



IMPACTO ECONÔMICO E AMBIENTAL DA ADOÇÃO DE BIODIGESTOR DE PEQUENA ESCALA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA EM PROPRIEDADE RURAL FAMILIAR

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE ADOPTION OF A SMALL-SCALE BIODIGESTER FOR BIOGAS PRODUCTION FROM DAIRY CATTLE WASTE IN FAMILY RURAL PROPERTY

Delman de Almeida Gonçalves
Embrapa Amazônia Oriental
Delman.goncalves@embrapa.br

Rosana do Carmo Nascimento Guiducci
Embrapa Agroenergia
Rosana.guiducci@embrapa.br

Priscila Seixas Sabaini
Embrapa Agroenergia
priscila.sabaini@embrapa.br

Itânia Pinheiro Soares
Embrapa Agroenergia
itania.soares@embrapa.br

Grupo de Trabalho (GT): <<4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade>>

Resumo

Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto econômico e ambiental do uso de biodigestor como solução tecnológica adaptada e dimensionada à bovinocultura leiteira de pequena escala, para a produção de biogás em estabelecimento agrícola familiar rural. Foi feito levantamento de dados primários da produção de biogás em propriedade familiar no município de Luziânia/GO. O impacto econômico inicial foi medido em termos da substituição do consumo de gás GLP pelo biogás. Em seguida, utilizou-se a ferramenta da RenovaCalc para estimar o impacto ambiental e econômico em um cenário de adoção mais ampla da tecnologia. A renda adicional gerada na propriedade foi de R\$ 2.880,00 por ano pela produção de biogás equivalente a 24 botijões de 13 kg de gás. Em um cenário de 500 estabelecimentos adotando esta tecnologia, a produção de biogás gera renda anual de R\$ 1,44 milhões, com uma produção de biogás equivalente a 12 mil botijões de gás ao ano. Com um impacto ambiental de 590,21 t CO²-Eq evitados e renda de R\$ 16.257,96 pela comercialização de CBios, conclui-se que a solução tecnológica proposta para pecuaristas de menor escala é economicamente viável, ambientalmente favorável e socialmente inclusiva.

Palavras-chave: CBio; Renovabio; biodigestor, economia circular

Abstract

The aim of this study is to evaluate the economic and environmental impact of using a biodigester as a technology solution for small-scale dairy cattle farming. The biodigester is designed to produce biogas in a rural family farm. Primary data was collected from a family-owned property in Luziânia/GO to survey the production of biogas. The initial economic impact was measured by comparing the cost of replacing LPG gas consumption with biogas. Then, the RenovaCalc tool was used to estimate the broader economic and environmental impact of adopting this technology. The study found that the use of a biodigester in the family farm generated additional income of R\$ 2,880.00 per year by producing biogas equivalent to 24 cylinders of 13 kg of gas, which replaced the use of LPG gas. If 500 similar establishments adopted this technology, the production of biogas could generate income of R\$ 1.44 million, equivalent to 12 thousand gas cylinders. Additionally, the environmental impact was estimated to be 590.21 t CO₂ eq avoided, and the commercialization of CBios generated income of R\$ 16,257.96. In conclusion, the study shows that the proposed technological solution of using a biodigester for small-scale cattle farming is economically viable, environmentally friendly, and socially inclusive.

Key words: CBio; Renovabio, biodigester, circular economy.



1. Introdução

O processo natural de produção do biogás ocorre em ecossistemas como pântanos, mares, lagos, jazidas de petróleo, minas de carvão, aterros sanitários, entre outros meios naturais. Pode também ser obtido sob demanda, resultante da ação do homem, para atender as necessidades da sociedade de geração de energia com mínimo impacto ambiental, através dos biodigestores (ALVES et al., 2013).

