

ANÁLISE DE VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE BIODIGESTORES EM CRIATÓRIO DE FRANGO NA FAZENDA SUCUPIRA EM PARAÍSO DO TOCANTINS

Fernando Tavares de Almeida¹

Brunno Henrique Brito²

RESUMO

Este trabalho tem por finalidade mostrar por meio de uma análise técnica e econômica o potencial da geração de energia elétrica através de Biodigestores utilizando o biogás como combustível. O experimento foi desenvolvido na fazenda Sucupira localizada na cidade de Paraíso do Tocantins/TO. Estudou-se a utilização do composto (cama/fezes) gerado a partir da criação de frangos na granja fazendo seu aproveitamento, conforme as normas ambientais e sanitárias vigentes, a fim de diminuir os danos ambientais provocados por esses resíduos quando são descartados *in natura*. De acordo com o aspecto econômico, este estudo mostrou a viabilidade desse tipo de geração de energia elétrica. A capacidade de geração do sistema supriu o consumo da propriedade, sendo possível injetar o excedente produzido na rede de distribuição permitindo a geração de créditos para serem utilizados no Sistema de Compensação de Energia Elétrica, em consonância com as normas da concessionária Energisa atendendo às características e conexões do sistema em que se enquadra como microgeração. A análise econômica foi realizada por meio do método denominado *payback* simples, que calcula o tempo do retorno financeiro dos investimentos observando o custo da planta de geração, manutenções anuais e os reajustes tarifários sofridos no período de 10 anos. Os resultados mostram que a implantação do sistema em estudo é economicamente viável, pois o sistema, com vida útil média de 10 anos, se paga em 3 anos e apresenta um retorno total do investimento em 6 anos e 9 meses, tempo em que o investidor já tem dinheiro em caixa para investir em outro sistema. Observou-se que o sistema implantado acumulou uma receita de R\$ 630.641,41 contados até o fim de vida útil dos equipamentos. Além disso, comparou-se o valor da planta geradora com o valor da economia anual da receita, ambas aplicadas na poupança considerando o índice de 0,6% ao mês, e foi observado que o valor da economia anual da receita aplicado superou o valor da planta de geração em 272,24% no decorrer de 10 anos.

Palavras-chave: Biodigestor. Resíduos. Planta de Geração.

ABSTRACT

This work aims to show through a technical and economic analysis the potential of electric power generation through Biodigestores using biogas at the Sucupira farm located in the city of Paraíso Tocantins, TO. When analyzing the technical part, the use of the compound (litter / feces) generated from the raising of chickens on the farm was studied, making use of it, complying strictly with the environmental and sanitary standards in force, in order to reduce environmental damage when these Waste is discarded in natura. On the economic side, it showed the possibility of generating electricity. The generation capacity of the system supplied the consumption of the property, and also injected the surplus of the distribution network generating credits to be used in the Electric Energy Compensation System, all in line with the rules of the concessionaire (Energisa) regarding the characteristics and System that fits into

¹Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Católica do Tocantins - FACTO. E-mail: fernandotavaresbm@hotmail.com.

²Graduado em Sistemas Elétricos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (2009) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2015). Atuou como técnico de laboratório (eletrônica) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) entre 2009 e 2017. De 2015 a 2017 foi Professor Adjunto na Faculdade Católica do Tocantins (FACTO). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. E-mail: brunno@ifto.edu.br.



microgeneration. The economic analysis was carried out through a simple payback method that calculates the time of the financial return of the investments, observing the cost of the generation plant, annual maintenance and the tariff readjustments suffered in the period of 10 years. The results show that the implementation of the system under study is economically feasible, since the system, which has an average useful life of 10 years, is paid in 3 years and presents a total return of investment in 6 years and 9 months, at which time the investor already has cash in hand to invest in another system. It is also observed that the implanted system accumulated a revenue of R \$ 630,641.41 counted until the end of useful life of the equipment. In addition, the value of the generating plant was compared with the value of the annual savings of the revenue, both applied in the savings considering the index of 0.6% per month, where it was observed that the value of the annual savings of the applied revenue exceeded the value Of the generation plant by 272.24% over the course of 10 years.

Keywords: Biodigestor; Waste; Generation Plant.

1. INTRODUÇÃO

A energia é o principal bem para que possa constituir o desenvolvimento da sociedade moderna, sendo necessária para o funcionamento dos setores de modo geral, desde a economia, trabalho, ambiente, até as relações internacionais. Afetando diretamente a vida das pessoas, seja na moradia, alimentação, transporte, saúde, lazer, entre outros.

Devido ao aumento da demanda dos países desenvolvidos por energia e devido a alguns acontecimentos políticos, que vão desde o embargo do petróleo em 1973, seguido pela Revolução Iraniana em 1979, juntamente com a guerra do Golf em 1991 e Invasão do Iraque em 2003, muitos países foram obrigados a buscar outros tipos de energia além das de origem fóssil. Antes os combustíveis fósseis eram tidos conceitualmente como inesgotáveis, todavia, atualmente sabe-se que correm o risco de desaparecer.

A crise energética trouxe, ainda, várias preocupações com o meio ambiente, relacionando o aquecimento global, as chuvas ácidas e os resíduos radioativos à forma como a energia é gerada e utilizada (HINRICHS et al., 2014).

Como consequência, para Hinrichs et al. (2014), na década de 1990, houve uma mudança de perfil tradicional da indústria de energia elétrica para a desregulação e competição. Alguns consumidores passaram a comprar de fornecedores de sua preferência e que poluíssem menos, as chamadas alternativas de “energias verdes”. Esses consumidores, pensando em manter seu bem-estar de forma mais consciente, estão buscando fontes alternativas de energia, que são encontradas em abundância na natureza e que são considerados recursos naturais renováveis.

