



## ANAIS

### **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS BOVINOS EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA: ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA UM PEQUENO PRODUTOR**

DANIEL HENRIQUE DARIO CAPITANI

danieldc@unicamp.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

JOÃO VICTOR FARINA

joao.victor\_farina@hotmail.com

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

**RESUMO:** Com base em um estudo de caso em uma propriedade produtor de milho e leite, este trabalho realizou uma análise de viabilidade econômica da implementação de um projeto de biodigestão anaeróbica a partir de resíduos da bovinocultura inseridos em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), voltado à produção de biogás. De forma geral, foi possível constatar que o investimento é viável em diferentes cenários, gerando eficiência energética na propriedade, incrementando a receita do produtor e reduzindo riscos e incertezas financeiras. Além disso, o aproveitamento do biofertilizante como substituto à ureia também contribui para o melhor aproveitamento energético. Nesse sentido, entende-se que os investimentos na produção de biogás no sistema em estudo permitiram incrementar a competitividade do produtor simultaneamente a melhores práticas ambientais.

**PALAVRAS CHAVE:** Biogás; Análise econômico-financeira; Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** This study assess the economic feasibility in implementing a project of anaerobic digestion for biogas production, from livestock residues in a crop-livestock system in a dairy and corn farm in the Northwest of Sao Paulo state. Overall, the investment seems to be feasible in different scenarios, leading to the increment of energy efficiency in the farm, as well as increasing on income and reduction on production risks and uncertainties. In addition, energy efficiency is improved from the substitution of urea by the bio-fertilizer. Thus, the biogas investments in a crop-livestock system lead the producer to increase the farm productivity and competitiveness, and simultaneously use better environmental practices.

**KEY WORDS:** Biogas; Financial-economic analysis; Sustainability.

## ANAIS

### 1. INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro se consolida a cada ano como um dos protagonistas no mercado mundial de *commodities* e como importante fonte de criação de riqueza para a economia do país, com destaque nas taxas de crescimento dos setores de grãos e proteínas MDIC (2017). Especificamente à bovinocultura, o Brasil apresenta o segundo maior rebanho e figura como grande exportador de carnes e grande produtor de leite cru (IBGE, 2018).

Porém, a despeito deste crescimento, algumas externalidades ambientais são constantemente aventadas da atividade pecuária, como a emissão de gases de efeito estufa (IPAM, 2017). De acordo com FAO (2014), a agropecuária mundial gera, em média, emissões na ordem de 5 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano.

Com base no volume da produção pecuária brasileira e sua relevância econômica, concomitante às preocupações ambientais, cada vez mais estudos buscam avaliar alternativas que conciliem um aumento da competitividade desse setor, com técnicas que tornem a relação entre produção e meio ambiente mais sustentável.

Esforços para o melhoramento do sistema de produção em busca de um aproveitamento dos resíduos da bovinocultura, alinhados a técnicas menos emissoras de preparação de pastagem, se tornam possibilidades para redução dos impactos. Neste sentido, mecanismos alternativos vêm sendo implementados no campo, dentre os quais se verifica o aproveitamento de resíduos orgânicos para a produção de biocombustíveis, como o biogás em biodigestores (SALOMON; LORA, 2009).

Em paralelo à produção de biogás é interessante que a produção animal, a qual será responsável pela produção de dejetos para o biodigestor, insira-se em um sistema de produção que estabeleça uma relação menos agressiva ao meio ambiente e que gere maior diversificação e potencial de renda ao produtor. Uma alternativa amplamente discutida na literatura é o sistema de integração lavoura pecuária (ILP), que consiste na forma integrada das produções agrícolas e pecuária, em formato de rotação ou sucessão, na mesma área e em diferentes períodos, visando reduzir os impactos ao meio ambiente a partir de práticas controladas e conservacionistas, diversificando a produção com maior eficiência no uso de recursos naturais (EMBRAPA, 2018).

Assim sendo, o presente trabalho buscou traçar uma análise de viabilidade econômica da aplicação de projetos de biodigestão anaeróbica abastecidos por resíduos da produção bovina inserida em sistemas ILP, utilizando, para isso, ferramentas de análise de investimentos. Adicionalmente, reforçou-se a sinergia existente na produção de biocombustíveis *in loco* com sistemas de produção energeticamente eficientes.

Para tanto, foi realizado um estudo de caso para a análise de viabilidade de implantação de um sistema de biodigestão em uma propriedade de bovinocultura leiteira de médio porte, situada no município de Clementina-SP e que aplica o sistema ILP no plantio simultâneo de milho e *brachiaria*.

A partir do estudo de caso, projetou-se o sistema de biodigestão que melhor se adequaria ao local. Ademais, a construção do projeto serviu para as considerações de custos



## ANAIS

que refletiriam nas saídas de fluxos de caixas utilizadas para o cálculo da taxa interna de retorno (TIR) e do valor presente líquido (VPL) do sistema avaliado.

### 2. DESENVOLVIMENTO

O biogás utiliza a biodigestão anaeróbica para sua produção e, segundo Dhanalakshmi e Ramanujam (2012), demonstrou ser eficiente não só pela geração do biogás e de biofertilizantes, subproduto da biodigestão anaeróbica, mas como solucionador do descarte dos resíduos animais no meio ambiente e como sequestrador de GEEs.

Sumariamente, Kunz e Oliveira (2006) demonstram a divisão do processo de fermentação da biomassa, responsável pela produção do biogás em: (i) hidrólise, parte de liberação enzimática extracelular das bactérias, responsável pela quebra de partículas por hidrólise; (ii) acidogênese, transformação de macromoléculas, proteínas, carboidratos e gorduras, em ácido butírico, ácido lácteo, etanol, dióxido de carbono, hidrogênio entre outros; (iii) acetogênese, transformação dos produtos da acidogênese em ácidos etanoicos, gás carbônico e hidrogênio; e (iv) metanogênese, em que, somente nessa etapa do processo, e na presença de gás carbônico e hidrogênio, ocorrerá a produção de metano.