A biodigestão é definida como o processo de decomposição de matéria orgânica em componentes mais simples por meio de ação biológica natural. Através do uso do biodigestor este processo de decomposição, e consequente geração de biogás, pode ser induzido e otimizado. O biodigestor consiste basicamente em um reservatório composto por uma câmara hermeticamente fechada onde a matéria orgânica diluída em água passa por um processo de fermentação anaeróbica, resultando na produção de biogás em estado primário e de digestato. O digestato é o efluente que passou por processo de digestão anaeróbica, reduzindo sua carga orgânica, e que possui características fertilizantes muito semelhantes às do dejetado maturado.

Em estado primário, o biogás é composto principalmente por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) e, em menores proporções, nitrogênio (N_2) e gás sulfídrico (H_2S). Seu poder calorífico varia entre 5.000 e 7.000 kcal/ m^3 de gás (CASTANHO; ARRUDA, 2008). O biogás captado a partir de biodigestor é considerado biocombustível obtido de fontes renováveis, com grande potencial de uso como alternativa aos combustíveis fósseis, podendo ser empregado diretamente em caldeiras ou aquecedores para geração de calor, na cogeração, produzindo eletricidade e ainda como biometano, após processo de purificação, que consiste basicamente na remoção do dióxido de carbono e da quase totalidade do gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio (H_2S) do biogás em estado bruto (SCHULTZ & SOARES, 2014).

O biogás produzido a partir de diferentes fontes faz parte do ciclo global do carbono. Anualmente, a biodegradação natural de matéria orgânica em condições anaeróbicas libera entre 590 e 800 milhões de toneladas de metano na atmosfera. Os sistemas de recuperação de biogás exploram esses processos bioquímicos para decompor vários tipos de biomassa, aproveitando o biogás liberado como fonte de energia (MILANEZ et al., 2018).

1.1. Aplicações e vantagens do biogás

Do ponto de vista ambiental, a captação do biogás por meio de biodigestores demonstra excepcionais condições para reduzir tanto o metano orgânico quanto o dióxido de carbono lançados na atmosfera. Sua produção engloba processos circunscritos, controlados e otimizados, de forma comercialmente viável, gerando um biocombustível que pode ser utilizado tanto na geração de eletricidade quanto em veículos, em substituição ao gás natural e ao diesel, após devido tratamento. Durante a queima do biogás, o metano é transformado em CO_2 e água, reduzindo o impacto climático negativo e tornando, com isso, lucrativa a atividade de processar resíduos. Adicionalmente, com algum processamento, ele pode ser utilizado como alternativa para o gás natural em todas as suas aplicações (MILANEZ et al., 2018).

O biogás, especificamente, pelo fato de poder ser gerado de forma contínua, difere da energia eólica ou solar. É possível estocá-lo a custos baixos, seja na forma de matéria-prima, seja como gás comprimido. Além disso, devido à sua regularidade, pode atuar como mecanismo regulador da intermitência dessas outras fontes.

A captação e aproveitamento do biogás resulta em “pegada negativa de carbono”, pois não somente é de baixa emissão como também mitiga a poluição do metano que iria para a natureza, poluindo o solo e a atmosfera. Quando derivado de atividades agropecuárias, o biogás é também fator de segurança energética local, devido às questões logísticas de atendimento da



demanda por energia em áreas distantes no meio rural. No segmento agropecuário, suas principais aplicações são a geração de energia elétrica, por meio da queima em motogeradores, e a fabricação de biometano, após a retirada do CO₂ e contaminantes, para a substituição do gás natural. Este último, é restrito aos grandes empreendimentos com capacidade para chegar até o biometano, frente à complexidade do processo. Assim, a quase totalidade da produção de biogás obtido através de biodigestores no meio rural brasileiro é direcionada à geração de energia elétrica ou térmica para uso próprio. Especialmente nas pequenas e médias propriedades rurais, a principal utilização do biogás, é a sua queima para a produção de energia térmica.