No Brasil, segundo Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 61% da geração de energia elétrica provém de hidroelétricas, porém esse setor sofre muitas oscilações durante o ano, necessitando de um planejamento cada vez melhor. Outra dificuldade é o fato das grandes fontes geradoras de energia elétrica estarem situadas na região amazônica o que dificulta a interligação com os grandes centros consumidores. Pensando em formas de maximizar a energia gerada pelas hidroelétricas, outras fontes de energias renováveis estão sendo utilizadas, pois é preciso diversificar a matriz energética buscando fontes alternativas e limpas do ponto de vista ambiental e econômico, tais como a energia eólica, solar (fotovoltaica) e biomassa (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com o objetivo de regulamentar e até mesmo incentivar a micro e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição, publicou em abril de 2012 a Resolução Normativa nº 482, que foi atualizada em novembro de 2015 pela Resolução nº 687, estabelecendo condições para geração a partir de fontes renováveis de energia.

Observa-se a busca incessante dos países desenvolvidos, nos últimos anos, para gerar energia elétrica através das renováveis, ou seja, processos que gerem energia por meio de fontes que não se esgotam e não agredem o meio ambiente. Segundo o Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL), a utilização de fontes alternativas de energia cresce consideravelmente a cada ano no mundo.

Uma destas fontes de energia que precisa de uma atenção especial por estar presente em grande número, e de diversas formas, seja ela de origem vegetal, de resíduos industriais e dejetos de animais é a biomassa. A biomassa tem sua base o uso de materiais orgânicos que se decompõem biologicamente com ação de bactérias. O gás formado a partir da decomposição da biomassa, chamado de “biogás”, representa uma das soluções alternativas para geração de energia, sendo capaz de aquecer, iluminar e acionar motores. Esse objetivo pode ser alcançado em larga escala com utilização de lixo e esgotos de municipalidades ou em menores escalas, como em fazendas, granjas, sítios, que podem aproveitar a biomassa constituída do esterco bovino, suíno, equino, caprino e aves, e por outros materiais ricos em hidratos de carbono e celulose.

O Estado do Tocantins, por meio da Secretaria da Agricultura e Pecuária (SEAGRO, 2014), está investindo em políticas públicas visando a sustentabilidade e



preservação de suas riquezas ambientais. Alguns programas encontram-se em andamento na SEAGRO, por meio do departamento de Agroenergia, tais como o de Incentivo a Florestas Plantadas; Biocombustíveis e Biomassa; Resíduos Energéticos. Para este último, um trabalho de mapeamento, capacitação e instalação de mecanismos para tratar esses dejetos em biodigestores nas granjas do centro do Tocantins está em andamento.

O presente trabalho buscou mostrar a viabilidade da implantação de biodigestores no estado do Tocantins, precisamente na fazenda Sucupira em Paraíso do Tocantins, município localizado na região central do estado. Esse experimento buscou a geração de energia elétrica tendo como matéria-prima a cama de frango.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de viabilidade do referido trabalho é baseado em uma pesquisa bibliográfica em órgãos de governança do Setor Elétrico no Brasil e suas resoluções, livros, dissertações, teses, leis e artigos acerca da biomassa.

A biomassa já apresenta um percentual significativo frente à matriz energética brasileira, uma vez que, essa energia gerada provém desta fonte de produção limpa, chegando a quase zerar seu efeito poluidor. Uma de suas grandes vantagens é referente à sua implantação que tem um custo inferior em relação às demais, tornando assim, cada vez mais crescente seu desenvolvimento.

A biomassa é qualquer tipo de material orgânico, que por ação de bactérias anaeróbicas se decompõe na ausência do oxigênio que é retirado através das reações bioenzimáticas. A ação das bactérias anaeróbicas sobre as biomassas determina a formação e a liberação do gás metano (CH_4), do gás carbônico (CO_2), do gás sulfídrico (H_2S), do hidrogênio (H), e da amônia (NH_3). Os conjuntos desses gases formados da biodigestão por bactérias metanogênicas denomina-se biogás, que dependem de fatores como temperatura, pH, relação carbono/nitrogênio e a qualidade de cada uma. Dentre as matérias orgânicas mais viáveis e acessíveis estão: os dejetos de animais, restos de culturas, aguapés, resíduos industriais, lixos urbanos e algas marinhas (MACINTYRE, 2005).

O quadro 1 apresenta os tipos de matérias primas que são responsáveis pela formação do biogás a partir da fermentação bacteriana.

Quadro 1: Fontes de resíduos para a produção de biogás.

Matérias primas que produz o biogás
Fezes de suínos
Fezes de bovinos
Fezes de aves
Resíduos orgânicos
Resíduos de abatedouro
Esgoto
Resíduos de cervejaria e vinícolas
Soro de queijo

Fonte: (Gryschcek; Belo, 1983).

A matéria prima responsável pela formação do gás é equilibrada e diluída com água, onde se desenvolvem vários tipos de microrganismos envolvidos na biodigestão (Gryschcek; Belo, 1983).

A digestão anaeróbica de resíduos orgânicos provavelmente já existia antes mesmo do surgimento do homem. O químico italiano Alessandro Volta identificou, em 1776, o metano existente nos pântanos como sendo o gás resultante dos restos da decomposição de vegetais (CASSEB, 1996).