Segundo Kunz e Oliveira (2006), os programas pioneiros na produção de biogás foram desenvolvidos justamente nas décadas de 1970 e 1980. O foco se dava na produção de energia limpa e na autonomia de insumo. Conjuntamente, mitigava-se a poluição causada pelos resíduos da produção agropecuária. Vê-se, logo em seu início, que o aproveitamento dos resíduos da pecuária sempre esteve ligado à questão financeira, social e ambiental.

Já em relação à produção de biogás como possibilidade factível (viável tecnicamente e economicamente) para a produção de energia limpa, e alternativa ao descarte de resíduos, começa a tomar força partir dos anos 2000, com a adesão de materiais que simplificavam e barateavam o sistema (Oliveira, 2005).

Como possibilidades de retorno financeiro a partir do aproveitamento do biogás, segundo Salomon e Lora (2009), a consideração da produção de energia *in loco*, por meio da energia térmica produzida com a sua queima e a viabilidade de venda do excedente da produção à rede elétrica, após sua transformação em energia elétrica por geradores termelétricos, é um atrativo, conjuntamente à possibilidade de substituição de fertilizantes químicos pelos biofertilizantes (Salomon & Lora, 2009).

Adicionalmente, voltando-se a um sistema de produção mais sustentável e que permita um potencial de diversificação de renda e produção, tem-se o sistema ILP. Segundo Sá *et al.* (2013), o sistema ILP tem demonstrado possuir melhor eficiência energética na comparação com o cultivo especializado de gramíneas, o que, associado à produção de biogás, faz com que o saldo energético entre a produção de bioenergia e a preparação do solo e cultivo no sistema consorciado para pecuária possa ter um balanço energético eficiente.

Dessa forma, vê-se que a sinergia entre o tratamento de resíduos orgânicos da produção bovina integrado a sistemas de cultivo de pastejo que demonstrem ser menos intensivos no uso de recursos é benéfica pelo aspecto ambiental e econômico.

Pela óptica ambiental, além da economia de insumos, citada por Sá *et al.* (2013) e Macedo (2009), a capacidade de recuperação de solos degradados e a ciclagem de nutrientes,



## ANAIS

proveniente da rotação e ou consorciamento com culturas graneleiras, são chaves para a implementação desse sistema em solos brasileiros (Macedo, 2009).

Analisando o sistema ILP à luz da questão econômica, identificam-se dois potenciais benefícios que, segundo Martha Junior et al. (2011), são a economia de escopo e a diversificação das atividades. A primeira é resultante do menor custo da atividade produtiva nos sistemas consorciados ou rotativos, já que minimizam gastos com preparação do solo. A segunda, pela redução dos riscos das atividades, já que um potencial dano à uma espécie pode não ser prejudicial à outra (Martha Junior et al., 2011).

### 3. DESENVOLVIMENTO E MÉTODOS

O estudo também foi desenvolvido utilizando como base um estudo de caso para a análise de viabilidade de implantação de um sistema de biodigestão em uma propriedade de bovinocultura leiteira que aplica o sistema ILP, situada no município de Clementina-SP, no ano de 2018. O estudo de caso, segundo Yin (2015), tem como princípio a investigação de uma questão contemporânea, no mundo real, de um fato em que as fronteiras de entre os fenômenos e efeitos ainda não se mostraram claras.

Em primeiro momento, para incorporação das variáveis-chave para início do estudo de caso, tem-se a delimitação dos dejetos bovinos, matéria orgânica considerada na biodigestão e nas projeções de conversão, os quais foram avaliados da forma indicada por Gueri et al., (2015) e Miranda et al., (2013), para que se tenha o melhor aproveitamento da atividade microbiana, e assim uma maior taxa de produção de biogás. Após a conclusão do projeto implementado no estudo de caso, projetou-se uma expectativa de produção de biogás a partir das relações estabelecidas por Deganutti et al. (2002), e se desenvolveu uma análise econômica empregando metodologias de análise de investimento, sendo aplicado o cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) e o valor presente líquido (VPL), utilizando para tanto o capital investido no projeto e as projeções de entrada de caixa pelo aproveitamento do biogás e do biofertilizante.

Segundo Schroeder et al. (2005), a taxa mínima de atratividade (TMA) mais apropriada ao investimento é a taxa do custo do capital, considerando o custo do capital como sendo o retorno exigido pelos financiadores de capital para a firma. Para o estudo de caso, toda estrutura de capital foi dada de maneira própria, ou seja, não dependendo da captação junto a terceiros. Logo, o custo do capital para o empreendimento equivale aos custos de oportunidade de aplicação desse montante.

Tomando a taxa Selic como TMA, tem-se uma taxa mínima de atratividade para o projeto equivalente a 6,5% ao ano, valor fixado em setembro de 2018 pelo comitê de política monetária do Banco Central do Brasil - BACEN vigente durante a aplicação deste estudo (BACEN, 2018).

Além da análise de rentabilidade do investimento, a comparação da projeção da energia produzida com o total gasto na preparação e cultivo do solo foi dada a partir da quantidade entre a expectativa de geração durante um ano de biogás, convertido em diesel, pela relação proposta por Nogueira (1986), e que considera a quantidade de diesel gasta na preparação e cultivo do sistema ILPs que foi implementado na propriedade do estudo de caso.



## ANAIS

### 2.1 Avaliação e dimensionamento do sistema de biodigestão

O modelo de biodigestor escolhido para o estudo de caso foi do tipo canadense, que se diferencia dos demais modelos por possuir sentido de fluxo tubular e retangular. A construção da sua câmara de fermentação é feita com materiais de característica impermeabilizante, com largura e comprimento maiores do que sua profundidade, fazendo com que a área de exposição ao sol seja maior, obtendo maior aproveitamento dessa energia térmica. A temperatura da câmara de fermentação demonstra relação direta com a produção de biogás por propiciar uma melhor ação microbiana (Gueri *et al.*, 2015).

