
Análise de viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás e do biometano provenientes de dejetos de suínos: estudo de caso

Economic feasibility analysis of biogas and biomethane energy use from swine manure: a case study

Análisis de viabilidad económica del aprovechamiento energético del biogás y del biometano provenientes de residuos de cerdos: estudio de caso

Fabício Paiva Vieira

Instituto Federal de Goiás – IFG
engynconsultoria@yahoo.com.br

Elder Geraldo Domingues

Instituto Federal de Goiás – IFG
prof.eldergd@gmail.com

Simone Souza Ramalho

Instituto Federal de Goiás – IFG
simoneramalho@gmail.com

Luane Schiochet Pinto

Instituto Federal de Goiás - IFG
luane.schiochet@hotmail.com

Daywes Pinheiro Neto

Instituto Federal de Goiás – IFG
daywes@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta a análise, em quatro cenários, da viabilidade econômica da geração de energia elétrica e da produção de biometano a partir do biogás oriundo de dejetos de suínos. Cenário 1 (C1): o biogás é utilizado para gerar energia elétrica através de um grupo motor-gerador (GMG). Cenário 2 (C2): purifica-se o biogás e utiliza-se o biometano produzido para gerar eletricidade em um GMG. Cenário 3 (C3): o biometano é injetado na rede de distribuição de gás natural e vendido à concessionária. Cenário 4 (C4): o biometano é utilizado

como combustível veicular na frota da granja. Utilizando-se três critérios de decisão (VPL, TIR e Payback descontado) para se analisar a viabilidade econômica dos cenários, concluiu-se que os mais rentáveis são: o C4, C1, C2 e C3, respectivamente.

Palavras-chave: Biogás. Energia Elétrica. Biometano Veicular. Análise Econômica.

Abstract

This article analyzes the economic feasibility of the electric power generation and biomethane production from swine manure biogas in four scenarios. Scenario 1 (C1), biogas is used to generate electricity through a motor-generator set (GMG). Scenario 2 (C2), the biogas is purified and the biomethane produced is used to generate electricity in a GMG. Scenario 3 (C3), biomethane is injected into the natural gas distribution network and sold to the power distribution company. Scenario 4 (C4), biomethane is used as fuel in the farm vehicles. Using three decision criteria (NPV, IRR and Discounted Payback) to analyze the economic feasibility of the scenarios, it was concluded that the most profitable ones are: C4, C1, C2 and C3, respectively.

Keywords: Biogas, Electric Power, Vehicular Biomethane, Economic Analysis.

Resumen

Este artículo presenta el análisis, en cuatro escenarios, de la viabilidad económica de la generación de energía eléctrica y de la producción de biometano a partir del biogás oriundo de desechos de cerdos. El escenario 1 (C1): el biogás se utiliza para generar energía eléctrica por medio de un grupo motor-generador (GMG). Escenario 2 (C2): se purifica el biogás y se utiliza el biometano producido para generar electricidad en un GMG. Escenario 3 (C3): el biometano se inyecta en la red de distribución de gas natural y se vende a la concesionaria. Escenario 4 (C4): el biometano se utiliza como combustible vehicular en la flota de la granja. Se utilizaron tres criterios de decisión (VPL, TIR y Payback descontados) para analizar la viabilidad económica de los escenarios, se concluyó que los más rentables son: el C4, C1, C2 y C3, respectivamente.

Palabras clave: Biogás, Energía Eléctrica, Biometano Vehículo, Análisis Económico.

Introdução

Segundo a Associação Goiana de Suinocultores (AGS), até o final de 2017 existiam, no estado de Goiás, 220 granjas cadastradas, totalizando mais de 100 mil matrizes suínas. As quais, juntamente com inúmeros suínos de outros tamanhos, geram uma quantidade enorme de dejetos. Nessas granjas há uma grande demanda por energia elétrica, e também um grande potencial de aproveitamento dos dejetos para gerarem sua própria eletricidade de forma sustentável e renovável.

O biogás destaca-se entre as fontes promissoras e renováveis de energia por ser uma das mais abundantes em nosso planeta, sobretudo no Brasil, estando disponível em pequena e larga escala e acessível a uma boa parte

da população. O biogás, além dos benefícios socioeconômicos, traz benefícios ambientais pois propicia destinações corretas aos resíduos urbanos e dejetos agrossilvipastoris, evitando assim a contaminação do solo, lençóis freáticos, rios e açudes.

Existem diversos trabalhos acerca do tema biogás na literatura, dentre os quais pode-se destacar o estudo elaborado por Lira (2009), onde o autor analisou quatro alternativas de aproveitamento energético do biogás gerado a partir de dejetos de suínos: queima total do biogás no flare, geração de energia elétrica em GMG, aquecimento, e a combinação de geração de energia elétrica com aquecimento. O autor concluiu que a alternativa de utilização exclusiva do biogás para aquecimento apresentou um custo de uso do gás menor que a alternativa de aquecimento e geração de energia, tendo um período de retorno do investimento mais atraente e menor risco, sendo, portanto, a melhor alternativa.

Silva (2009), em Portugal, analisou a venda da energia elétrica gerada em grupo motor-gerador (GMG) e a produção e venda do biometano (biogás purificado). Considerou como critério de decisão na análise econômica apenas o Payback simples, e concluiu que o cenário de produção do biometano é mais vantajoso do que o cenário de produção de energia elétrica.

