental (AIA) (CATAPAN; CARVALHO; CATAPAN, 2011).

Segundo o CONAMA (1983), considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

Segundo Seiffert (2007), a AIA é um instrumento de gestão ambiental complementar ao processo de licenciamento ambiental, sendo também considerada como um instrumento preventivo que busca identificar, quantificar e minimizar as consequências negativas sobre o meio ambiente, antes que o empreendimento, neste caso granjas de suínos ou haras, iniciem suas atividades. Desse modo, ela permite a aplicação de medidas que evitem ou diminuam os impactos ambientais inaceitáveis ou fora dos limites previamente estabelecidos, levando em consideração os limites de assimilação, dispersão e regeneração dos ecossistemas e como afetarão a sociedade. De acordo com Seiffert (2007), o processo de AIA apresenta várias funções importantes dentro do processo de gestão ambiental, por exemplo: (i) Subsídio ao poder público na tomada de decisões para a instalação de novos empreendimentos; (ii) Realização de controle ambiental; (iii) Sensibilização ambiental e expansão da consciência ecológica da sociedade; (iv) Ecologização da administração pública na qualidade ambiental e de vida e na melhoria da saúde pública; (v) Viabilização de melhorias; (vi) Educação para a cidadania; e, (vii) Possibilitar o processo de participação pública na instalação de empreendimentos.

A AIA possibilita que o empreendedor ou produtor identifique anteriormente à instalação do empreendimento (granja de suínos ou haras), de forma sistematizada e com os recursos adequados, quais os impactos ambientais potenciais do empreendimento e, assim, proponha medidas mitigadoras mais adequadas ao contexto socioeconômico-ambiental, a fim de reduzir ou eliminar completamente os impactos ambientais negativos decorrentes da atividade executada (SEIFFERT, 2007).

O uso de biodigestores (tratamento de dejetos de forma anaeróbia) minimiza os impactos ambientais causados pela suinocultura e equinocultura permitindo a geração distribuída de energia elétrica, através da produção de biogás. Além disto, possibilita uma nova opção de receita à propriedade (CATAPAN; CATAPAN; CATAPAN, 2011).

A biodigestão anaeróbica representa importante papel, pois além de permitir a redução significativa do potencial poluidor, trata-se de um processo no qual não há geração de calor e volatilização dos gases (LUCAS JÚNIOR, 1998). Mas existem inúmeros fatores que devem estar equilibrados para que o processo fermentativo funcione adequadamente: temperatura controlada entre 35 e 40° C (SOUZA; JUNIOR; FERREIRA, 2005); pH de 6,5 á 7,5

(CRAVEIRO, 1982) e relação C/N 25/1 à 30/1 (GONÇALVES, 2005). A composição do biogás varia de acordo com o material orgânico utilizado como descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição do biogás

Gás	Metano CH ₄	Dióxido de Carbono CO ₂	Hidrogênio H ₂	Nitrogênio N ₂	Gás Sulfídrico e Amônia H ₂ S / NH ₃	Autor
Concentração biogás (%)	50-80	20-40	1-3	0,5-3	0,1-0,5	Kunz, 2007
	50-75	25-40	1-3	0,5-2,5	0,1-0,5	Pires, 2000
	55-65	35-45	0-1	0-3	0-1	Magalhães, 1986
	55-65	35-45	-	0-3	0-1	Winrock, 2012

Fonte: Catapan *et. al.* (2012).

2.4 VIABILIDADE FINANCEIRA

Algumas definições são necessárias para a realização desta pesquisa. Assim, este trabalho utiliza de técnicas de análise de investimentos, que ajuda os investidores a tomar a decisão de investir ou não em determinado empreendimento (GITMAN, 2001), para definir um ponto de equilíbrio. Para tanto utiliza dos conceitos de Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e Valor Presente Líquido (VPL).

Este trabalho trata da análise de um investimento. Quando um investidor opta por aplicar seu dinheiro em determinado projeto, ele está automaticamente deixando de aplicar seu capital em outro projeto. Neste contexto surge o custo de oportunidade do negócio, representa a taxa que poderia ser ganha no capital se esse fosse investido em qualquer outro lugar em ativos de mesmo risco (BODIE; MERTON, 2002). Assim, para identificar o custo de oportunidade de um investimento calcula-se a Taxa Mínima de Atratividade, que significa a melhor taxa, com baixo grau de risco, disponível para aplicação do capital em análise (SOUZA; CLEMENTE, 2009).