Além da redução na geração de gases de efeito estufa, o biogás oferece vários benefícios adicionais, como o auxílio na redução da emissão de particulados, no fornecimento de energia renovável não intermitente, na criação de geração elétrica descentralizada regional e na diminuição dos efeitos danosos da atividade agropecuária. Tudo isso inclui a geração de renda, além da produção residual do digestato a ser utilizado como biofertilizante (KUNZ et al, 2019). A purificação do biogás até que atinja 96,5% do CH₄ – ponto a partir do qual ele pode ser chamado de biometano – oferece melhores opções de utilização, como a injeção na rede de gás natural ou a compressão. Mas vale ressaltar que nesse caso, exige-se maior tecnificação e complexidade dos sistemas, e por consequência, investimentos de grande porte para atender esse tipo de mercado.

Algumas propriedades rurais utilizam biodigestores com o objetivo principal de produzir o digestato como biofertilizante, ficando a produção de biogás em segundo plano. No processo de produção do digestato é possível verificar a diferença de aspecto entre uma amostra de substrato (adicionado na entrada do biodigestor) de uma amostra de digestato (removido na saída do biodigestor). Por exemplo, o substrato obtido de dejetos bovinos se constitui em um material denso, escuro, com muita carga orgânica dissolvida e presença de material fibroso (mistura de resto de capins, conteúdo ruminal, entre outros). Após o processo de biodigestão, este substrato se transforma em um efluente clarificado, menos denso, sem a presença de material suspenso ou sedimentado.

Quando a propriedade tem uma demanda por biofertilizante maior do que por biogás, os tempos de retenção hidráulica mais longos (acima de 30 dias) irão favorecer uma maior degradação do substrato. Por consequência, haverá menor carga orgânica presente no digestato. Assim, a produção de digestato se torna outro importante benefício do uso do biodigestor, além da produção do biogás. Desta forma, a digestão anaeróbica da biomassa residual proporcionada pelo uso de biodigestor favorece a produção local de biofertilizante, contribuindo para redução da dependência de fertilizantes sintéticos.

Existem vários substratos que podem ser utilizados como matéria prima para processamento em biodigestores, como efluentes industriais, resíduos de produtos hortifrutigranjeiros e esterco animal. Neste segmento de esterco animal, a pecuária intensiva ou semi-intensiva de leite e corte agrega bom potencial no uso de biodigestores destinados à produção de biogás, biofertilizante, energia elétrica e térmica.

Segundo MILANEZ et al. (2018), converter a biomassa residual da atividade agropecuária (resíduos agrícolas e dejetos de animais) em energia e fertilizante é o elo fundamental para fechar os ciclos da reciclagem dos nutrientes e do carbono, evitando emissões de gases do efeito estufa. Esta é uma forma eficiente de promover economia circular com os resíduos orgânicos, assim como, promover a redução da emissão de gases de efeito estufa. Mas, apesar do uso de dejetos de animais e restos de culturas ser viável economicamente para produzir energia e fertilizante, é necessário haver um planejamento adequado por parte do produtor, para uma gestão eficiente e eficaz da produção e fornecimento adequado de biogás e digestato à propriedade.



O desafio para este segmento de produtores é transformar a criação animal em sistema sustentável de produção, de forma energética e sob o aspecto ambiental. Dessa forma, o uso de biodigestor direcionado à produção de biogás tem forte apelo ambiental, além do digestato, outro produto processado pelo biodigestor que pode ser utilizado como fertilizante orgânico para o solo, reciclado dentro do próprio sistema de produção da propriedade rural.

Para a pesquisa, o desafio é desenvolver modelos de biodigestor que sejam adequados à realidade socioeconômica e produtiva dos diferentes segmentos de produtores e, no presente caso, que sejam adaptáveis à infraestrutura física de propriedades rurais direcionadas à produção pecuária bovina de leite e corte, de pequeno e médio porte, que funcionem em regime de confinamento parcial do gado, no ambiente de curral.

Neste sentido, o presente trabalho buscou avaliar o impacto econômico e ambiental do uso de biodigestor proposto como solução tecnológica adaptada e dimensionada à bovinocultura leiteira de estabelecimentos agrícolas familiares de pequena escala. Foram avaliados também impactos econômicos e ambientais desta tecnologia à luz do Programa RenovaBio, em um cenário ampliado de adoção da solução tecnológica no estado de Goiás.