O biodigestor canadense é constituído por uma caixa de entrada, local onde fica depositado o material orgânico para inserção na câmara de fermentação; uma câmara de fermentação interna feita de alvenaria e/ou revestida com material impermeabilizante, local onde será realizada a fermentação da biomassa; e gasômetro feito por lona plástica de PVC ou PEAD, que será responsável pela retenção do biogás. A lona, componente principal do gasômetro, fica superior ao nível do solo, inflando conforme há produção de biogás. Adicionalmente, é necessária uma caixa de saída em alvenaria ou fibra, onde será retirado o biofertilizante; e, por fim, um canal para a saída do biogás (Oliveira, 2012).

A opção pelo modelo biodigestor canadense também foi baseada em seu menor custo de implementação e instalação (Calza *et al.*, 2015), o que impacta de maneira direta na construção de fluxo de caixa e nos resultados dos cálculos da TIR e do VPL. Os custos do projeto também foram reduzidos pela escolha das geomembranas de PEAD para revestimento da câmara e construção do gasômetro (Coelho & Lavoie, 2017).

Para o dimensionamento do biodigestor, foi necessário o uso das relações propostas por Fonseca *et al.* (2009). O cálculo volumétrico do biodigestor ( $VB$ ) é expresso como:

$$VB = VC * TRH \quad (1)$$

Sendo  $VC$  o volume da carga diária de biomassa e  $TRH$  o tempo de retenção hidráulica.

O volume da carga diária de biomassa depende da proporção de diluição. A diluição escolhida para o trabalho foi de 1 m<sup>3</sup> de água para cada 1 m<sup>3</sup> de esterco, proporção necessária para o bom funcionamento do sistema hidráulico e para o melhor percentual de sólidos totais no afluente (Cortez *et al.*, 2014). O tempo de retenção hidráulica estimado para o projeto foi de 30 dias, próximo do tempo de retenção hidráulica verificado no trabalho de Calza *et al.* (2015).

Dessa maneira, pode-se calcular as variáveis necessárias da seguinte maneira:

$$VC = 0,25 \text{ m}^3 \text{ de esterco/dia} + 0,25 \text{ m}^3 \text{ de água/dia} = 0,5 \text{ m}^3 \text{/dia} \quad (2)$$

$$VB = 0,5 \text{ m}^3 \text{/dia} \times 30 \text{ dias} = 15 \text{ m}^3 \quad (3)$$

Ainda no que tange ao dimensionamento do biodigestor, utilizando os dados obtidos a partir das fórmulas de Fonseca *et al.* (2009) e considerando o comprimento do tanque de fermentação do biodigestor fixado em 5 metros, valor que melhor se adequa ao local de construção, foi possível adotar as relações de Ribeiro (2011) para as dimensões do tanque em formato trapezoidal, seguindo o modelo canadense, e das dimensões do gasômetro.

As estimativas diárias de geração de biogás foram projetadas segundo as proporções analisadas por Junqueira (2014), que relacionam quantidade de biomassa específica, esterco de bovino leiteiro, e a produção de biogás (equação 15).

$$Pb = Vbm * Kp \quad (4)$$



## ANAIS

Em que  $P_b$  equivale à produção de biogás gerada;  $V_{bm}$  é igual ao volume de biomassa diário e;  $K_p$  representa a constante de proporção (0,040 a 0,049) (Junqueira, 2014).

Em relação à produção de biofertilizante, espera-se que, passado o tempo de retenção hidráulica (TRH), a produção seja equivalente ao volume da carga diária, que é constituído pelo volume da biomassa somada a diluição (Cortez *et al.*, 2014).

### 2.2 Composição dos custos do projeto

Como destacado por (Calza *et al.*, 2015), a opção do modelo de fluxo tubular tem como vantagem a redução dos custos de implementação. Todavia, a opção dos materiais que comporão o projeto também é protagonista na formação do custo total.

Para a construção do sistema hidráulico do biodigestor, responsável pela entrada e saída do material orgânico e, também, pela saída de biogás, utilizou-se canos de PVC com diâmetro variados: 50 mm para saída do biogás e 100 mm para entrada e saída do material orgânico. Ainda foram utilizados registros de abertura e saída dos canais hidráulicos.

Para o revestimento do tanque de fermentação e construção da campânula móvel, optou-se por substituir a alvenaria e a lona de PVC, materiais normalmente utilizados, pela tecnologia de geomembrana em polietileno. Segundo Coelho e Lavoie (2017), as geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) são frequentemente utilizadas em obras civis como barreira do fluxo para água, resíduos sólidos e líquidos. Além disso, o polietileno tem elevado empacotamento de suas cadeias poliméricas e, por isso, também possui alta resistência química na impermeabilização de gases, líquidos e vapores, sendo passível de ser utilizados em biodigestores tanto para o revestimento do tanque de fermentação, como para a formação do gasômetro.

Ainda segundo Coelho e Lavoie (2017), testou-se o tempo de durabilidade para as geomembranas de PEAD de 0,8 mm e 2,0 mm, utilizando câmaras de envelhecimento, ensaios de tração e ciclos alternados de radiação UV. Conclusivamente, os autores mostram que para um período de teste equivalente a 15 anos, as geomembranas demonstraram manter sua capacidade física e química, estando aptas para a aplicação.

Considerando apenas os materiais que formaram a construção dos sistemas hidráulicos de entrada e saída da biomassa, a construção do tanque de fermentação e da campânula móvel, além do sistema de retirada do biogás, e desconsiderando o sistema de medição do biogás (que não é trivial a operação do sistema e atua como um mecanismo de acompanhamento e controle), tem-se a lista de materiais utilizados pela propriedade e seus custos expressos no quadro 1, ao final da seção.