Garces Júnior (2010) analisou duas alternativas: as receitas com a venda dos créditos de carbono (CC) da queima do biogás em um flare e as receitas com a venda dos CC da queima do biogás em um grupo motor-gerador (GMG) e com a venda da eletricidade gerada por este. Neste estudo o autor concluiu que o cenário 2 tem uma rentabilidade maior do que o cenário 1.

Neste contexto, este trabalho analisa a viabilidade econômica do biogás proveniente de dejetos de suínos para gerar energia elétrica e/ou biometano. Para tanto, foi necessário: levantar o potencial de produção de biogás, energia elétrica e biometano, a partir dos dejetos, estimar as receitas e economias provenientes desses dois últimos produtos; quantificar as emissões de carbono que podem ser evitadas com a implementação dos cenários de projeto propostos, estimando as receitas provenientes da venda dos créditos de carbono; e, por fim, analisar a viabilidade econômica de produção e utilização de energia elétrica e biometano oriundos do biogás suinícola.

Utilização do biogás de resíduos de suínos para geração de eletricidade e biometano

O biogás é uma mistura de gases composta principalmente por metano e dióxido de carbono, obtida normalmente por meio do tratamento de resíduos domésticos, agropecuários ou industriais, via processo de biodigestão anaeróbia, ou seja, na ausência de oxigênio (CIBIOGÁS, 2016). Como o metano é o gás majoritário dessa mistura, ele confere ao biogás um importante valor energético.

O mesmo é obtido na digestão anaeróbia realizada em um biodigestor, sendo que os modelos mais conhecidos no mercado são (SANTANA et al., 2012):

1. O chinês (digestor de cúpula fixa);
2. O indiano (digestor de tambor flutuante), e
3. O canadense ou de fluxo tubular, que é o modelo taiwanês (digestor tubular de polietileno) melhorado.

No Brasil, os mais utilizados são os modelos chinês e indiano, em pequeno e médio porte, sendo o indiano o mais difundido no país pela sua simplicidade e funcionalidade (CIVARDI, 2014).

Atualmente o biodigestor canadense está sendo bastante utilizado em propriedades agrossilvipastoris (integração entre lavoura, pecuária e floresta), com o intuito, além de tratar os resíduos, de gerar energia elétrica, e em alguns casos, biometano.

A Figura 1 representa o biodigestor modelo canadense (marinha) sem paredes divisórias internas em corte transversal.

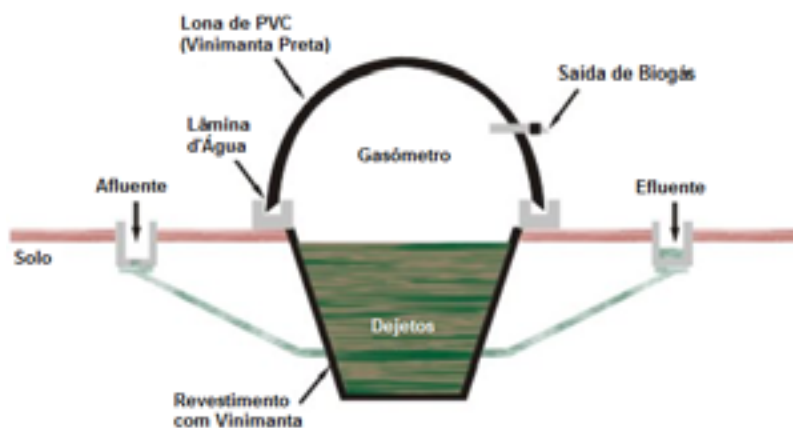


Figura 1 Biodigestor modelo canadense sem paredes divisórias internas, corte transversal. Fonte: BALMANT (2009).

Durante o processo de biodigestão anaeróbia e a conseguinte produção de biogás, constituído principalmente pelos gases metano e gás carbônico, formam-se também traços de outros componentes, como: hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, ácido sulfídrico, amônia ou amoníaco, monóxido de carbono, vapor de água, e outros (siloxanos, hidrocarbonetos) que, como o gás carbônico, também precisam ser removidos (SILVA, 2009).

O processo de tratamento (limpeza e purificação) mais adequado a ser utilizado é escolhido dependendo da destinação final do biogás, gerando assim maior rentabilidade e eficiência energética na utilização desta fonte de energia renovável. Tal processo é constituído de duas etapas principais que tem com o intuito obter o biogás purificado ou biometano (BORSCHIVER; SILVA, 2014):

1. Processo de limpeza das impurezas (cleaning process);
2. Processo de melhoria do poder calorífico do biogás (upgrading process).

O biometano é o gás resultante do processo de purificação do biogás até que este atinja características similares à do gás natural. Para se chegar a esse estado, é necessário a remoção da umidade, do sulfeto do hidrogênio e do dióxido de carbono, resultando assim em um combustível de alto poder calorífico e que pode ser utilizado em substituição ao gás natural veicular (GNV) (ABIOGÁS, 2016).

Para dimensionar o biodigestor é necessário conhecer a quantidade diária da biomassa que será tratada e o tempo de retenção previsto para a biodigestão (BLEY JR., 2015).