O Metano ou Gobar Gás (gás de esterco em indiano) advindo da biodigestão da biomassa acontece em um biodigestor depois da fermentação realizada por bactérias. O metano, geralmente representa cerca de 60% do biogás, é um gás incolor, sem cheiro, altamente combustível (FARRET, 2010).

Com predominância do metano e dióxido de carbono, o biogás apresenta ainda pequenas quantidades de outros tipos de gases, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Composição do biogás.

Gases	Percentual (%)
Metano	55 - 65
Dióxido de carbono	35 - 45
Nitrogênio	0 - 3
Hidrogênio	0 - 1
Oxigênio	0 - 1
Gás Sulfídrico	0 - 1

Fonte: Magalhães (1986).

O biogás é um composto com 60% de metano em média, e 35% de dióxido de carbono, e 5% do restante são representados por outros gases, como: hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (WEREKO-BROBBY, 2000).



Os gases que formam biogás, o dióxido de carbono e o gás sulfídrico, precisam de um tratamento especial para livrar do poder corrosivo quando armazenados nas conduções até serem convertidos em energia elétrica ou térmica (MAGALHÃES, 1986).

Devido sua mistura ser composta por vários gases, dentre eles o hidrogênio, tem-se total influência quanto ao poder calorífico do biogás. Considerando que a água, no momento da combustão esteja condensada, seu poder calorífico é superior (PCS), já no estado gasoso, seu poder calorífico fica inferior (PCI). De forma que o poder calorífico do metano pode variar entre 4,95 a 7,92 kcal/m³, tanto para o inferior quanto para o superior (COSTA, 2006). Mas se houver um tratamento ideal no biogás, esse poder calorífico pode chegar a 10 kcal/m³ (COSTA,2006).

Os recursos energéticos apresentados pelo biogás dão-se principalmente ao metano (CH₄). A Tabela 2 mostra a equivalência energética do biogás.

Tabela 2: Equivalência energética do biogás com outras fontes.

Equivalência energética de biogás (1m³)	
Combustível	Equivalência
Gasolina (L)	0,61
Óleo diesel (L)	0,55
Gás de cozinha (Kg)	0,45
Etanol (L)	0,8
Carvão mineral (Kg)	0,74
Lenha (Kg)	3,5
Eletricidade (Kwh)	1,43

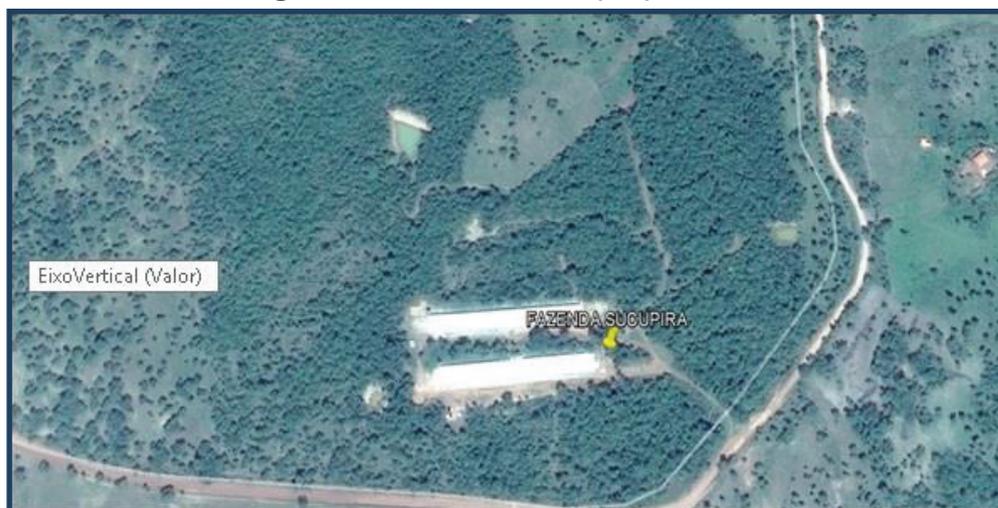
Fonte: Coldebella (2006).

A utilização de biodigestores tem-se apresentado como uma alternativa viável, nas regiões sul e sudeste, para tratamento das excretas de animais, biomassa excedente, a qual, em decomposição no meio ambiente, irá produzir gases nocivos ao ser humano e à natureza, como por exemplo, o gás Metano (CH₄) que é 21 (vinte e uma) vezes mais prejudicial quando comparado ao Gás Carbônico (CO₂) (PEREIRA, 2005).

Através de estudos, foi possível observar os impactos causados quando a cama de frango é utilizada nas plantações como forma de adubos, causando poluição do lençol freático, rios e córregos, além de emanar, na atmosfera, gases de efeito estufa, tais como metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂).

A propriedade estudada dispõe de dois galpões com capacidade para 30 mil aves cada, totalizando 60 mil aves/ciclo, sendo que um ciclo dura em torno de 47 dias. A Figura 1 apresenta a vista aérea da Fazenda Sucupira.