Importante ressaltar que os materiais compuseram o maior custo frente às saídas com serviços. Ressalta-se, ainda, que a colocação da geomembrana é um processo crítico. Os danos na geomembrana se dividem em 73% dos casos durante a instalação da cobertura, 24% durante a instalação da geomembrana e somente 3% durante a pós construção do sistema, devendo, então, haver preparo técnico para a utilização desse material (Marçal, 2012). Adicionalmente, registraram-se gastos referentes à mão de obra para escavação das canaletas de ancoragem e os serviços de maquinário para abertura do tanque de fermentação, em um total de R\$ 1.972,00.



## ANAIS

Quadro 1. Lista de materiais com seus custos relativos

<b>Materiais</b>	<b>Valor</b>	<b>Percentual</b>
180 m <sup>2</sup> de geomembrana PEAD 0,8mm	R\$ 5.870,00	51,44%
1 unidade registro esfera para cano 50 mm	R\$ 50,00	0,44%
18 m tubo de esgoto 100mm	R\$ 207,54	1,82%
1 unidade de P.U branco	R\$ 23,00	0,20%
3 m <sup>3</sup> brita	R\$ 261,00	2,29%
6 m tubo soldável 50 mm	R\$ 72,00	0,63%
1 unidade de cap soldável 50 mm	R\$ 5,82	0,05%
1 unidade redução excêntrica esgoto 100x75mm	R\$ 7,87	0,07%
1 unidade adaptador sol anel ved cx cil/ret 25mm	R\$ 11,41	0,10%
1 unidade ponteiros brec esgoto 100	R\$ 21,15	0,19%
1 unidade caixa d'agua polietileno 500 lt c/ tampa	R\$ 163,90	1,44%
2 unidades caixa d'agua polietileno 1000 lt c/ tampa	R\$ 600,00	5,26%
2 unidades adap sol anel ved cx cil/ret 50mm	R\$ 51,34	0,45%
1 unidade luva esgoto 150mm	R\$ 14,35	0,13%
1 unidade redução excêntrica esgoto 150x100mm	R\$ 13,83	0,12%
4 unidades joelho 90 esgoto 100mm	R\$ 14,76	0,13%
1 unidade gerador a gás 6 kVA	R\$ 3.769,10	33,03%
1 unidade registro esfera para cano 100 mm	R\$ 239,00	2,09%
1 unidade adesivo PVC frasco 175g	R\$ 12,30	0,11%
1 unidade joelho 90 esgoto 100mm	R\$ 3,32	0,03%

Fonte: Dados da pesquisa.

Todos os componentes de saídas de caixa do projeto não consideraram o sistema de medição do biogás, dado que, nesse estudo de caso, houveram problemas referentes à estocagem do biogás devido aos vazamentos no sistema de retirada pela vedação incorreta, o que impossibilitou o aproveitamento do biogás gerado na propriedade em tempo hábil para a consideração no estudo de caso desse trabalho, não justificando, dessa forma, a aquisição desses equipamentos para o projeto. No total, os custos totais incorridos no processo foram de R\$ 13.373,69, sendo 85,33% com materiais e 14,67% com serviços.

### 2.3 Possibilidades de entrada de caixa

A consideração do biogás como possibilidade de retorno financeiro vem principalmente pela produção de energia *in loco* e pela viabilidade de venda do excedente da produção à rede elétrica, ou mesmo sua conversão direta em equipamentos, além da substituição de fertilizantes químicos pelos biofertilizantes (Salomon & Lora, 2009).

Sob a óptica da produção do biogás, a utilização de distintos resíduos orgânicos resultará em distintos níveis de produção e, dessa forma, diferentes entradas de caixa, que também variarão de acordo com os requisitos de tratamento da biomassa. Tais variações podem ser interpretadas, sinteticamente, a partir dos parâmetros percentuais de sólidos voláteis e sólidos fixos na composição da matéria, uma vez que para cada tipo de biomassa seja esperado um percentual distinto de cada um desses componentes, como também de diluição (Cortez *et al.*, 2014).

## ANAIS

Segundo Junqueira (2014), um quilo (kg) de esterco de bovino de leite tem a produção de biogás entre 0,040 e 0,049 m<sup>3</sup> de biogás. Seguindo as referências, e para o dimensionamento do biodigestor projetado, cuja carga diária de biomassa esperada equivale a 250 kg, têm-se, por meio de uma relação de proporção, a produção de biogás entre 10 m<sup>3</sup> e 12,5 m<sup>3</sup> por dia, posterior ao tempo de retenção hidráulica estimado, para as relações de biomassa/biogás para esterco de gado bovino leiteiro evidenciado por Salomon e Lora (2009).

Para a análise do projeto de estudo de caso, dada a estimativa de produção diária de 10 m<sup>3</sup> a 12,25 m<sup>3</sup>, segundo Deganutti *et al.* (2002), é possível, com essa quantidade de biogás, gerar de 14,28 Kwh a 17,49 Kwh por dia. É necessário ponderar que a estimativa de geração de energia depende de fatores além da quantidade de biogás, sendo elas a parcela de metano no biogás gerado e a eficiência dos geradores termoelétricos a biogás.

Além da regulamentação nº 482/2012 da ANEEL que caracteriza a micro e minigeração distribuída e o fornecimento do excedente à rede elétrica, tendo como contrapartida o crédito equivalente na energia utilizada proveniente da concessionária, a aprovação do sistema ligado à rede beneficia o setor produtivo da agropecuária, agregando-o maior aproveitamento financeiro, sustentável e consciência socioambiental (ANEEL, 2016).

O sistema de aproveitamento do biogás para geração de energia pode ser feito, também, de maneira autônoma, ou seja, desconectado da rede. Nessa configuração, os geradores termoelétricos podem fornecer eletricidade instantânea para utilização dos equipamentos, sendo ligados apenas quando houver necessidade.