Esta pesquisa vai utilizar o cálculo do Valor Presente Líquido. O valor presente líquido é encontrado ao se subtrair o investimento inicial de um projeto do valor presente de seu fluxo de caixa. Utiliza-se a TMA para descontar o fluxo (trazer para o valor presente) (GITMAN, 2001). Assim, o requisito mínimo para viabilidade é que este apresente VPL superior à zero (SOUZA; CLEMENTE, 2009).

Assim, o ponto de equilíbrio será calculado em termos de número de animais. Quando o valor presente líquido for igual a zero, saber-se-á o número mínimo necessário de animais em determinadas propriedades, para que a implantação do biodigestor para geração de energia elétrica seja viável.

3 DELINEAMENTO METODOLÓGICO DA PESQUISA

Esta seção trata dos aspectos relativos à metodologia utilizada, e encontra-se organizada em duas partes: (i) estratégias de planejamento da pesquisa; e, (ii) design da pesquisa.

3.1 ESTRATÉGIAS DE PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Quanto aos seus objetivos, esta pesquisa tem caráter descritivo, uma vez que propõe-se a descrever características de determinada população. Em relação aos procedimentos técnicos utilizados, este trabalho é de cunho experimental visto que determina um objeto de estudo e seleciona variáveis que podem influenciá-lo, definindo então formas de controle e observação (GIL, 2010).

Ainda, é caracterizada, também, como uma pesquisa *ex-post-facto* visto que o estudo foi realizado após a ocorrência de variações dos cursos naturais de acontecimento (GIL,

2010), por exemplo, a coleta dos dejetos dos animais nas granjas e haras. A técnica de levantamento de dados também é abordada, quando são entrevistadas as pessoas nas propriedades rurais para esclarecimentos acerca de gastos mensais com os biodigestores. A pesquisa ainda pode ser caracterizada como um estudo de campo, pois faz visitas técnicas para entender o processo de geração de energia a partir dos dejetos dos animais.

3.2 DESIGN DA PESQUISA

O trabalho iniciou com a pesquisa teórica (primeira etapa), a qual compreendeu levantamento de informações técnicas sobre os dejetos dos suínos e sobre a composição do biogás. Logo foi realizada a revisão teórica sobre dejetos de equinos, a possibilidade de geração de biogás a partir dos mesmos e a composição do biogás. A segunda etapa deste trabalho foram visitas técnicas a campo em granjas de suínos e haras, localizados no Estado do Paraná.

Iniciou-se com visitas nas granjas de suínos, cujos sistemas de produção se baseavam em ciclo completo (duas granjas) e terminação (uma granja). As granjas estão localizadas no Município da Lapa – PR, Carambeí – PR e Castro – PR. Foram escolhidas granjas nessas localizações, pois nesses Municípios está a maior produção de suínos do Paraná, além de acessibilidade. Estas visitas foram realizadas para conhecer os biodigestores e os seus gastos mensais (manutenção, limpeza, operação etc). Os biodigestores das granjas eram semelhantes com lona de PVC, projetados de acordo com a capacidade de dejetos que era produzido diariamente pelo número de animais. Os gastos mensais com manutenção, operação e limpeza dos biodigestores foram identificados e levantados com base em entrevistas com os proprietários das granjas e, também, examinando planilhas de controle de gastos elaboradas pelas propriedades. Não foram encontrados haras com biodigestores já implantados, assim, a visita a campo limitou-se às granjas.

Para a elaboração do fluxo de caixa, com o intuito da posterior análise da viabilidade financeira, foram calculados a quantidade de biogás nos dejetos de cada animal e convertidos em KWh. Com base na quantidade de KWh, foi calculado o valor das entradas de caixa gerado por meio do biogás (o que se deixaria de pagar para a empresa distribuidora de energia elétrica).

Além das entrevistas e exame das planilhas das propriedades, para mensuração das saídas do fluxo de caixa, também, foram contatados fabricantes de biodigestores para verificar informações referente à manutenção e depreciação dos mesmos. De posse destas informações, foram elaborados os projetos de fluxo de caixa dos dois animais. Para a análise da viabilidade, será utilizada a Simulação de Monte Carlo, com o software Crystal Ball, visto que algumas premissas de entrada representam valores que podem ser variáveis.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Primeiramente, antes da análise da viabilidade financeira da implantação dos biodigestores, será calculada a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para ambos os projetos. Para ela, utilizou-se taxas de mercado, que encontram-se na Tabela 4.