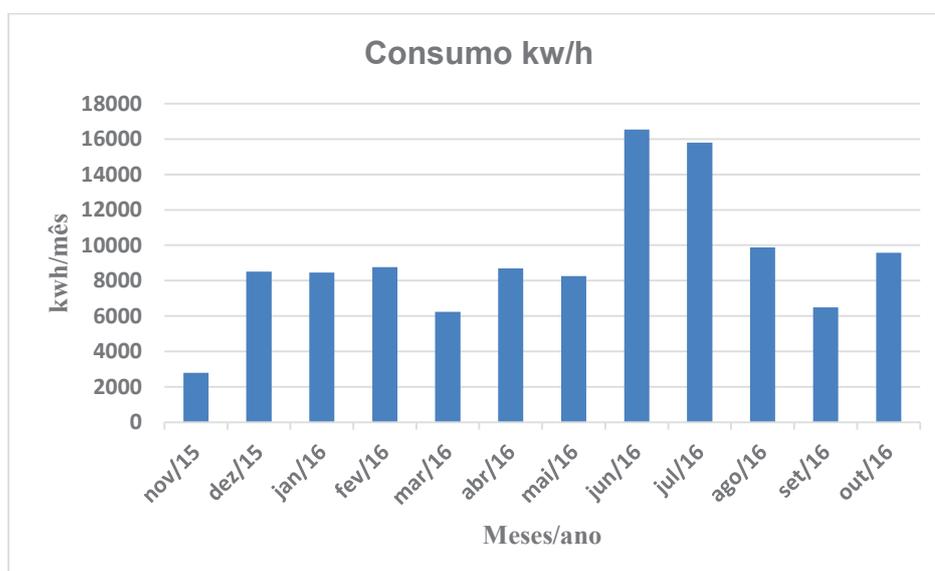
Figura 1: vista aérea da propriedade.



Fonte: Produzida pelos autores

A propriedade tem sua alimentação elétrica fornecida por meio de um transformador de 37,5 kVA monofásico com tensão 220/440 V, em relação à classificação dos consumidores se enquadra no subgrupo B2 (rural e cooperativa de eletrificação rural) e apresenta um consumo médio de 9.168 kWh/mês, como mostra o Gráfico 1, a seguir.

Gráfico 1: Consumo da propriedade dos últimos 12 meses.



Fonte: Energisa (2016).

Observa-se, conforme Gráfico 1, que nos meses de junho e julho de 2016 houve o consumo de energia elétrica superior aos demais meses, esse fato deu-se pela demora no recolhimento das aves pelo frigorífico. Esse período, também coincidiu com a estiagem, época em que a granja permanece com os umidificadores ligados por mais tempo, em decorrência da baixa umidade e do calor excessivo.

Segundo Lucas Júnior (1998), o material que compõe a cama de frango fica a gosto do avicultor que pode variar em proporções de até 0,5 kg por ave. Deste modo, no decorrer de sua vida média que é de 45 dias (1 ciclo), cada ave excreta entre 1,2 a 1,3 kg, uma média de 1,25 kg de fezes, o que pode ser aumentado conforme a conversão alimentar.

A partir desses dados, foi gerada a seguinte equação: quantidade de Resíduo em quilogramas (Q.R) é igual até meio quilo (0,5) de material da cama de frango multiplicado pelo número de aves (Na), mais a média da quantidade de resíduo em quilogramas (MR=1,25) multiplicado pelo número de aves (Na) que é multiplicado pelo número de ciclos ao ano (ciclo/ano).

De posse dessas informações substitui-se os valores na Equação 1 para encontrar o quantitativo de resíduos demandado na granja.

$$\begin{aligned} QR &= 0,0833. (Na) + (MR). (Na). 5(\text{ciclo/ano}) \\ QR &= 0,0833. (60.000) + 1,25. (60.000). 5 \\ QR &= 4.998 + 75.000. 5 \\ QR &\cong 400.000 \text{ Kg/AnoEQ. [1]} \end{aligned}$$

Levando em consideração que a cama de frango é aproximadamente 0,0833 kg de casca de arroz por ave, e que cada ave excreta em média 1,25 kg de dejetos por ciclo, a propriedade estudada que dispõe de 60 mil aves utiliza em torno de 5 mil kg de material para cama de frango, que são adicionados mais 75 mil kg em média de excreta, tudo isso multiplicado por 5 que equivale aos números de ciclos por ano. Conforme a Equação 1, com 5 ciclos durante um ano, 60 mil aves produzem aproximadamente 400 mil Kg/ano de composto (cama/fezes).

A Figura 2 abaixo mostra o momento em que a cama de frango da Fazenda Sucupira é retirada.

Figura 2: Cama de frango da Fazenda Sucupira.



Fonte: Produzida pelos autores

Tendo como base a quantidade de aves e o quantitativo de resíduos gerado por ciclo na propriedade, é possível informar qual o tipo e tamanho do biodigestor ideal para a propriedade. Por meio dos dados coletados na Fazenda Sucupira, o biodigestor que mais se adequa em custo benefício às suas necessidades é o modelo desenvolvido pela Marinha Brasileira, em 1970. Este modelo tem base na forma quadrangular, paredes impermeabilizadas, com uma cúpula escura impermeabilizada. Este modelo é um pouco raso e mais longo quando comparado aos demais. Isso, o torna mais exposto ao sol e, conseqüentemente, terá maior fermentação e geração de gás (SOUZA et al., 1995; BARRERA, 2003).

Indicado para os setores agroindustriais, o modelo apresentado possibilita armazenar quantidades maiores de matéria prima, com facilidade de adaptação à diferentes tipos de resíduos produzindo mais biogás e fertilizantes (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Hoje é o modelo mais utilizado no Brasil, depois da substituição da lona impermeável pelo policloreto de vinila (PVC) o que tornou possível sua implantação devido seu baixo custo quando comparado aos modelos anteriores, consistindo também em uma maior resistência à corrosão causada por fatores ambientais e ações de gases no interior do biodigestor (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). A Figura 3 mostra um biodigestor da Marinha com vista frontal.



Figura 3: Vista frontal do biodigestor da Marinha



Fonte: Barrera (2003).