Em qualquer sistema adotado, desconectado ou não da rede, as entradas de caixa calculadas para o projeto não se alteram, uma vez que mesmo não havendo a creditação direta quando o sistema é autônomo, existe a substituição do uso da energia da rede.

Considerando a média dos valores da tarifa de energia elétrica de 2013 a 2017 para o Sudeste brasileiro, tem-se o custo do Kwh em R\$ 0,37. Para a média brasileira rural, no mesmo período, tem-se um valor de R\$ 0,23. Para tanto, o valor considerado no estudo será a média do último ano verificado na propriedade, de R\$ 0,39, a fim de normalizar as variações das tarifas, devido às bandeiras tarifárias e à sazonalidade e, também, para dar maior consistência à projeção (EPE, 2018).

Do ponto de vista do aproveitamento do biofertilizante, seu volume de produção está intimamente relacionado ao volume da carga de entrada diária do biodigestor, uma vez que, passado o tempo de retenção hidráulica, o biodigestor terá sua operação no nível máximo do tanque de fermentação, fazendo com que cada volume de inserção em biomassa tenha um correspondente na caixa de saída, sendo esse material o composto já biodigerido, caracterizado pelas propriedades inerentes aos biofertilizantes. Espera-se, com isso, o correspondente diário em biofertilizante de 0,5 m<sup>3</sup> após o tempo de retenção hidráulica.

Além disso, a produção de biogás interfere positivamente na qualidade do biofertilizante, subproduto do sistema, uma vez que a remoção de carbono, devido à produção de metano e gás carbônico, reduz a proporção de carbono para nitrogênio do biofertilizante, o que traz melhoras no seu uso como insumo agrícola (Cortez *et al.*, 2014).

Com o aproveitamento dentro da propriedade, o biofertilizante passou a ser utilizado como substituto de fertilizantes químicos, sobretudo da ureia, que é o principal adubo





## ANAIS

utilizado na propriedade. Devido a isso, o retorno esperado pela inserção do biofertilizante é a parcela de substituição frente à aquisição da ureia.

Bisso *et al.* (2003) demonstraram que o biofertilizante bovino possui em sua composição química 8,4g de nitrogênio para cada kg de matéria orgânica, e tendo a massa específica do esterco equivalente à massa específica da água, em uma proporção de diluição de um para um, a produção diária de 0,5 m<sup>3</sup> de biofertilizante resultaria em um equivalente 2,1 kg de nitrogênio.

Tendo a ureia aproximadamente 46% de nitrogênio em sua composição, de acordo com Guimarães Júnior *et al.* (2016), a possibilidade de substituição diária pelo biofertilizante produzido *in loco* é de 4,56 kg, quando se analisa o percentual de nitrogênio nos materiais analisados.

A média do preço de comercialização de ureia para o cliente final nos primeiros dois bimestres de 2019 foi de R\$ 2,03 por kg (IEA, 2019). Dessa forma, o retorno estimado para entrada de caixa diário pela substituição da ureia é de R\$ 9,26.

As equações 5 e 6, a seguir, equalizam as projeções de retorno diário esperado.

$$R_{biogás} = Q_{biogás} \times K \times \text{Custo Kwh} \quad (5)$$

Sendo  $R_{biogás}$  a entrada de caixa diária esperada com a substituição da energia elétrica;  $Q_{biogás}$  a quantidade projetada em m<sup>3</sup> de produção diária de biogás;  $K$  equivalendo a taxa de conversão de m<sup>3</sup> de biogás em Kwh; e  $\text{Custo Kwh}$  representando a tarifa base do Kwh considerada em cada cenário.

$$R_{biofertilizante} = Q_{biofertilizante} \times K \times \text{Custo ureia} \quad (6)$$

Sendo  $R_{biofertilizante}$  a entrada de caixa diária esperada com a substituição do uso da ureia;  $Q_{biofertilizante}$  a quantidade projetada em m<sup>3</sup> de produção diária de biofertilizante;  $K$  representando a taxa de conversão de biofertilizante para ureia, baseada na parcela de nitrogênio; e  $\text{Custo ureia}$  equivalendo ao preço fixado da ureia substituída.

Pensando na composição do fluxo de caixa durante o tempo para o cálculo da TIR e do VPL, tanto para a entrada de caixa com retorno do biogás quanto para a entrada de caixa pelo retorno do biofertilizante os únicos componentes que corrigiram as projeções foram o custo da ureia e a tarifa de energia elétrica, sendo os demais constantes.

Para estimar a taxa de variação da tarifa de energia elétrica da propriedade, usou-se a média da variação anual de uma série de onze anos para a classe de consumo rural, entre 2007 e 2017, uma vez que não havia dados históricos da variação da tarifa da propriedade especificamente. Assim, a taxa de correção das entradas no projeto pela substituição da energia elétrica foi indexada por essa média histórica do período citado, que equivale a 4,74% ao ano (Figura 3).

Para a projeção do preço da ureia foi usada a variação dos 12 meses anteriores ao início do projeto (2018), a fim de estabelecer a taxa de atualização mensal para correção do preço (IEA, 2019). A variação corresponde a uma variação média percentual de -0,31%.



## ANAIS

### 2.4 Análise de viabilidade energética

O método de avaliação comparativa entre entradas e saídas de energia de um ecossistema produtivo recomenda o uso de algumas abordagens. A análise energética, uma das possibilidades, mostra-se relevante por apresentar índices de *input* e *output* energéticos no agrossistema, sendo capaz de agir como instrumento de monitoramento do processo produtivo, sobretudo no uso de combustíveis fósseis (Bueno, 2002).

Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho propôs uma análise energética comparativa entre o total gasto em diesel para a plantação e cultivo do sistema de consorciamento entre milho e forrageira escolhido para o local, com a geração de biogás proveniente do tratamento anaeróbico dos resíduos para o estudo de caso proposto.