Fontes de receitas

Com o intuito de ajudar os países signatários do Protocolo de Quioto a cumprirem as metas de redução de emissões de GEE's acordadas, foram estabelecidos três mecanismos de flexibilização: implementação conjunta, MDL e comércio de emissões. Previsto pelo artigo 12 do Protocolo de Quioto, o MDL é o único mecanismo de flexibilização aplicável ao Brasil (FELIPETTO, 2007).

Quando se implementa projetos que reduzem as emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), de acordo com o MDL, as empresas que os

implementam recebem como contrapartida Certificados de Emissões Reduzidas (CER's), popularmente conhecidos por Créditos de Carbono. Estes podem ser comercializados com os países desenvolvidos que assinaram o Protocolo de Quioto constituindo assim uma nova fonte de receita para essas empresas (GARCES JÚNIOR, 2010).

Para quantificar as reduções de emissão de gases de efeito estufa (GEE), ou seja, os créditos de carbono, é necessário escolher uma das metodologias do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) existentes. A ACM0010 versão 8, intitulada de Redução das Emissões de GEE por meio de Sistemas de Gerenciamento de Dejetos é uma das metodologias utilizadas para se quantificar as emissões reduzidas. As quais são calculadas subtraindo-se das emissões do cenário de linha de base as emissões do(s) cenário(s) de projeto proposto(s) e as emissões de vazamento (UNFCCC, 2013).

Para estimar a receita proveniente dos créditos de carbono, deve-se primeiramente determinar a quantidade de créditos de carbono a ser gerada pelo projeto, ou seja, as emissões reduzidas de gases do efeito estufa (GEE), as quais se tornarão receitas caso venham a ser comercializadas. Para tanto, necessita-se utilizar uma metodologia aprovada e consolidada pelo IPCC – International Panel on Climate Changes.

Ademais, o aproveitamento energético do biogás pode gerar outras fontes de receitas, tais como: i) vender a energia elétrica excedente e o biometano (biogás purificado); ii) economizar com o uso da própria eletricidade gerada; iii) substituir os combustíveis tradicionais pelo biometano veicular; iv) utilizar o biofertilizante gerado na biodigestão anaeróbica para a adubação orgânica no lugar dos tradicionais adubos químicos.

Critérios de decisão econômica

De acordo com Lira (2009), os critérios de decisão econômica mais utilizados em uma análise de viabilidade econômica são:

3. VPL (Valor Presente Líquido): quando os valores líquidos, no caso deste trabalho, o saldo do fluxo de caixa no ano y para cada alternativa de projeto, são trazidos à data zero do projeto;
4. TIR (Taxa Interna De Retorno): é a taxa de juros que faz o VPL igua-

lar-se a zero;

5. *Payback* (tempo de retorno do investimento) Descontado: é obtido quando, após se descontar o valor do dinheiro no tempo, o saldo do fluxo de caixa em um ano y se igualar ao investimento inicial realizado, para cada alternativa econômica.

Metodologia

As etapas seguidas na metodologia estão apresentadas na Figura 2.

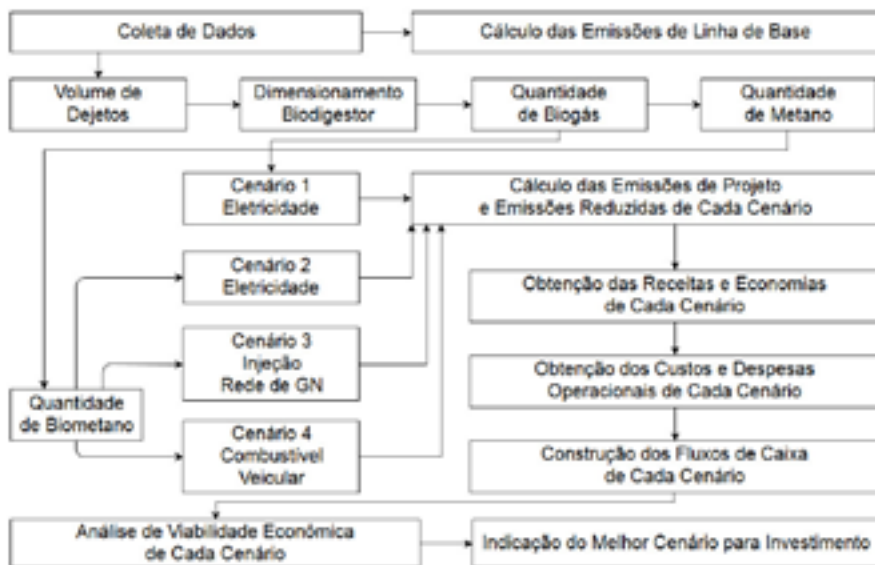


Figura 2
Fluxograma geral das etapas da metodologia

Fonte: Elaborada pelo autor, 2017.

A partir da quantidade de suínos da granja em estudo, calcula-se o volume total de dejetos produzidos diariamente (vazão). Esse volume permite dimensionar o biodigestor e o volume do biogás, bem como outros parâmetros deste trabalho.

Para a geração e cálculo da quantidade de biogás, adotou-se o modelo de biodigestor de fluxo tubular (canadense ou da marinha brasileira) por causa de suas vantagens e por ser um tipo de biodigestor bastante utiliza-

do em granjas.