O cálculo da TMA envolve discussões de risco e retorno. Quanto maior o risco de determinado projeto, maior deve ser o prêmio de risco agregado à TMA, visto que o investidor que se dispõe a aplicar o seu capital em projetos mais arriscados busca maiores retornos e, por isto, deve optar por TMA superior. Neste tipo de projeto, considerando que a propriedade rural vai utilizar a própria energia gerada, os riscos são considerados baixos. O maior risco agregado à este projeto seria se a propriedade optasse por comercializar a energia, e o concessionário resolvesse não adquirir esta energia. Diante do exposto, optou-se por analisar investimento de baixo risco para calcular a TMA.

Tabela 4 – Taxas Para Cálculo da TMA

Investimento	Rentabilidade (anual)	Rentabilidade (mensal)
Itaú Especial RF	7,19%	0,60%
HSBC FIC Renda Fixa Crédito Privado	7,58%	0,63%
HSBC FIC Renda Fixa LP Pré Fixado Max	7,14%	0,60%
BB Renda Fixa Longo Prazo	6,86%	0,57%
BB RF Longo Prazo Prem	6,88%	0,57%
BB RF Longo Prazo Parc	7,10%	0,59%
BB RF Longo Prazo	7,10%	0,59%
CEF FIC Investidor RF Longo Prazo	7,78%	0,65%
CEF FIC Supremo RF Longo Prazo	7,85%	0,65%
Média	7,28%	0,61%

Fonte: os autores (2013).

A média mensal das rentabilidades obtidas é 0,61%. Admitiu-se, a partir disto, uma TMA de 0,7% ao mês. Agora, ilustrada a TMA, são abordadas algumas premissas válidas para ambos os animais

4.1 PREMISSAS PARA CÁLCULO DA VIABILIDADE FINANCEIRA

Para analisar a viabilidade financeira e apontam o número de animais necessários para atingir o ponto de equilíbrio, primeiro é necessário entender os passos para calcular a energia elétrica gerada através dos dejetos. Para calcular a quantidade de toneladas métricas de Biogás/ano provenientes da decomposição anaeróbica do esterco, levou-se em consideração o volume de esterco que cada unidade animal gera por dia (10 kg/dia para equínos e 2,25 kg/dia para suínos) e o volume de biogás gerado por kg de dejetos (0,048m³ para equínos e 0,062m³ para suínos) (BARRERA, 1993; CATAPAN *et al.*, 2012).

Para calcular a quantidade de metano produzida por ano em toneladas, deve-se utilizar o total de Biogás produzido e o valor correspondente à percentagem de metano existente no Biogás (60% para equínos e 66% para suínos) (CARVALHO; NOLASCO, 2006). Por último, deve-se multiplicar a quantidade de metano gerada pela taxa de conversão para KWh, que é 5,5 KWh por m³ (PRATI, 2010). Por último, multiplica-se pelo valor cobrado pela concessionária de energia por KWh para chegar a receita mensal gerada, visto que a energia gerada será considerada para uso na propriedade e não para comercialização.

A Tabela 5 apresenta os investimento e as saídas consideradas para os fluxos de caixa de ambos os animais, levantadas com base no trabalho de Catapan *et. al.* (2012), para o investimento, e no exame das planilhas das propriedades e com base nas entrevistas com os proprietários das mesmas, para as saídas.

Tabela 5 – Investimento e Saídas Detalhadas dos Fluxos de Caixa

Investimentos	Valor	Saídas	Valor	Varição (Crystall Ball)
Gerador	R\$ 95.000,00	Salários	R\$ 1.800,00	-
Lagoa	R\$ 4.000,00	Encargos	R\$ 900,00	-
Biodigestor	R\$ 64.800,00	Manutenção	R\$ 1.000,00	5%
Infraestrutura	R\$ 15.000,00	Limpeza	R\$ 200,00	5%
		Despesas	R\$ 200,00	5%
Total	R\$ 178.800,00	Total	R\$ 4.100,00	

Fonte: os autores (2013).

O valor de variação de 5% para os gastos com manutenção, limpeza e despesas gerais foi proposto com base em entrevistas com os proprietários. Ele vai servir como parâmetro de variação destas premissas para o cálculo do VPL no Crystal Ball. A justificativa para estas variações é que estes gastos podem mudar em determinados meses. Já salários e encargos sociais são de natureza fixa. Agora, apresentam-se os cálculos de viabilidade financeira para os animais.