2. Metodologia

O impacto econômico foi medido tendo como referência a agregação de valor ao processo produtivo mediante aproveitamento do resíduo da bovinocultura leiteira para a produção de biogás. Embora também haja a produção de digestato, a presente análise focou no biogás enquanto produto principal considerado para este estudo.

Foram levantados dados primários em uma propriedade rural localizada no município de Luziânia (GO), relativos ao investimento para a montagem do biodigestor e os coeficientes técnicos de produção do biogás.

Para demonstrar o potencial de impacto econômico e ambiental desta solução tecnológica, utilizou-se um cenário de adoção com foco na pecuária leiteira no estado de Goiás.

De acordo com dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2021), em 2021 o Estado de Goiás contava com um efetivo de rebanho bovino da ordem de 24.293.954 cabeças. A maior parte do rebanho bovino de Goiás está localizado no município de Nova Crixás (GO), com 830.839 cabeças (3,4%). Luziânia é o 21º município do estado em cabeças de gado bovino, contando com 218.453 cabeças, ou seja, 0,9% do rebanho estadual. Dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017) dão conta de que há no Estado de Goiás 72.163 estabelecimentos agropecuários com bovinocultura leiteira, num total de 1.086.239 vacas ordenhadas em 2017. O número e a distribuição dos estabelecimentos por grupo de cabeças de bovinos são mostrados na Figura 1.

Considerou-se neste estudo como grupo de interesse para adoção da solução tecnológica os estabelecimentos que variam entre 11 a 100 cabeças de bovino. Esse grupo responde por 47.703 estabelecimentos (66% do total), o que indica um grande potencial para adoção desta tecnologia no estado de Goiás. Para fins desta análise, propôs-se um cenário de 500 estabelecimentos familiares adotando gradativamente a solução tecnológica em 10 anos. No primeiro ano considera-se que apenas um produtor adota a tecnologia (propriedade familiar no município de Luziânia/GO). Nos anos seguintes a adoção se eleva, passando a 5 estabelecimentos no ano 2, 10 estabelecimentos no ano 3, 50 estabelecimentos no ano 4 e assim por diante, até atingir 500 estabelecimentos no décimo ano, como mostrado na próxima seção (Tabela 2).



Grupos de cabeças de bovinos	Número de estabelecimentos
Total	72.163,00
De 1 a 5	2.737
De 6 a 10	5.635
De 11 a 20	11.028
De 21 a 50	23.361
De 51 a 100	13.314
De 101 a 200	8.055
Acima de 200	8.033

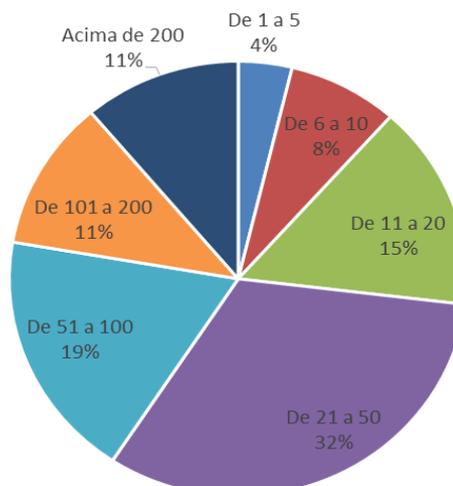


Figura 1 – Distribuição dos estabelecimentos agropecuários produtores de leite no Estado de Goiás, por grupo de cabeças de bovinos.

Fonte: IBGE – Censo Agropecuário (2017).

Este cenário corresponde a 5% do grupo de estabelecimentos com 11 a 20 cabeças de bovinos ou 1% dos grupos entre 11 e 100 cabeças de bovinos. São pequenas propriedades com rebanho em tamanho compatível com a escala de produção proposta pela solução tecnológica analisada neste estudo.