O volume do biodigestor (V_{bio}), ou seja, a quantidade de biomassa que ocupa a câmara de digestão do biodigestor, em m^3 , é estimado a partir do número de suínos (N_{sui}) necessários para a produção de dejetos em uma granja, por meio da expressão (1), o qual fornecerá o volume de biogás a ser consumido pelo grupo motor-gerador (MARTINS E OLIVEIRA, 2011).

$$V_{bio} = N_{sui} \cdot TRH \cdot V_{dej} \quad (1)$$

Em que, TRH é o Tempo de Retenção Hidráulica, em dias; e V_{dej} é o volume médio diário de dejetos produzido por suíno na granja, em $m^3/\text{animal}/\text{dia}$.

O volume de biogás, $Q_{Biogás\ Dia}$, em m^3 por dia, que alimentará o grupo motor-gerador (GMG), é estimado a partir do volume de biomassa, ou seja, volume do biodigestor (V_{bio}), por meio da expressão (2), (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

$$Q_{Biogás\ Dia} = V_{bio} \cdot k \quad (2)$$

Em que, k é o índice de eficiência de produção de biogás no biodigestor, em m^3 biogás/ m^3 biomassa.

O volume de biometano é estimado a partir da quantidade diária de metano contida no biogás de dejetos suínos, ou seja, é multiplicado o índice adotado de incidência de metano no biogás advindo da digestão anaeróbia, no valor de 0,65 (65%) pela quantidade diária de biogás produzido (SGC, 2012; GARCES JÚNIOR, 2010).

Assim, a quantidade de biometano produzida por dia, em m^3 , é estimada multiplicando a quantidade diária de metano contida no biogás pelo teor mínimo de metano contido no biogás purificado para que o biometano possa ser utilizado como combustível veicular, no valor de 0,97 (97%), (SGC, 2012; PROBIOGÁS, 2016).

Para determinar o potencial de energia elétrica, primeiramente, estima-se a potência elétrica gerada no ano y a partir do volume de gás (biogás e biometano) produzido por ano na granja por meio da expressão (3), adaptada de Garcez Júnior (2010).

$$Pel_{Gás_y} = \frac{(Q_{Gás_y} \cdot PCI_{Gás} \cdot \varepsilon \cdot \eta)}{31.536.000} \quad (3)$$

Em que, $Pe_{Gás,y}$ é a potência elétrica no ano y , em MW, advinda da queima do gás; $Q_{Gás,y}$ é a quantidade de gás gerada no ano y em m^3 ; ϵ é o Poder Calorífico Inferior do gás, em MJ/Nm^3 ; ϵ é a eficiência de coleta do gás, em %; η é a eficiência elétrica, rendimento do grupo motor gerador; e 31.536.000 é o fator de conversão de ano para segundo.

Após estima-se a energia elétrica gerada pela queima do gás no ano y , $EE_{Gás,y}$, em MWh, levando em consideração a potência elétrica do ano y e tempo de geração de eletricidade no ano y em horas, conforme a expressão (4).

$$EE_{Gás,y} = (Pe_{Gás,y} \cdot t_{geração,y}) \quad (4)$$

O tempo de geração de eletricidade, $t_{geração,y}$, adotado foi de 8030 horas no ano. Considerando o ano com 365 dias e o dia de 22 horas, devido ao tempo de manutenção e parada inesperada do GMG.

Para o cálculo das emissões de linha de base e da redução de emissões de carbono (créditos de carbono), usou-se a metodologia ACM0010 versão 8, por se tratar de uma metodologia aprovada e consolidada pelo IPCC (2006) aplicável ao manejo de dejetos de grandes sistemas de criação animal (UNFCCC, 2013).

Cenários escolhidos

Com o intuito de analisar qual é a melhor forma de aproveitamento energético do biogás são apresentados quatro cenários, sendo que o 1º utiliza o biogás e os outros cenários o biometano.

Adotou-se tanto para o cenário 1 quanto para o 2, a tecnologia de grupo motor-gerador a gás Ciclo-Otto para se realizar a conversão de gás em energia elétrica, por ter um bom rendimento elétrico, além de ser barata, e por ser uma tecnologia nacional.

Para se estimar a potência elétrica do biogás e do biometano usou-se uma adaptação da expressão utilizada por Garces Júnior (2010). E, a partir dela foi possível calcular a energia elétrica gerada por esses dois gases conforme os cenários 1 e 2 a seguir.

Cenário 1 (C1) e Cenário 2 (C2) – Geração de energia elétrica a partir da queima do biogás e do biometano, respectivamente, no GMG

A potência elétrica gerada no ano y foi estimada por meio da expressão

(3), sendo que o Poder Calorífico Inferior, em MJ/Nm³, adotado para o biogás foi 23 e para o biometano 35,53; a eficiência de coleta, em %, adotada para o biogás foi 85 e para o biometano 100; e o rendimento adotado para o GMG foi de 40%. A energia elétrica gerada pela queima desses gases, no ano y , $EE_{Gás,y}$, em MWh, foi estimada pela expressão (4).

Cenário 3 (C3) – Injeção de biometano em uma rede fictícia de gás natural

Neste cenário considerou-se que todo o biometano produzido no ano y é injetado em uma rede fictícia de distribuição de gás natural com o intuito de vendê-lo a uma suposta concessionária de gás do estado de Goiás.