4.2 SUINOCULTURA

A Tabela 6 apresenta a memória de cálculo para encontrar a receita mensal gerada, considerando um Valor Presente Líquido nulo, ou seja, o total de entradas igual ao total de saídas no fluxo de caixa.

Tabela 6 – Memórias de Cálculo Para Viabilidade Financeira – Suínos

Descrição	Valores	Varição (Crystal Ball)
Volume dejetos por dia (kg)	2,25	10%
Número de animais	1009	-
Volume total de dejetos por dia (kg)	2270,89	-
Volume total de dejetos por mês (kg)	68126,82	-
Taxa conversão (suínos)	0,063	10%
Volume (m ³)	4.292	-
Taxa conversão (metano-suínos)	60%	10%
Volume metano (m ³)	2.575	-
Taxa conversão KWh	5,5	-
Total KWh gerados	14.164	-
Valor KWh	R\$ 0,479857	-
Receita mensal gerada	R\$ 6.796,49	-

Fonte: os autores (2013).

Tanto para os suínos quanto para os eqüinos, o cálculo do número de animais foi realizado com a utilização da ferramenta Cenário - Atingir Meta do Excel, considerando variação do parâmetro número de animais e fixando o VPL em zero. Assim, encontrou-se VPL nulo com aproximadamente 1009 animais. Com base nesta receita gerada, o fluxo de caixa do projeto é ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Fluxo de Caixa

Mês	0	1	2	...	60
Entradas	-	R\$ 6.796,49	R\$ 6.796,49	R\$ 6.796,49	R\$ 78.316,49
Saídas	R\$ 178.800,00	R\$ 4.100,00	R\$ 4.100,00	R\$ 4.100,00	R\$ 4.100,00
Fluxo Caixa	-R\$ 178.800,00	R\$ 2.696,49	R\$ 2.696,49	R\$ 2.696,49	R\$ 74.216,49

Fonte: os autores (2013).

No último fluxo (60), considera-se a entrada de 40% do valor do investimento como valor residual, ou seja, 40% do valor total investido no momento zero ainda permanece ao final do projeto. Não foram considerados custos com fretes visto que existem granjas e haras com o número de animais obtidos nesta pesquisa, assim, não considera-se a necessidade de

transportar os dejetos de várias propriedades diferente. A partir deste fluxo de caixa, o VPL obtido é nulo, e a TIR calculada é igual a TMA apresentada, ou seja, é a partir deste número de animais calculado que a viabilidade financeira para a implantação do biodigestor existe. Agora, serão consideradas as premissas de variação de parâmetros para a Simulação de Monte Carlo.