Como o gasômetro é formado pela lona de PVC e apresenta pouca pressão interna, a fonte consumidora pode ter no máximo 50 m. Caso essa distância seja excedida, é indicado fazer uso de compressores (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Para calcular a quantidade de biogás gerado na propriedade foi utilizada a Equação 2, a seguir:

$$V_{\text{biogás}} = Q_{\text{dejeito}} * N_{\text{animais}} * F_{\text{conversão}} \text{EQ. [2]}$$

Como a quantidade de resíduos já foi dimensionada anteriormente na Equação 1, multiplica-se esta quantidade pelo fator de conversão de resíduo de frangos, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Fator de conversão de biogás gerado por Kg de matéria prima.

Geração de biogás pelo tipo de matéria prima utilizada		
Matéria prima	Kg	M ³
Esterco bovino	1 Kg	0,046
Esterco suíno	1 Kg	0,075
Cama de frango	1 Kg	0,25

Fonte: SENERGAM (2017).

Aplicando-se o fator de conversão na Equação 2, estima-se uma produção de 8.219,18 m³/biogás/mês ou 98.630,16 m³/biogás/ano.

Com base na estimativa de biogás gerado mensalmente na Fazenda Sucupira e utilizando o fator de conversão de eletricidade usando o biogás é possível estimar a geração de energia elétrica por meio da Equação 3:

$$E_{elétrica} = V_{biogás} * PCI * E_{fic.motor} * R_{gerador}$$

EQ. [3]

Utilizando o volume mensal de biogás de 8.219,18 m³, o PCI de 6,5 kWh/m³, a eficiência do motor em 30% e o rendimento do gerador em 80% chega-se a uma quantidade de 12.821,92 kWh/mês que totaliza uma geração anual de 153.863,04 kWh. Segundo a SENERGAM, essa geração chega a 13.151 kWh/mês. Essa diferença dá-se em virtude de novas tecnologias atribuídas aos equipamentos em relação às literaturas estudadas (SENERGAM, 2017).

O projeto a ser executado é conectado à rede de distribuição local, sendo considerado como microgeração com geração de até 75 kW, conforme a Resolução 482/2012 atualizada pela Resolução 687/2015 (ANEEL, 2015).

Para analisar a energia elétrica gerada pelo sistema é necessário realizar o levantamento do consumo médio de energia elétrica da granja, que é de 9.168 kWh/mês, conforme apresentado pelo Gráfico 1. A Tabela 4 mostra um comparativo entre a geração e o consumo, além de seu eventual excedente no período de 12 meses.

Tabela 4: Comparativo geração do projeto com o consumo em 12 meses.

Mês/Ano	Geração KWh/mês	Consumo KWh/mês	Excedente em KWh/mês
Nov/2015	13151	2797	10353
Dez/2015	13151	8516	4635
Jan/2016	13151	8463	4688
Fev/2016	13151	8766	4385
Mar/2016	13151	6243	6908
Abr/2016	13151	8685	4466
Mai/2016	13151	8256	4895
Jun/2016	13151	16540	- 3389
Jul/2016	13151	15798	-2647
Ago/2016	13151	9889	3262
Set/2016	13151	6493	6658
Out/2016	13151	9572	3579

Fonte: ENERGISA (2016) adaptado.

Tendo em vista que o consumo médio da propriedade é de 9.168 kWh/mês, conforme Gráfico 1, a destinação da energia elétrica gerada na Fazenda Sucupira em um primeiro momento é para suprir a demanda da propriedade. Já no segundo momento, o proprietário poderá utilizar o excedente creditado junto à rede de distribuição local que é, em média, de 3.983 kWh/mês de energia elétrica para uma



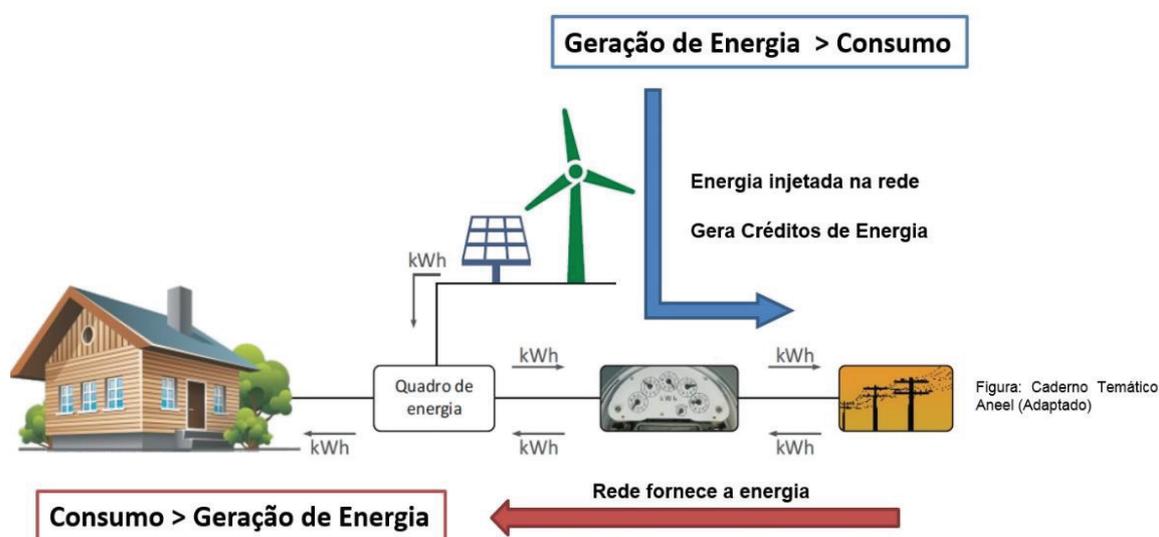
posterior compensação em outras unidades consumidoras cadastradas em nome do proprietário, utilizando assim, do Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica é um novo modelo disposto pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, quanto à regularização entre o sistema de distribuição de energia da concessionária e as gerações descentralizadas (ANEEL, 2016).