Metodologicamente, contabilizou-se o total de litros de diesel utilizado para plantação e cultivo do milho com capim do gênero *Brachiaria* e comparou com o potencial de geração de biogás a partir do aproveitamento da biomassa gerada e da taxa de conversão de biomassa em biogás verificado no biodigestor da propriedade.

Os dados foram então padronizados para o equivalente em um hectare. Logo, para correta comparação dos dados, foram usados a quantidade de diesel gasto para plantio e cultivo de um hectare frente à produção de biogás gerado a partir do resíduo da produção leiteira referente ao mesmo espaço. Para isso, foi estimada a produção total de biogás e dividida pela área produtiva da propriedade. Para conversão de biogás em diesel, foi utilizada a tabela de comparação de Nogueira (1986), em que 1 litro de diesel corresponde a 0,55 m<sup>3</sup> de biogás. Para a volumetria de diesel gasta na plantação e cultivo, utilizou-se os dados do plantio de uma área de 3,4 hectares que foi preparada em novembro de 2018.

Os processos de plantio, de modo sequencial, foram: preparação do solo por meio de gradeamento; correção de pH com calcário na dosagem de 2.000 Kg/ha e fertilização com cama de galinha na dosagem de 10.000 Kg/ha; gradeamento intermediário; nivelamento; plantio de capim *Brachiaria* e milho, com adubação de cobertura simultaneamente com sulfato de amônia na dosagem 450 Kg/ha.

Segundo Almeida *et al.* (2010), o maquinário com 85 cv, com uso de implemento semeadora, mesma especificação do trator utilizado na propriedade do estudo de caso, demonstrou um consumo médio horário de 9,66 litros com tratamento de 4ª marcha e 2.200 rotações por minuto, equivalente ao tratamento feito no plantio estudado, cabendo assim uma comparação com a média verificada no estudo de caso, que foi de 11,5 litros por hora.

As médias observadas em diferentes estudos estiveram relativamente próximas quando se considera a verificada no estudo de caso para a análise de todos os processos de plantio. Dessa maneira, levando em conta a produtividade média verificada para o plantio do sistema ILP verificado, 1,4 hectare por hora para a área já mencionada, e a somatória de todos os processos expostos, chegou-se ao consumo total de diesel de aproximadamente 438 litros. Logo, dividindo o consumo total pela área total, tem-se um consumo de 128,8 L/Ha para o plantio e cultivo do sistema ILP para a área analisada.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do projeto de biodigestão anaeróbica sugerem um capital inicial para investimento relativamente alto, sobretudo quando se tem o enfoque para pequenos e médios



## ANAIS

produtores. O custo inicial de R\$ 13.373,69, entretanto, é a única saída de caixa identificada para o fluxo de caixa do projeto, uma vez que não é esperado custos adicionais com manutenção, posto que os materiais que formam o mecanismo seguem a vida útil do projeto, que é de 10 anos, período da garantia da geomembrana pelo fabricante.

Adicionalmente, não houve gastos adicionais com mão de obra, uma vez que o processo de higienização por raspagem do esterco do curral já era feito no retiro leiteiro onde o biodigestor foi instalado, não havendo a necessidade de alterações de processos, dado que o sistema hidráulico é diretamente conectado à saída do curral.

Os valores considerados para entrada do fluxo de caixa, como já mencionado no presente trabalho, são referentes ao período diário e compõem o retorno esperado com a substituição da energia elétrica e a substituição de adubo fóssil, considerando especificamente a ureia, por ser um fertilizante nitrogenado, tal qual o biofertilizante.

Essas entradas são de R\$ 5,57 a R\$ 6,82, utilizando a média das últimas doze tarifas verificadas na propriedade do estudo de caso e os dois cenários de produção do biogás, e de R\$ 9,26, considerando o preço médio da ureia para os dois primeiros bimestres de 2019.

Foram traçados dois cenários para os resultados, onde, para o mais otimista, considerou-se a entrada por substituição de energia equivalendo a R\$ 6,82 ao dia, seguindo o limite superior do intervalo de conversão de esterco de bovino leiteiro para biogás, de 0,049 m<sup>3</sup>/kg; e o menos otimista, de R\$ 5,57, considerando o limite inferior do intervalo de conversão a 0,04 m<sup>3</sup>/kg, conforme proposto por Junqueira (2014).

Além disso, as entradas do fluxo de caixa foram indexadas pela taxa média de aumento da tarifa de energia elétrica dos últimos 11 anos para o consumidor rural, 4,74% ao ano, e pela variação média do preço da ureia durante os últimos 12 meses, equivalendo a -0,31% ao mês para a substituição da ureia (EPE, 2012; EPE, 2018; IEA, 2019).

Adicionalmente, ressalta-se que tais entradas só foram projetadas ao fim do tempo de retenção hidráulica do projeto, estipulado em 30 dias. Logo, no mês inicial não há entrada de caixa. O tempo de vida útil do projeto, utilizado para determinar o fluxo de caixa do sistema, foi de 10 anos, período em que os materiais que compõem o mecanismo, sobretudo a geomembrana de PEAD, estão sob a garantia do fabricante, tornando válidas as projeções.

Para o cenário mais otimista, o fluxo de caixa do projeto se desenhou considerando as entradas por meio das projeções de substituição de energia elétrica em R\$ 6,82, e a substituição da ureia em R\$ 9,26 por kg, ambos ao dia. Para o cenário menos otimista, a consideração da entrada pela substituição de energia elétrica foi realizada baseado em uma entrada de R\$ 5,57 e a substituição da ureia em R\$ 9,26 kg. Os resultados da viabilidade econômica estão expressos na tabela 1.



## ANAIS

Tabela 1 - TIR e VPL projetados para os cenários mais e menos otimistas

	Cenário menos otimista	Cenário mais otimista
Investimento inicial	-R\$ 13.373,7	-R\$ 13.373,7
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 28.698,6	R\$ 32.829,4
Taxa Interna de Retorno (TIR)	40,3%	44,2%
Taxa Mínima de atratividade (TMA)	6,5%	6,5%

Fonte: Dados da pesquisa.