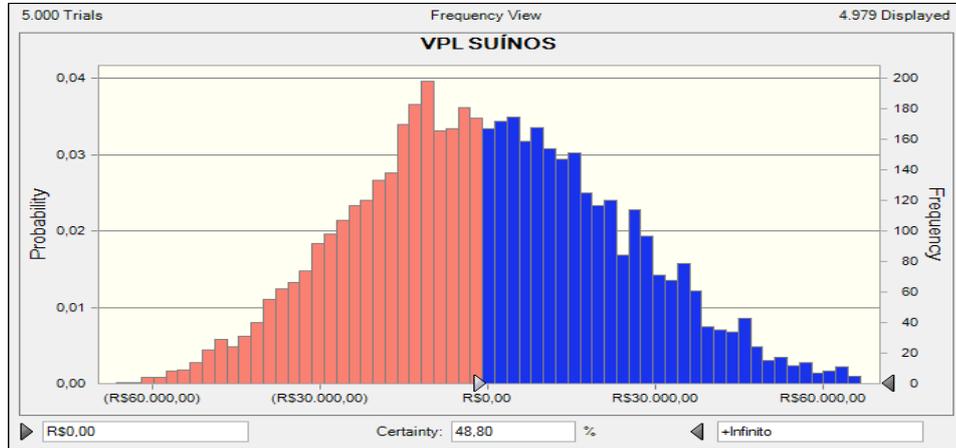


Figura 1 – Simulação de Monte Carlo – VPL dos Suínos

A simulação de Monte Carlo foi realizada com 5.000 interações e com intervalo de confiança de 95%. O VPL para os dejetos de suínos resultou em valor médio de –R\$ 174,98 com mínimo de –R\$ 74.529,93 e máximo de R\$ 84.527,56 (DP = R\$ 23.303,88). A simulação de Monte Carlo indica ainda com intervalo de 95% de certeza que o VPL deve situar-se entre –R\$ 46.782,74 e R\$ 46.432,78. A probabilidade de o VPL ser maior que zero é 0,4830. A TIR média para os suínos é de 0,69% com mínimo de -0,50% e máximo de 1,94% (DP = 0,36%) e, de acordo com os resultados das 5.000 interações da simulação de Monte Carlo, a TIR deve resultar, com 95% de certeza, entre -0,03% e 1,41%. A probabilidade de a TIR ser menor que a TMA é de 0,517, indicando um risco consideravelmente alto de não recuperar o capital investido, caso o número de animais se mantenha em aproximadamente 1.010 animais. A Figura 2 apresenta os parâmetros de sensibilidade do projeto.

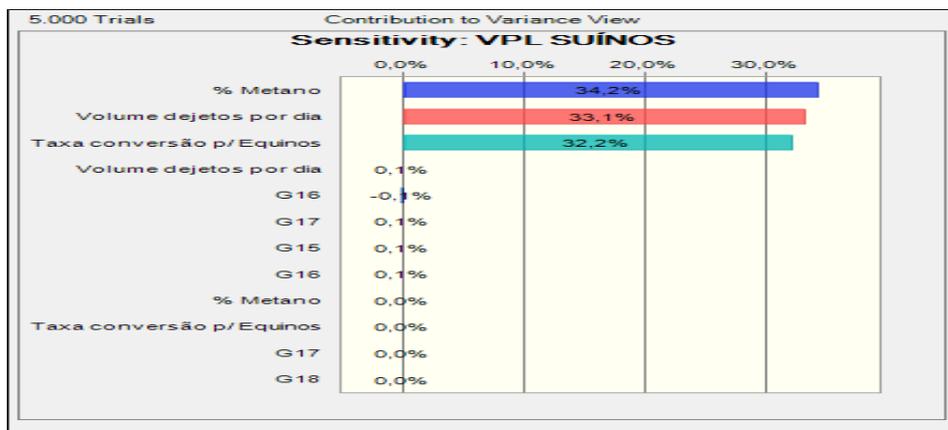


Figura 2 – Simulação de Monte Carlo – Variabilidade do VPL dos Suínos

Os fatores que mais impactam nos resultados do VPL e da TIR para o biodiesel de dejetos de suíno são: (i) % de Metano (34,2%); (ii) Volume de dejetos (33,1%) e; (iii) Taxa de conversão para Suínos (32,2%). Assim, têm-se que $p(\text{VPL} < 0) = p(\text{TIR} < \text{TMA}) = 0,517$. Este é

um risco considerado alto por investidores. Supondo que o investidor pode assumir um risco máximo de 20% de perder dinheiro no projeto, portanto $p(VPL < 0) = p(TIR < TMA)$ deve ser, no máximo, igual a 0,20, rodando novamente a Simulação de Monte Carlo, o número mínimo de suínos para atender a esta premissa é 1075 animais. Neste cenário, obtém-se probabilidade de o VPL ser maior que zero de 0,8021, com 95% de certeza que ele ficará entre -R\$ 27.845,13 e R\$ 70.383,83. Assim, a chance do investidor perder dinheiro é de 19,79%.

4.3 EQUINOCULTURA

A Tabela 7 apresenta a memória de cálculo para encontrar a receita mensal gerada dos equinos, considerando um Valor Presente Líquido nulo, ou seja, o total de entradas igual ao total de saídas no fluxo de caixa.

Tabela 7 – Memórias de Cálculo Para Viabilidade Financeira – Equinos

Descrição	Valores	Varição (Crystall Ball)
Volume dejetos por dia (kg)	10	10%
Número de animais	271	-
Volume total de dejetos por dia (kg)	2709,59	-
Volume total de dejetos por mês (kg)	81287,69	-
Taxa conversão (equinos)	0,048	10%
Volume (m ³)	3.902	-
Taxa conversão (metano-equinos)	66%	10%
Volume metano (m ³)	2.575	-
Taxa conversão KWh	5,5	-
Total KWh gerados	14.164	-
Valor KWh	R\$ 0,479857	-
Receita mensal gerada	R\$ 6.796,49	-

Fonte: os autores (2013).