Segundo a ANEEL (2016), essa fusão permitirá que a energia excedente gerada nas fontes geradoras descentralizadas além de consumida, seja injetada na rede de distribuição, funcionando como uma bateria que armazena esse excedente.

Quando a energia produzida na fonte geradora for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) válido por 60 meses a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário (para consumidores com tarifa horária) ou na fatura dos meses subsequentes (ANEEL 2016). A Figura 4 mostra o funcionamento do Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

Figura 4: Sistema de Compensação de Energia.



Fonte: ANEEL (2016).

A Figura 4 mostra que a seta em vermelho indica quando o consumo supera a geração, diante disso, a rede de distribuição suprirá essa diferença. Neste caso, será utilizado o crédito ou, caso não haja, o consumidor pagará a diferença. Já a seta azul, mostra que não está sendo utilizada toda a energia gerada pelo sistema de geração, consequentemente creditará o excedente na distribuidora de energia elétrica para serem gastos futuramente (ANEEL, 2016).

O uso do Sistema de Compensação de Energia Elétrica só é possível se a propriedade obedecer às Resoluções Normativas 482/2012 que foi atualizada pela 687/2015 da ANEEL, pela Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Brasileiro), e também pela NTD-18 de 2012 da Energisa para as microgerações.

Para realizar o levantamento dos materiais de implantação do biodigestor na fazenda Sucupira, faz-se necessário levar em consideração a quantidade de resíduos produzidos na granja, juntamente com o potencial de geração de biogás e a quantidade de energia produzida no processo, para então, a empresa SENERGAM elaborar o orçamento, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5: Orçamento da planta de geração de energia elétrica da Fazenda Sucupira.

Itens	Unid.	Quant.	Preço unid.	Preço
Biodigestor de 733 m ³	Uni	1	R\$ 37.623,36	R\$ 37.623,36
Lagoa de Biofertilizante de 379 m ³	Uni	1	R\$ 10.858,80	R\$ 10.858,80
Agitador do biodigestor e caixa ent.com motor	Uni	1	R\$14.378,00	R\$14.378,00
Painel de conexão na rede completo	Uni	1	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00
Gerador de 50 kVA	Uni	1	R\$ 75.000,00	R\$ 75.000,00
Cabos, chave sec. conectores, filtro, bateria, valv. Frete.	Uni	1	R\$ 19.350,65	R\$ 19.350,65
Projeto e aprovação da geração junto a Energisa	Uni	1	R\$ 6.500,00	R\$ 6.500,00
Instalação	Uni	1	R\$ 17.710,85	R\$ 17.710,85
TOTAL				R\$ 211.421,66

Fonte: SENERGAM (2017).

O projeto considerado, neste artigo, trata-se de um sistema conectado à rede, sendo considerado como microgeração com geração de até 75 kW, conforme a Resolução 482/2012, atualizada pela Resolução 687/2015 (ANEEL, 2016).



3. RESULTADOS E DISCUSÕES

Para realizar a análise da viabilidade econômica na fazenda Sucupira, é necessário levar consideração os seguintes fatores:

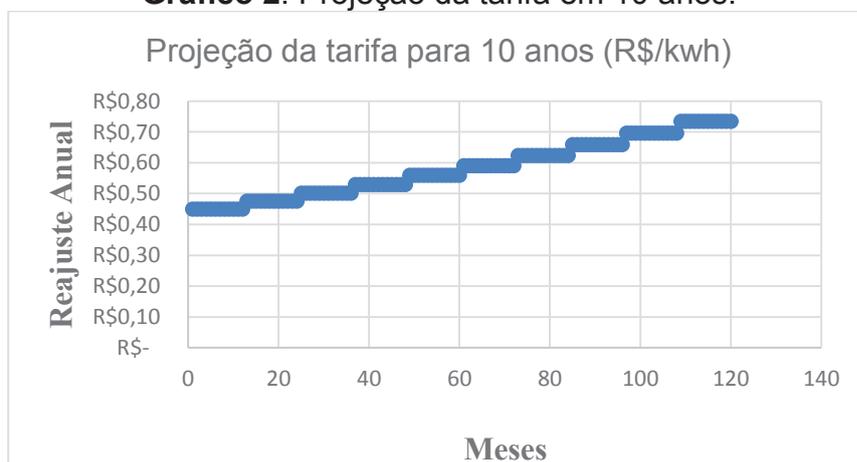
- Valor total da planta geradora;
- Valor da tarifa do KWh com impostos cobrados pela distribuidora;
- Projeção da tarifa para os próximos 10 anos;
- Estimativa de geração em KWh/mês;
- Vida útil dos equipamentos;
- Valor gasto com manutenções anuais;
- Tempo estimado de retorno do investimento.

Os custos de instalação são apresentados na Tabela 5 e o rendimento é calculado tendo como base o valor em reais por kWh pagos à Energisa Tocantins. Diante disso, sabe-se que a tarifa de energia tem seu valor reajustado pelo menos uma vez ao ano, assim é necessário calcular a projeção da tarifa para os próximos anos considerando esse reajuste.