Cenário 4 (C4) – Uso do biometano veicular

Neste cenário considerou-se que todo o biometano produzido no ano y é utilizado como combustível veicular na frota da granja em substituição aos combustíveis tradicionais.

Por meio da equivalência energética, ou seja, o valor energético (VE), de alguns combustíveis em relação ao biogás, foi possível chegar à equivalência energética desses combustíveis em relação ao biometano.

Para determinar equivalência energética dos combustíveis em relação ao biometano, partiu-se da equivalência destes em relação ao biogás. Para tanto, foi necessário primeiramente calcular a equivalência energética do biometano em relação ao biogás, ou seja, a quantidade de biometano extraída de 1 m³ de biogás.

Sabendo-se que, para este trabalho, no biogás suinícola há 65% de metano e que deste metano 97% torna-se biometano após o processo de purificação, multiplicando-se as duas porcentagens chega-se ao valor de 63,05%. Isto significa que 1 m³ de biogás equivale energeticamente a 0,6305 m³ de biometano. Invertendo-se esse valor obteve-se a equivalência energética do biogás em relação ao biometano, ou seja, a quantidade de biogás encontrada em 1 m³ de biometano.

Assim, para se determinar o valor energético de um dado combustível em relação ao biometano, bastou dividir o valor energético do combustível a ser substituído em relação ao biogás, pelo valor energético do biometano em relação ao biogás, que neste trabalho vale 0,6305 m³.

Para se quantificar as emissões reduzidas de gases de efeito estufa (GEE), primeiramente, foram calculadas as emissões de projeto, PE_y , no ano y , em

t CO₂ e, de acordo com sua fórmula na ACM0010 versão 8 (UNFCCC, 2013). O cálculo das emissões dos cenários 3 e 4 foi igual ao das emissões calculadas para os cenários 1 e 2 com exceção das emissões de gás carbônico do projeto, $EPE_{Gás\ y}$, originadas da queima do metano na câmara de combustão interna do grupo motor-gerador.

O presente trabalho considerou apenas o uso do biodigestor anaeróbio para os cenários de projeto. Segundo o IPCC (2006) o vazamento físico do digestor anaeróbio é de 15% do total de biogás produzido, valor este utilizado para o cálculo das emissões de projeto associadas ao vazamento na digestão anaeróbica durante a captura do metano no ano y , em t CO₂ e/ano, $PE_{AD, y}$, de acordo com a ACM0010 versão 8 (UNFCCC, 2013).

Para calcular as emissões de gás carbônico do projeto, PE_{GMG} , adotou-se para a densidade do metano (CH₄) o valor de 0,00067 t/m³ a 1 atm. e 20°C (UNFCCC, 2013).

Com relação a viabilidade econômica, a mesma foi realizada de forma determinística aos cenários de projeto propostos por meio dos 3 (três) critérios de decisão (VPL, TIR e *Payback* descontado) para um período de 20 anos, que corresponde ao tempo de vida útil adotado para o grupo motor-gerador (GMG).

Neste período é possível observar se houve ou não inversão do fluxo de caixa, tendo em vista que o tempo de vida útil adotado para o biodigestor foi de 10 (dez) anos, período em que se faz a revitalização deste.

Para se realizar as projeções de fluxo de caixa, todas as receitas e economias bem como os custos e despesas operacionais dos 4 (quatro) cenários sofreram variações anuais a partir do 2º ano de projeto durante os 19 anos seguintes pela meta da taxa de inflação do Governo Federal para o ano de 2018 que é de 4,5% a.a., conforme resolução nº 4.499, de 30 de Junho de 2016.

Escolheu-se como valor da taxa mínima de atratividade (TMA) o valor da SELIC de dezembro de 2017 que foi de 7% a.a., para se descontar os fluxos de caixa anuais e calcular os VPL's, dos quatro cenários de projeto de investimento.

Não considerou-se nas análises de viabilidade econômica deste trabalho o valor residual dos bens de capital, pois estes são reformados ou revitali-

zados ao final de suas vidas úteis.

Resultados e discussão

Para efeitos de cálculo, foram adotados os dados de uma granja, cujo nome não foi mencionado neste trabalho por sigilo comercial, a qual é denominada doravante apenas de Granja.

A Granja em estudo localiza-se no centro-oeste do Brasil, criando de forma intensiva 8.136 suínos com tipo de produção de ciclo completo. A Granja possui um biodigestor em funcionamento da marca Sansuy, modelo canadense (gasômetro de vinimanta: lona de PVC) e um grupo motor-gerador (GMG), da marca CUMMINS, de 150 kVA (96 kW), consumindo entre 50 a 60 m³ de biogás por hora, trabalhando em média 22 horas por dia, o qual não está interligado à rede de distribuição de energia da concessionária

Quando, por algum motivo, não é possível gerar energia elétrica por meio do biogás, tem-se na granja uma PCH que é acionada imediatamente para substituí-lo, motivo este que possibilitou a não ligação com a concessionária local de energia elétrica. Mas, o GMG supre toda a demanda energética da granja.