A receita mensal desejada dos equinos é igual aos suínos pois o VPL proposto para a viabilidade financeira é nulo em ambos os casos, com investimentos iniciais e saídas do projeto iguais, portanto as entradas precisam ser iguais. Assim, utilizando a mesma ferramenta do Excel, o número de equinos para geração do VPL nulo é aproximadamente 271 animais.

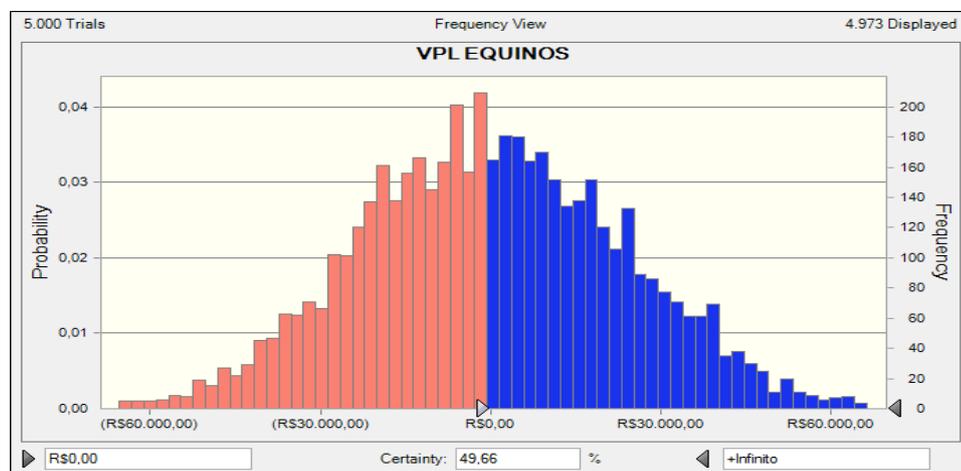


Figura 3 – Simulação de Monte Carlo – VPL dos Equinos

Os resultados gerados na análise de viabilidade com dejetos de suínos resultaram em VPL médio de –R\$ 591,87 com mínimo de –R\$ 72.153,34 e máximo de R\$ 85.166,55 e desvio padrão de R\$ 23.368,18. A simulação de Monte Carlo indica com 95% de certeza que o VPL dos suínos se situará entre –R\$ 47.328,23 e R\$ 46.144,49. A probabilidade de o VPL ser maior que zero é de 0,4771, indicando um grau de risco significativo de se perder dinheiro no projeto, mantendo-se o número de animais em 1009 suínos. Adicionalmente, a TIR para 1009 animais apresenta a taxa média de 0,69% com mínimo de -0,46% e máximo de 1,95% (DP = 0,36%). A TIR deve ficar situada com 95% de certeza entre o intervalo de -0,03% e 1,41%. A probabilidade de a TMA superar a TIR é de 0,5229. A Figura 4 apresenta os fatores de variabilidade do VPL e da TIR.