Um estudo realizado por Nakabayashi (2014), que avalia o custo de energia elétrica nas capitais brasileiras, a média de reajuste tarifário no Tocantins é de cerca de 5,6 % ao ano. Deste modo, o cálculo do rendimento do sistema de geração com o Biodigestor é realizado para os próximos 10 anos que é equivalente à vida útil dos equipamentos.

O Gráfico 2 demonstra a evolução no reajuste da tarifa de energia elétrica ao longo de 10 anos, baseado no valor da tarifa atual da propriedade que é de R\$ 0,45 KWh/mês com um acréscimo de 5,6% ao ano.

Gráfico 2: Projeção da tarifa em 10 anos.



Fonte: Nakabayashi (2014).

Conforme o Gráfico 2, observa-se que a tarifa se inicia em R\$ 0,45 e ao final de 10 anos chega a R\$ 0,73, apresentando um reajuste de R\$ 0,28, o que equivale a 62% do valor da tarifa inicial.

Para demonstrar a análise do tempo de retorno do investimento que possibilita observar em quanto tempo o sistema se paga, utiliza-se uma ferramenta matemática financeira denominada *payback* simples. Esse método é considerado de análise geral, sem considerar os riscos e correções monetárias, igualando o valor do lucro líquido ao valor do investimento (MIRANDA, 2014).

A Tabela 6 mostra o fluxo de caixa acumulado no período de 10 anos, levando em consideração a receita gerada pela planta geradora e as manutenções anuais realizadas.

Tabela 6: Fluxo de caixa acumulado em 10 anos.

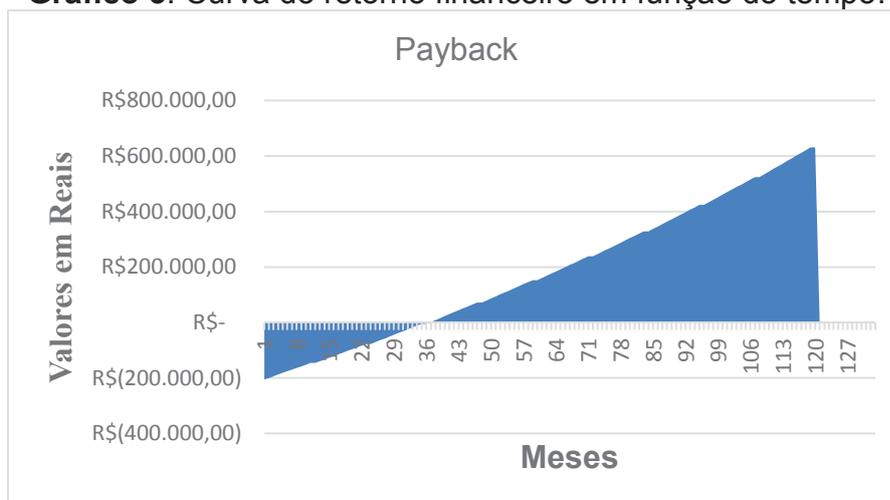
Ano	Receita da Geração Anual – R\$	Manutenção Anual – R\$	Fluxo de Caixa Acumulado – R\$
0	0,00	0,00	- 211.421,66
1	71.015,40	5.917,95	- 146.324,21
2	74.992,32	6.249,36	- 77.581,25
2 anos e 11 meses	72.592,52	6.049,34	- 11.038,07
3	6.599,32	549,94	- 4.988,69
3 anos e 1 mês	6.968,88	580,74	1.399,45
4	76.657,68	6.388,14	71.668,99
5	88.309,68	7.359,14	152.619,53
6	54.398,75	4.533,22	202.485,06
6 anos e 8 meses	7.771,25	647,60	209.608,71
6 anos e 9 meses	7.771,25	647,60	216.732,36

Fonte: próprio autor (2017).

Em conformidade com os dados obtidos da Tabela 6, é possível observar que o sistema de geração de energia elétrica a partir do Biodigestor se pagará em 3 (três) anos e o tempo em que acontece o retorno total do investimento dá-se com 6 (seis) anos e 9 (nove) meses. Também é possível demonstrar através do Gráfico 3 uma análise do tempo de retorno total do investimento, sendo observado no momento em que a curva ultrapassa o eixo das ordenadas positivamente, mais precisamente no terceiro ano de implantação do sistema. Observa-se também que as manutenções anuais ocorridas nos equipamentos são representadas por picos apresentados no Gráfico 3, ao longo de sua projeção.



Gráfico 3: Curva do retorno financeiro em função do tempo.

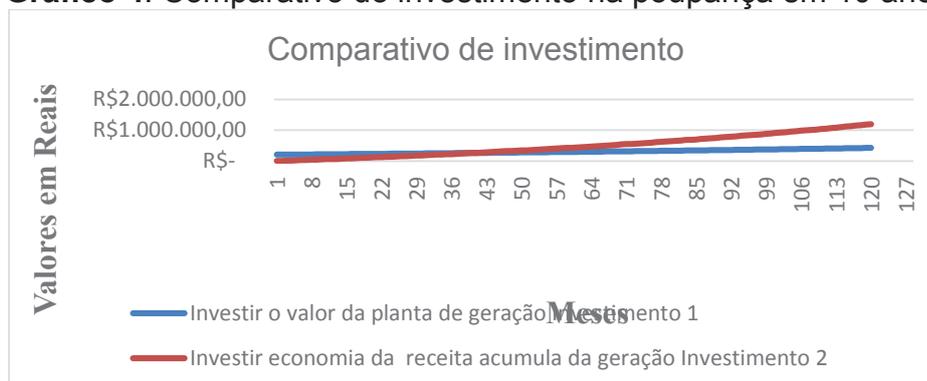


Fonte: próprio autor (2017).