Para quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), foram utilizados os seguintes dados: o peso médio dos animais calculado pelo quociente do peso total dos animais, 583.499,80 kg, pela quantidade total de animais da granja, 8136, no valor de 71,72 kg e o peso médio padrão dos animais, no valor de 28 kg.

Adotou-se como valor padrão para a excreção dos sólidos voláteis por dia, 0,3 kg/cabeça/dia, segundo o IPCC (2006), e o número de dias em que o sistema de tratamento estava operante no ano igual a 365 dias de acordo com a Granja. Utilizou-se como valor padrão anual para a excreção de nitrogênio por cabeça de uma determinada população 20 kg N/animal/ano, segundo o IPCC (2006).

O biodigestor canadense foi dimensionado a partir da quantidade de suínos fornecida pela Granja, sendo esta igual a 8.136. O volume diário por animal adotado, com base no estudo de Garces Júnior (2010), foi de

0,0125 m³, e o tempo de retenção hidráulico conforme Martins e Oliveira (2011) igual a 30 dias. Com esses dados encontrou-se que o volume adequado do biodigestor é de 3.051,00 m³.

Para se estimar a produção de biogás necessitou-se do índice de eficiência de produção de biogás, que pode variar de 0,35 a 0,60 m³ de biogás por m³ de biomassa, de acordo com Martins e Oliveira (2011). Para este trabalho, preferiu-se seguir o conservadorismo da SANSUY e adotar o limite inferior de k, ou seja, 0,35, para evitar problemas/reclamações futuras por parte de produtores e empreendedores com relação à produção de biogás.

Com base nesses dados obteve-se a quantidade de biogás produzida diariamente e anualmente pelo biodigestor igual a 1.067,85 m³ e 389.765,25 m³ respectivamente.

Atualmente, a Granja utiliza o biogás apenas para gerar eletricidade, aproveitando-se o digestato (resíduos da digestão anaeróbia) na fertirrigação da pastagem. O biogás é tratado na propriedade somente em nível de limpeza, ou seja, dessulfurização e secagem do gás, não ocorrendo a etapa de purificação, pois não se produz biometano no local.

Portanto, para efeitos de cálculo dos cenários 3 e 4 foi necessário considerar, além da limpeza, as fases de purificação referente à remoção do dióxido de carbono (CO₂) e à qualidade de gás natural.

Estimou-se a produção de biometano a partir da quantidade diária de metano, contida e adotada para o biogás suinícola (65%), que foi de 694,10 m³/dia. O volume de biometano produzido diariamente, na granja de suínos em estudo foi de 673,28 m³/dia, e anualmente igual a 245.747,20 m³/ano.

Para o cálculo da economia anual com a substituição dos combustíveis tradicionais pelo biometano veicular, utilizou-se os preços de compra direta da distribuidora, fornecidos pela Granja no mês de maio de 2017, que foram R\$ 1,91/litro e R\$ 2,83/litro para o etanol e o óleo diesel, respectivamente.

Para melhor compreensão dos resultados a Tabela 1 apresenta um resumo dos quatro cenários.

TABELA 1

Resultados dos cenários 1, 2, 3 e 4

Resultados	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Potência elétrica gerada no ano y (MW/ano)	0,09665	0,110748	x	x
Energia elétrica gerada no ano y (MWh/ano)	776,10	889,31	x	x
Quantidade de biometano produzido no ano y (m ³ /ano)	x	x	245.747,20	245.747,20
Quantidade total de etanol substituível no ano y (litros)	x	x	x	48.300
Quantidade de biometano veicular que substitui o etanol no ano y (m ³ /ano)	x	x	x	38.640
Economia anual com a substituição do Etanol pelo Biometano (R\$)	x	x	x	92.253,00
Quantidade parcial de óleo diesel substituível no ano y (litros)	x	x	x	180.183,26
Quantidade de biometano veicular que substitui o óleo diesel no ano y (m ³ /ano)	x	x	x	207.107,20
Economia anual com a substituição do Diesel pelo Biometano (R\$)	x	x	x	509.919,00

A partir da Tabela 1, percebe-se que a potência e energia elétrica geradas a partir da queima do biometano no GMG (cenário 2) foram 14,59% maiores do que as do biogás (cenário 1). E que, por meio da substituição parcial do óleo diesel pelo biometano veicular, a granja poderá reduzir sua compra daquele combustível para 634.760,74 litros por ano, obtendo, assim, uma economia de 22,11%. Ao se substituir todo o etanol e parte do óleo diesel consumidos, a Granja poderá obter uma economia anual de R\$ 602.172,00.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos das emissões reduzidas de gases de efeito estufa (GEE) no ano y, em toneladas de CO₂ equivalente, para os quatro cenários de projeto propostos.

TABELA 2

Resultados das emissões reduzidas no ano y de GEE dos cenários 1, 2, 3 e 4, em t CO₂ e.