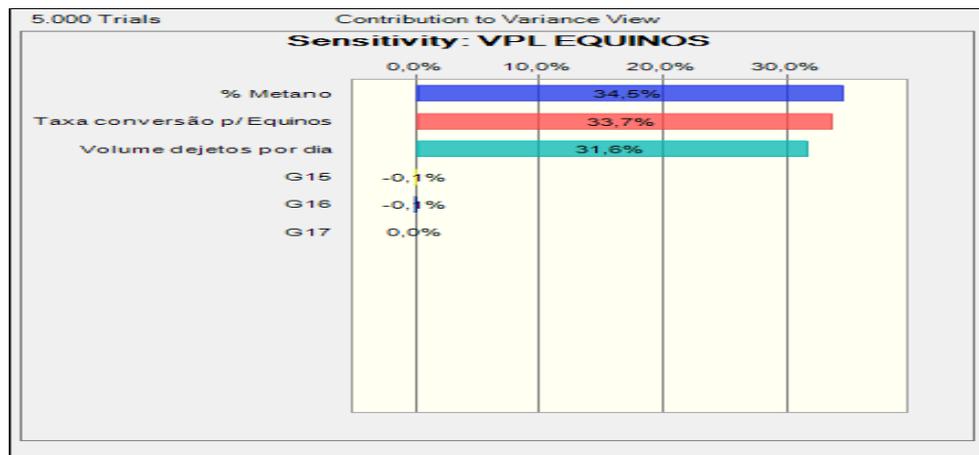


Figura 4 – Simulação de Monte Carlo – Variabilidade do VPL dos Equinos

Conforme pode-se observar na Figura 4, os fatores que mais contribuem para a variabilidade do VPL e da TIR dos suínos são: (i) % de Metano (34,5%); (ii) Taxa de Conversão para equinos (33,7%); e, (iii) Volume de dejetos (31,6%). Então, $p(\text{VPL} < 0) = p(\text{TIR} < \text{TMA}) = 0,5229$. Supondo, também, que o investidor assume um risco de perder dinheiro máximo de 20%, ou $p(\text{VPL} < 0) = p(\text{TIR} < \text{TMA}) = 0,20$, o número mínimo de equinos para atender a esta premissa é 288 animais. Neste cenário, obtém-se probabilidade de o VPL ser maior que zero de 0,8003, com 95% de certeza que ele ficará entre –R\$ 28.447,00 e R\$ 71.893,32. Assim, a chance do investidor perder dinheiro é de 19,97%.

5 CONCLUSÕES

A proposta desta pesquisa foi encontrar o número de animais mínimo que uma propriedade rural precisa ter para viabilizar a implantação de um biodigestor para geração de energia elétrica. A partir da análise de viabilidade financeira, com o cálculo do VPL e da TIR, encontrou-se um número mínimo de 1009 suínos e 271 equinos em um cenário determinístico. Na pesquisa de campo que serviu de base para mensuração de investimentos iniciais e das saídas do projeto, foram verificadas as capacidades de geração de energia dos biodigestores. Averiguou-se que o biodigestor orçado no investimento inicial tem a capacidade (tamanho da lagoa e capacidade do gerador) de gerar energia a partir desta quantidade total de dejetos produzidos.

Depois, foi realizada a Simulação de Monte Carlo, com a variação de alguns parâmetros. Esta simulação mostrou que, no caso dos suínos, a probabilidade de que o $\text{VPL} > 0$ é 0,4830 e a probabilidade de a $\text{TIR} < \text{TMA}$ é de 0,5170. Nos equinos, a probabilidade de que o $\text{VPL} > 0$ é de 0,4771 e a probabilidade de a $\text{TIR} < \text{TMA}$ é de 0,5229. Dentro deste

contexto, entendendo que a $p(VPL < 0) = p(TIR < TMA) = 0,517$ para o projeto com 1009 suínos e $p(VPL < 0) = p(TIR < TMA) = 0,5229$ para o projeto com 271 equinos, e admitindo que o investidor aceita um risco máximo de 20% de perder dinheiro, o número mínimo de suínos para atender esta premissa é 1075 animais e, em relação aos equinos, considerando a mesma premissa, o número é de 288 animais. Assim, deve-se implantar o biodigestor, considerando um risco máximo de 20% de perder dinheiro, em propriedades que tenham, no mínimo, 1075 suínos ou 288 equinos.

Esta pesquisa limitou-se a analisar a viabilidade financeira a partir de dejetos de suínos e equinos. Assim, não pode-se generalizar as análises e reflexões aqui propostas para outros animais. Outra limitação desta pesquisa é que foram utilizados parâmetros da literatura para realização dos cálculos. Também, não foram consideradas possíveis receitas advindas da geração de créditos de carbono para calcular as entradas do projeto. Neste contexto, surgem as sugestões para outros trabalhos.

Recomenda-se utilizar uma amostra significativa de equinos e suínos para obter médias, principalmente de volume de dejetos e percentual de metano presente nos dejetos. Também, recomenda-se analisar a viabilidade da implantação do biodigestor utilizando os dejetos de outros animais (por exemplo, os bovinos) realizando comparações, como foi o foco deste trabalho (a literatura, em geral, trata da utilização dos dejetos de suínos), ampliando o conhecimento nesta área da ciência.