Ambos os resultados dos indicadores de investimento para os diferentes cenários sugerem uma projeção bastante satisfatória. O VPL se manteve positivo e representou 2,14 vezes o investimento inicial para o cenário dois (menos otimista), e 2,45 vezes para o cenário um (mais otimista). A TIR foi significativamente superior a TMA adotada para o fluxo de caixa. No cenário um, equivaleu a 6,8 vezes a TMA, e no cenário dois a 6,2 vezes.

Do cenário mais otimista para o cenário menos otimista, houve uma variação de R\$ 4.130,82 para o VPL e de 3,93% para a TIR, ou seja, a eficiência operacional no sistema de biodigestão, variável que diferencia os dois cenários, influencia consideravelmente na taxa de retorno do projeto.

Todavia, a probabilidade de viabilidade técnica para o projeto analisado não se mostrou perfeita, uma vez que houve problemas na construção do tanque de fermentação, dado a instabilidade do terreno e, posteriormente, com o gasômetro, devido a uma falha na vedação térmica utilizada para geomembrana de PEAD.

Porém, mesmo que se verificasse a impossibilidade do aproveitamento do biogás, fator pouco provável dado a natureza dos problemas desse estudo de caso, apenas o aproveitamento do biofertilizante geraria um retorno positivo, já que ele condiz com 55,62% do total das entradas para o cenário dois, e 50,58% das para o cenário um.

No que diz respeito à comparação energética, a quantidade gasta de diesel por hectare para a plantação e cultivo do sistema ILP foi de 128,8 litros. De maneira genérica, dividiu-se a geração de biogás total por hectare, tendo, assim, a mesma unidade de análise, podendo, então, estabelecer um percentual de comparação do biocombustível estimado no processo produtivo com o combustível usado para o plantio e cultivo do sistema ILP.

A conversão do biocombustível para o diesel foi embasada em Nogueira (1986). Assim como feito para as análises das entradas do fluxo de caixa, foram considerados dois cenários, simulando uma operação do biodigestor com uma taxa de conversão de 0,04 m<sup>3</sup> para cada kg de esterco, e de 0,049 m<sup>3</sup> para cada kg de esterco (JUNQUEIRA, 2014). Por conveniência, adotou-se o período de um ano para a sumarização dos resultados, descontado do tempo de retenção hidráulico, representando, assim, o primeiro ano de operação. Tais conversões estão expressas na tabela 2.



## ANAIS

Tabela 2 - Tabela de conversão da produção de biogás em diesel por hectare

Cenário	Cenário 1	Cenário 2
Volume de entrada de biomassa por dia (kg)	250	250
Constante de conversão de esterco bovino leiteiro para biogás (m <sup>3</sup> /kg)	0,049	0,04
Projeção de produção diária de biogás (m <sup>3</sup> )	12,25	10
Período descontado do tempo de retenção hidráulica (dias)	335	335
Produção total de biogás estimada para a propriedade no período analisado (m <sup>3</sup> /período)	4.103,75	3.350,00
Área ocupada com o rebanho leiteiro (ha)	8	8
Constante de conversão de diesel para biogás (L/m <sup>3</sup> )	0,55	0,55
Quantidade de diesel equivalente a produção de biogás por hectare para o período analisado (L/ha/período)	282,13	230,31

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados para ambos cenários mostram que a projeção de produção de biogás para o período colocado no estudo de caso é energeticamente maior do que o total de diesel gasto para plantação e cultivo do sistema ILP, que é de 128,8 L/ha. A projeção varia em 22,5% quando se compara o cenário um com o cenário dois.

### 5. Considerações finais

As projeções do VPL e TIR, para ambos os cenários propostos no estudo, viabilizam o investimento inicial e denotam, além do ganho ambiental, já difundido na literatura, uma contrapartida financeira, sendo mais um estímulo para o desenvolvimento desse tipo de geração de energia.

Quando se analisa os resultados da comparação energética entre a produção de biogás e o total gasto em diesel no plantio e cultivo do sistema ILP, vê-se, a priori, um saldo positivo. Todavia, esse saldo positivo não pode ser confundido com um balanço energético positivo, uma vez que os dados não são competentes para tal afirmação, sobretudo por não considerarem outros *inputs* e *outputs* energéticos que não seja o consumo de combustível e a produção do biogás.

É possível, por outro lado, concluir que a geração do biocombustível aumenta a eficiência energética do sistema produtivo, que já é interessante dado a escolha pelo sistema ILP. Além da possibilidade de conversão de energia pelo biogás, ponto focal mensurado nesse trabalho, o aproveitamento do biofertilizante como substituto à ureia também contribui para o melhor aproveitamento energético.

Ademais, para além das análises de viabilidade econômica e energética desenvolvidas, a evidência das sinergias entre o aproveitamento de resíduos da pecuária, a produção de energia por meio do biogás e a substituição de fertilizantes por biofertilizantes, inseridos em sistemas energeticamente eficientes, ocorrem não só no que tange à sustentabilidade ambiental mas também na questão financeira, o que é essencial para a disseminação desse tipo de tecnologia.



## ANAIS

Por fim, entende-se que este estudo tem potencial de contribuição à projetos de investimento para eficiência energética em pequenas propriedades rurais, independente de se adotar o sistema ILP, ou não, buscando incrementar os indicadores econômicos e ambientais da atividade agropecuária, podendo servir de subsídios a políticas públicas de incentivo a investimentos que melhorem a sustentabilidade da atividade agropecuária a pequenos produtores rurais, sem mexer em sua essência produtiva vigente.