Gases de Efeito Estufa (GEE)	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Emissões anuais de Linha de Base, (BE _y)	7.116,05	7.116,05	7.116,05	7.116,05
Emissões anuais de Projeto, (PE _y)	1.712,61	1.703,13	1.396,66	1.396,66
Emissões anuais de Vazamento, (LE _y)	283,09	283,09	283,09	283,09
Emissões Reduzidas no ano y (ER _y)	5.120,35	5.129,83	5.436,30	5.436,30

Cada cenário de projeto analisado propôs evitar a emissão de certa

quantidade de GEE na atmosfera, cujos valores estão apresentados na tabela 2. Desses valores, concluiu-se que os cenários que mais evitam a emissão de GEE foram os cenários 3 e 4, igualmente, uma vez que o biogás passa por um processo de tratamento mais completo, sendo elevado à qualidade de gás natural. Enquanto que o cenário que evitou menos a emissão de GEE foi o cenário 1, pois queima o biogás diretamente no GMG, passando apenas pelo processo de limpeza do gás. O cenário 2 evitou um pouco mais do que o cenário 1 a emissão de GEE, pois trata o biogás antes de queimá-lo no GMG.

As tabelas 3 e 4 apresentam os valores dos principais componentes dos fluxos de caixa obtidos, e os saldos a partir do 2º ano, para os 4 (quatro) cenários de projeto propostos, considerando e desconsiderando o investimento inicial do projeto de MDL, respectivamente.

TABELA 3

Valores dos principais componentes dos fluxos de caixa considerando as receitas dos créditos de carbono.

Parâmetros	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
II com MDL	R\$ 799.056,00	R\$ 1.116.277,00	R\$ 806.743,00	R\$ 822.233,00
RecEco	R\$ 331.953,00	R\$ 375.312,00	R\$ 278.364,00	R\$ 637.246,00
CDO	R\$ 35.192,00	R\$ 104.030,00	R\$ 71.529,00	R\$ 72.304,00
Saldo FC	R\$ 296.761,00	R\$ 271.282,00	R\$ 206.835,00	R\$ 564.942,00

TABELA 4

Valores dos principais componentes dos fluxos de caixa desconsiderando as receitas dos créditos de carbono.

Parâmetros	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
II sem MDL	R\$ 645.954,00	R\$ 963.175,00	R\$ 653.641,00	R\$ 669.131,00
RecEco	R\$ 327.140,00	R\$ 370.490,00	R\$ 273.254,00	R\$ 632.136,00
CDO	R\$ 35.192,00	R\$ 104.030,00	R\$ 71.529,00	R\$ 72.304,00
Saldo FC	R\$ 291.948,00	R\$ 266.460,00	R\$ 201.725,00	R\$ 559.832,00

O Quadro 1 apresenta os dados utilizados nos cálculos das análises de viabilidade econômica dos 4 (quatro) cenários de projeto.

QUADRO 1

Parâmetros utilizados nos cálculos das análises de viabilidade econômica.

Parâmetros utilizados na análise econômica	Valores	Unidades
Vida útil do projeto*, adotou-se a mesma do GMG.	20	anos
Taxa de inflação utilizada para se projetar todas as receitas, economias, custos e despesas operacionais, dos fluxos de caixa foi a meta da taxa de inflação do Governo Federal para o ano de 2018.	4,50	% a.a.
TMA adotada (taxa global de juros) para se descontar os fluxos de caixa anuais foi a SELIC de dezembro de 2017.	7,00	% a.a.

Fonte: *Autor (2017), Governo Federal (2016).

As tabelas 5 e 6 apresentam os resumos dos resultados obtidos das análises de viabilidade econômica para os 4 (quatro) cenários de projeto propostos por este trabalho, para os 3 (três) critérios de decisão utilizados, considerando e desconsiderando o projeto de MDL e os créditos de carbono.

Da análise dos cenários, confirmou-se que, normalmente, VPL's maiores geram tempos de retorno do investimento (*Payback's*) menores e produzem TIR's maiores.

Nota-se, pela análise das tabelas 5 e 6, que em todos os cenários, os VPL's foram positivos e que as TIR's foram maiores do que a TMA adotada (7%), portanto todos eles são viáveis economicamente.

TABELA 5

Resumo dos resultados das análises de viabilidade econômica dos cenários com os créditos de carbono.

Análise de Viabilidade Econômica	Considerando o Projeto de MDL e os Créditos de Carbono			
	Resultados			
Critérios de Decisão	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
VPL	R\$ 3.620.219,82	R\$ 2.919.012,69	R\$ 2.257.285,89	R\$ 7.638.715,71
TIR	32,15%	19,82%	21,07%	61,84%
Payback descontado	2,95 anos	4,59 anos	4,34 anos	1,57 anos

TABELA 6

Resumo dos resultados das análises de viabilidade econômica dos cenários sem os créditos de carbono.

Análise de Viabilidade Econômica	Desconsiderando o Projeto de MDL e os Créditos de Carbono			
	Resultados			
Critérios de Decisão	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
VPL	R\$ 3.700.799,55	R\$ 2.999.423,93	R\$ 2.333.364,00	R\$ 7.714.788,17

TABELA 6

Resumo dos resultados das análises de viabilidade econômica dos cenários sem os créditos de carbono.

TIR	39,75%	23,09%	26,11%	75,83%
Payback descontado	2,41 anos	4,01 anos	3,58 anos	1,28 anos

E que, para todos os cenários, a não utilização dos créditos de carbono possibilitou um retorno financeiro maior para o empreendimento do que quando estes foram contabilizados na análise econômica, devido ao:

1. Preço de implementação de um projeto de MDL onerar o investimento inicial; e
2. Baixíssimo preço atual da tonelada de carbono equivalente no mercado internacional (receita ínfima).