REFERÊNCIAS

- ALFAKIT. **Kit para análise de biogás**. Disponível em: <http://www.alfakit.com.br/produtos-ver.html?id=20>. Acesso em 11 de Setembro de 2011.
- AMARAL, C. C., AMARAL, L. A., LUCAS JUNIOR, J., Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Cienc. Rural**, vol.34, n.º.6, p.1897-1902, ISSN 0103-8478, nov/dez., 2004.
- BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1993.
- BODIE, Z.; MERTON, R. C. **Finanças**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002.
- CARVALHO, T., NOLASCO, M. A. Créditos de carbono e geração de energia com uso de biodigestores no tratamento de dejetos suínos. **Rev. Acad.**, Curitiba, v.4, n.3, p. 23-32, jul./set. 2006.
- CATAPAN, A.; CATAPAN, D. C.; CATAPAN, E. A. Formas alternativas de geração de energia elétrica a partir do biogás: uma abordagem do custo de geração da energia. **Custos e @agronegócio online**, Recife, v. 7, n. 1, p. 25-37, jan./abr. 2011.
- CATAPAN, D. C.; CARVALHO, R. I. N. de; CATAPAN, A. Perfil da produção e destino dos dejetos de suínos no município de São José dos Pinhais. **Rev. Acad., Ciências Agrárias Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 247-255, jul./set. 2011.
- CATAPAN, D. C.; CATAPAN, A.; ROSSET, N. R.; HARZER, J. H. Análise da viabilidade financeira da produção de biogás através de dejetos de equinos. **Custos e @agronegócio online**, Recife, v. 8, n. 4, p. 25-51, out./dez. 2012.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Artigo 1º - **Definição de Impacto Ambiental**. Decreto nº 88.351, de 1º de julho de 1983.

CRAVEIRO, M. A. **Produção de Biogás**. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Divisão Química e Engenharia Química. Pesquisa e Desenvolvimento. 7 nº 1206. São Paulo. 1982.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Boletim Informativo de Pesquisa - Embrapa Suínos e Aves e Extensão - EMATER/RS. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2002. 31 p. Ano 10. Bipers nº 14.

GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. **Gestão Ambiental na Agropecuária**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 1. ed. 310 p. 2007.

GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. **Gestão Ambiental na Agropecuária**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 1. ed. 310 p. 2007.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2010.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

GONÇALVES, M. S. **Gestão de resíduos orgânicos**. Principia, Publicações Universitárias e Científicas. Porto. 2005. 1. ed.

GOSMANN, H. A. **Estudos comparativos com bioestequeira e esterqueira para armazenamento e valorização dos dejetos de suínos**. Florianópolis: UFSC – Centro Tecnológico, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia>. Acesso em: 10 abr 2013.

KUNZ, A. et al. **Recomendações para uso de Esterqueiras para Armazenagem de Dejetos de Suínos**. Concórdia: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2004. 4 p. (Comunicado Técnico 361).

KUNZ, A. **Gestão Ambiental na Agropecuária**. Tratamento de dejetos animais. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 1. ed. p. 189. 2007.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, n. 3, p. 651-656, set./dez, 2005.

LENZ, R.F. Bioenergia. **Metano a partir da biomassa**. Joaçaba, Lindner/Hidráulica Industrial S/A., s.d. (folders).

LUCAS JÚNIOR, J. **Aproveitamento energético de resíduos da suinocultura**. In: Energia, Automação e Instrumentação. Lavras: UFLA/SBEA, 1998.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. São Paulo: Nobel, 1986.

MANUAL BIODIGESTOR WINROCK. Disponível em:

<http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/manuais/manual_biodigestor_winrock.pdf>. Acesso em. 21 set. 2010.

MAPA - Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de defesa agropecuária. **Instrução normativa nº 62, de 26 de agosto de 2003.** Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água.

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos agroindustriais. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Universidade Federal de Viçosa. 2005.

McCROY, D. F.; HOBBS, P. J. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes: a review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 30, p. 345-355, 2001.

MIRANDA, C. R. de. **Avaliação de estratégias para sustentabilidade da suinocultura.** Florianópolis: UFSC, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental).

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

PACHECO, F. **Conjuntura e Planejamento**, Salvador: SEI, n.149, p.4-11, Outubro/2006.

PERDOMO, C. C. et al. **Sistema de tratamento de dejetos de suínos: inventário tecnológico.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 83 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 85).

PIRES, N. J. **Biogás – O aproveitamento dos resíduos orgânicos.** Disponível em: <http://www.esb.ucp.pt/~bungah/pires/index.htm>. Acesso em: 31/06/2013.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por Biodigestores.** Monografia do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

QUADROS, D. G. **Biodigestor na agricultura familiar do semiárido.** Salvador: EDUNEB. 1. ed. 96 p. 2009.

SEGANFREDO, A. M. **Gestão ambiental na suinocultura.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

SEIFFERT, M. B. S. **Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental.** São Paulo: Atlas, 2007.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimento.** São Paulo, Atlas: 2009.

SOUZA, C. F., JÚNIOR, J. L., FERREIRA, W.P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – considerações sobre a partida. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago. 2005.

WINROCK. Instituto International Brazil. **Manual de Biodigestão.** Salvador, 2012.