### 6. Referências bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. (2016). *Micro e Minigeração Distribuída* – Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Cadernos temáticos ANEEL. (2a ed.). Brasília.
- ALMEIDA, R. A. S., SILVA, C. A. T., & SILVA, S. L. (2010). Desempenho energético de um conjunto trator-semeadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. *Revista Agrarian*, 3(7), 63-70.
- ASSAF NETO, A. (2012). *Matemática Financeira e suas aplicações*. (12a ed.). São Paulo: Atlas.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL – BCB. (2019). *Copom mantém taxa Selic em 6,50% a.a.* Brasília. Recuperado em 04 abril, 2019, de <https://www.bcb.gov.br/>.
- BISSO, F. P., BARROS, I. B. I., & SANTOS, R. S. (2003). Biofertilizantes foliar em diferentes concentrações e frequências de aplicação de calêndula. *Anais do Congresso Brasileiro de Agroecologia*, Porto Alegre, RS.
- BUENO, O. C. *Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaperá/SP*. (2002). Tese (Doutorado em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, Brasil.
- CALZA, L. F., LIMA, C. B., NOGUEIRA, C. E. C., SIQUEIRA, J. A. C., & SANTOS, R. F. (2015). Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. *Engenharia Agrícola*, 35(6), 990-997.
- COELHO, M. F. L., & LAVOIE, F. L. (2017). Comportamento da geomembrana de PEAD exposta ao envelhecimento acelerado. *Anais do 14º Congresso brasileiro de polímeros, 2017*, Águas de Lindóia, SP.
- CORTEZ, L. A. B., SILVA, A., JÚNIOR, J. L., JORDAN, R. A., & CASTRO, L. R. (2014). *Biomassa para energia*. (3a ed.). Campinas: Editora Unicamp.
- DEGANUTTI, R., PALHACI, M. C. J. P., ROSSI, M., TAVARES, R., & SANTOS, C. (2002). *Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada*. Departamento de Artes e Representação Gráfica, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Unesp, Bauru, SP.
- DHANALAKSHMI, S. V., & RAMANUJAM, R. A. (2012). Biogas generation in a vegetable waste anaerobic digester: An analytical approach. *Research Journal of Recent Sciences*, 1(3), 41-47.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. (2018). *Sistema Integração Lavoura Pecuária*. Recuperado em 05 novembro, 2018, de <http://www.embrapa.br>.



## ANAIS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. (2017). *Anuário estatístico de energia elétrica*. Consumo médio residencial por região e Unidade de Federação (Kwh).

\_\_\_\_\_. *Anuário estatístico de energia elétrica*. (2012). Tarifas Médias por Região (R\$/MWh).

\_\_\_\_\_. *Anuário estatístico de energia elétrica*. (2018). Tarifas Médias por Região (R\$/MWh).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. *Aumentam as emissões de gases com efeito estufa provenientes da agricultura*. Roma. Recuperado em 22 março, 2018, de <http://www.fao.org/news/story/pt/item/224454/icode>.

FONSECA, F. S. T., ARAÚJO, A. R. A., & HENDGES, T. L. (2009). Análise de Viabilidade Econômica de Biodigestores na Atividade Suinícola na Cidade de Balsas - MA: um estudo de caso. *Anais do 47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*, Porto Alegre.

GUERÍ, M. V. D., SCHIRMER, W. N., BURATTO, & W. G., RIBEIRO, C. B. (2015). Sustentabilidade rural: o uso do biogás como alternativa energética para os produtores de leite. *Revista Gestão Sustentável e Ambiental*, 4(1) 288-301.

GUIMARÃES JÚNIOR, R. G., PEREIRA, L. G. R., TOMICH, T. R., & GONÇALVES, L. C. (2016). Informações gerais. *Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia*, n. 80.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2018). *PPM: Rebanho bovino alcança a marca recorde de 215,2 milhões de cabeças, mas produção de leite cai 0,4%*. Rio de Janeiro. Recuperado em 18 novembro, 2018, de <https://www.ibge.gov.br>.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. (2018). *Preços médios mensais pagos pela agricultura*. São Paulo, 2018. Recuperado em 30 junho, 2018, de <http://ciagri.iea.sp.gov.br>.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. (2015). *Quais são as principais fontes de gases de efeito estufa decorrentes das atividades humanas*. Belém. Recuperado em 15 abril, 2019, de <https://ipam.org.br>.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. (2014). *Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na Fazenda Aterrado*. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Engenharia Mecânica), Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

KUNZ, A., & OLIVEIRA, P. A. V. (2006). Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, 15(3), 28-35.

MACEDO, M. C. M. (2009). Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(1), 133-146.

MARÇAL, R. (2012). *Avaliação da permeabilidade em geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP.

MARTHA JÚNIOR, G. B., ALVES, E., & CONTINI, E. (2011). Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 46(10), 1117-1126.



## ANAIS

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS – MIDC. (2017). *Comex Vis*. Brasília. Recuperado em 21 março, 2018, de <http://www.mdic.gov.br>.

NOGUEIRA, L. A. (1986). *Biodigestores: A Alternativa Energética*. São Paulo: Nobel.

OLIVEIRA, P. A. V. (2005). Projeto de biodigestor e estimativa da produção de biogás em sistemas de produção. *Comunicado Técnico*, 416, 1-6.

RIBEIRO, D. S. (2011) Determinação das Dimensões de um Biodigestor em Função da Proporção Gás/Fase Líquida. *Revista Holos*, 27(1), 49-56.

SÁ, J. M., URQUIAGA, S., JANTALIA, C. P., SOARES, L. H. B., ALVES, B. J. R., BODDEY, R. M., MARCHÃO, R. L., & VILELA, L. (2013). Balanço energético da produção de grãos, carne e biocombustíveis em sistemas especializados e mistos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(10), 1323-1331.

SALOMON, K. R., & LORA. E. E. S. (2009). Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, 33(1), 1101-1107.

SCHROEDER, J. T., SCHROEDER, I., COSTA, R. P., & SHINODA, C. (2005). O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimentos. *Revista Gestão Industrial*, 1(2), 33-42.