Devido à incongruência entre os critérios de análise de investimento dos cenários 2 e 3, realizou-se a análise incremental dos fluxos de caixa destes cenários, pelo método da taxa interna de retorno (TIR), que consistiu em calcular os critérios de decisão econômica para a diferença entre os fluxos de caixa 2 e 3 (FC 2 – FC 3).

Desta análise, concluiu-se que o C2 foi mais viável economicamente do que o cenário C3, tanto considerando quanto desconsiderando os créditos de carbono.

De acordo com as análises de viabilidade econômica e incremental verificou-se que em termos de rentabilidade a ordem decrescente dos cenários é C4, C1, C2 e C3.

Em suma, os cenários de projeto mais atrativos economicamente em ordem decrescente de rentabilidade foram: C4, C1, C2 e, por último, C3, conforme demonstrado nas análises de viabilidade econômica e incremental.

Conclusão

Este trabalho apresenta outros cenários de projeto de investimentos também interessantes e mais rentáveis do que a “simples” geração de energia elétrica a partir do biogás.

Do ponto de vista ambiental, é importante ressaltar que o tratamento de dejetos por meio do biodigestor possibilita que esse material seja es-

tabilizado e utilizado como biofertilizante na propriedade. Vale destacar também que em termos de benefícios ambientais, a ordem decrescente dos cenários é C3 e C4, empatados, C2 e, por último, C1.

Para todos os cenários, infelizmente, a não utilização dos créditos de carbono possibilita um retorno financeiro maior para o empreendimento do que quando estes são contabilizados na análise econômica. No entanto, caso o preço da tonelada de CO₂ equivalente volte a subir isso beneficiará mais ainda os projetos analisados.

A análise de viabilidade econômica mostrou que os cenários mais rentáveis são C4, C1, C2 e C3, respectivamente. C4 é o cenário mais viável, devido à grande quantidade de combustível utilizada na propriedade e ao altíssimo preço dos combustíveis tradicionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos gestores e colaboradores da Granja em estudo pelo fornecimento dos dados necessários para a realização da pesquisa, à FAPEG pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, e ao Instituto Federal de Educação e Tecnologia de Goiás (IFG) pelo incentivo à pesquisa.

Referências

ABIOGÁS (Associação Brasileira de Biogás e Biometano). *Menu Biogás e Biometano*. Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/biogas-e-biometano>>. Acesso em: 28 de outubro de 2016.

AGS (Associação Goiana de Suinocultores). Disponível em: <<http://ags.com.br/>>. Acesso em: 14 de dezembro de 2017.

BALMANT, W. *Concepção, Construção e Operação de um Biodigestor e Modelagem Matemática da Biodigestão Anaeróbica*. UFPR. Curitiba/PR, 2009.

BLEY JÚNIOR, C. *Biogás: A energia invisível*. 2. ed. Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás-ER), 2015.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. da. *Mapeamento Tecnológico para Purificação de Biogás e seu Aproveitamento: Panorama Mundial e Iniciativas Nacionais*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA (COBEQ), 20., 2014. *Anais...* São Paulo: Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2., 2015. p. 8757-8765.

CIBIOGÁS (Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás). Menu *O Biogás*. Submenu *O Que É O Biogás?* Disponível em: <<https://www.cibiogas.org/biogas>>. Acesso em: 28 out. 2016.

CIVARDI, J. F. D. *O uso de biodigestores na suinocultura como alternativa de sustentabilidade econômica: uma análise para a região da Grande Dourados/MS*. Dourados/MS, 2014.

FELIPETTO, A. V. M. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) Aplicado a Resíduos Sólidos, *Caderno 2: Conceito, Planejamento e Oportunidades*. MMA, MC e IBAM, 2007.

GARCES JÚNIOR, W. B. Estudo de caso: Análise de viabilidade econômica do uso do biogás como energia renovável em granjas de suínos. 2010. 100f. TCC (Tecnologia em Química Agroindustrial) – Câmpus Goiânia, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

IPCC. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa, Japan: United Nation Environmental Programme, 2006.

LIRA, J. C. Umbelino. *Análise econômica e balanço energético do biogás em granjas de suínos*. Universidade Federal de Goiás (UFG), Escola de Engenharia Elétrica, Goiânia, 2009.

MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. de. *Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura*. Jaboticabal/SP, 2011.

PROBIOGÁS. *Biogás. Biometano como Combustível Veicular*. Ministério das Cidades e GIZ, Brasília, 2016.

SANTANA, L. E.; CINTRA, L. M. F.; PEDROSA, F.; PERES, S. A Biodigestão como solução para a destinação dos resíduos do setor pecuarista. *Revista da Ciência da Administração*, v. 6, p. 1-26, 2012.

SGC – Swedish Gas Technology Center Ltd. *Basic data on biogas*. Malmö, Sweden, 2012.

SILVA, C.A.B.V. e. *Limpeza e Purificação de Biogás*. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro. Escola de Ciência e Tecnologia. Departamento de Engenharias. Portugal, Julho, 2009.

UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*). Methodology ACM0010: Large-scale Consolidated Methodology for GHG emission reductions from manure management systems – Version 08.0. 2013 onwards. Reduções de Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes de Sistemas de Manejo de Es