Após analisar os dados obtidos no projeto, pode-se concluir que é viável a instalação de uma planta geradora a partir do biogás gerado no biodigestor na fazenda Sucupira.

Para compreender a importância de se implantar um sistema de geração de energia elétrica por meio de Biodigestor, fez-se um comparativo entre investimento total gasto na planta geradora que é de R\$ 211.421,66 e a economia da geração anual do sistema no valor de 65.097,45, acumulado anualmente, sendo reajustado conforme a caderneta de poupança em aproximadamente 0,6% ao mês. O gráfico 4 ilustra de forma clara esse comparativo.

Gráfico 4: Comparativo do investimento na poupança em 10 anos



Fonte: próprio autor (2017).

Ao analisar os dados dos eventuais investimentos apresentados no Gráfico 4, pode-se notar que os investimentos se igualam em 3 anos e 5 meses após as aplicações e, ao término dos 10 anos, o investimento 1 tem uma receita de R\$

430.833,22 e o investimento 2 tem uma receita de R\$ 1.192.735,05. Nessas condições observa-se, de forma clara, que investir a economia da receita da geração acumulada é mais rentável, chegando a superar o investimento da planta de geração em 272,24%, reafirmando a viabilidade do sistema de geração de energia elétrica com biodigestor.

4. CONCLUSÃO

A partir dos estudos apresentados neste artigo, percebe-se que o uso de biodigestores em propriedades rurais, pode ser uma excelente alternativa para o tratamento dos dejetos emanados das atividades do agronegócio, pois apresenta significativos ganhos ambientais e financeiros.

O principal objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade da geração de energia elétrica através do biogás advindo do processo de biodigestão anaeróbica.

A realização deste trabalho deu-se por meio dos levantamentos bibliográficos e estudo de caso e foi estimada a quantidade total de resíduo aproveitado no sistema. Logo depois, pôde-se analisar os investimentos em equipamentos necessários para instalação da planta de geração.

Os principais resultados mostraram que o sistema de geração de energia utilizando o biogás proveniente da cama de frango de um criatório de 60 mil aves na fazenda Sucupira, localizada em Paraíso do Tocantins, se paga em cerca de 3 anos e o retorno financeiro do investimento acontece em 6 anos e 9 meses e, nos 10 anos de vida útil dos equipamentos, o sistema acumula uma receita de R\$ 630.641,41.

Quando comparados os investimentos aplicados na poupança, verificou-se que a aplicação da economia da geração cresceu 272,24% a mais que o investimento inicial da planta geradora sobre uma taxa de rendimento de 0,6% ao mês.

Desta forma, os dados apresentados seguramente tornam o projeto economicamente viável e altamente atrativo.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482**. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Acesso em set. 2016.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687**. Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015. Acesso em nov. 2016.



BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** São Paulo: Ícone, 1993.

CASSEB, M. S. **Avaliação do desempenho de um reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo, em escala piloto, tratando de esgotos sanitários da cidade de Belo Horizonte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1996.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências exatas e Tecnologia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná, 2006.

COSTA, D.F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto,** Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades de Pós-graduação em energia da USP (PIPGE), São Paulo, 2006. 194 p.

ENERGISA. **Extrato e Segunda Via da Conta.** 2016. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/paginas/servicos-online/autoatendimento/extrato-e-2via.aspx?cdc=8/590601-1>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica.** 2. ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 2010. 244 p.

GRYSCHKEK, J.M. & BELO, F.R. **Produção e uso do gás metano na agricultura e agroindústria.** Piracicaba, ESALQ, 1983. 15p.

HINRICHS, Roger A. et al. **Energia e Meio Ambiente.** 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 764 p.

LUCAS JR., J.; SILVA, F. M.; SANTOS, T. M. B.; OLIVEIRA, R. A. **Aproveitamento de resíduos agrícolas para a geração de energia.** In: SILVA, M. S.; BRAGA JR., R. A. Energia, Automação e Instrumentação. Poços de Caldas: SBEA/UFLA, 1998. p.63-135.

MACINTYRE, Archibald Josep. **Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais.** 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 2005. 744 p.

MAGALHÃES, A. P. T.. **Biogás: um projeto de saneamento urbano.** São Paulo, Nobel, 1986. 120p.

MIRANDA, A. B. C. M. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede.** Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/Curso de Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro, 2014.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras.** 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de

Pós-graduação em Energia, Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; MATTEI, R. M. **Biodigestor como unidade de tratamento dos dejetos de suínos**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 3; Foz do Iguaçu, 2006. **Anais...** Campinas: Editora Animal/World. 1 CD-ROM.

PEREIRA M. L. **Biodigestores: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais na suinocultura**. São Paulo, SP, 2005; Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acesso em: 03/10/2016.

SEAGRO. Secretaria de Agricultura e Pecuária do Tocantins. **Projeto de Mapeamento, Capacitação e Implantação de um Sistema de Tratamento de Efluentes com Biodigestores nas Granjas do Centro do Tocantins**. Palmas, 2014.

SENERGAM SOLUÇÕES ENERGÉTICAS E AMBIENTAIS, Disponível em: <<http://www.senergam.com.br/pagina/post/9/biogas>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2012.

WEREKO-BROBBY, C. Y., HAGEN, E.B. - **Biomass conversion and technology**. New York: Editor John Wiley & Sons. 2000.