Considerou-se que a renda obtida nas propriedades refere-se à agregação de valor da produção leiteira, ao utilizar um resíduo sem valor de mercado e gerar um produto (biogás) com valor de uso para as propriedades rurais familiares.

Avaliou-se também o potencial impacto ambiental do cenário de adoção proposto, de aproveitamento do resíduo da bovinocultura leiteira para a produção de biogás. A Renovacalc, ferramenta oficial de cálculo da RenovaBio, foi usada para estimar a intensidade de carbono (IC) do biogás produzido. O cálculo da IC feito pela Renovacalc tem como base a Avaliação de Ciclo de Vida atribucional, do berço ao túmulo, com alocação por critério energético. Os parâmetros técnicos da produção do biocombustível informados pelo produtor são agregados a dados de inventário de ciclo de vida de processos de *background*, advindos da base de dados Ecoinvent. As emissões de GEE são estimadas segundo o IPCC (2006). Conforme esclarece MATSUURA et al. (2018) “a somatória destas emissões resulta na IC do biocombustível em g CO₂eq/MJ que, subtraída da IC do seu combustível fóssil equivalente, gera a nota de eficiência energético-ambiental do biocombustível (NEEA), e dá acesso a créditos de descarbonização, com valor de mercado.”

Na Renovacalc, o biometano é comparado com a IC média entre Gasolina, Diesel e GNV. Como no cenário proposto neste estudo, o biogás produzido irá substituir somente o GLP, optamos por comparar a IC do biogás com somente a IC do GLP. O impacto ambiental foi avaliado em termos de emissões evitadas, que correspondem a NEEA, que são traduzidas em CBIOs, cada CBIO corresponde a 1 tonelada de CO₂ que deixou de ser emitida para atmosfera, ao usar o biocombustível.

Os parâmetros técnicos informados na Renovacalc para o cálculo da IC foram: tipo, quantidade e distância de transporte da biomassa que foi usada como insumo; quantidade de biometano produzido no processo, poder calorífico e teor de metano do biogás. O dado de saída é a “IC do biogás” em (g CO₂eq/MJ). A partir daí, estimou-se a quantidade de créditos de carbono gerado e o montante de renda adicional obtida com a sua comercialização ao preço médio do CBio verificado nos meses de nov/2022 a jan/2023, no valor de R\$ 91,82.



3. Resultados e discussão

3.1. Impacto econômico da solução tecnológica em propriedade familiar de médio porte

A unidade produtiva instalada na propriedade rural familiar produz o equivalente a 2 botijões de 13 kg de gás ao mês, utilizando 20 kg de esterco diluído em 250 litros de água por dia. Não há custos operacionais na produção do biogás, pois a água vem direto de uma nascente, o esterco é resíduo da bovinocultura leiteira e a mão-de-obra necessária não foi acrescida, pois o trabalho de recolher o esterco é o mesmo, mudando apenas a destinação para produção de biogás. O impacto econômico esperado equivale a um adicional de renda de R\$240,00 por mês ou R\$2.880,00 por ano, com a substituição do botijão de gás, ao custo de R\$120,00 a unidade, pelo biogás.

Há também a possibilidade de uso do digestato como biofertilizante. Parte do digestato será utilizada em 4 hectares com cultivo de milho destinado à produção de silagem na propriedade. A parte remanescente do digestato produzido ainda não está sendo utilizada pelo produtor. Para fins da presente avaliação, não está sendo considerada a renda adicional do digestato.

O valor de investimento para aquisição de materiais e montagem do biodigestor na escala de produção acima mencionada é da ordem de R\$10.000,00, referentes a materiais e equipamentos, tais como: estrutura de concreto para a base, caixa d'água, bomba, tanque para digestato (kit de conexões, filtro H₂S, válvula, etc), cano, perfil de borracha, mangueira e mão-de-obra.

A Tabela 1 mostra o impacto econômico da adoção progressiva da solução tecnológica ao longo de 10 anos. Este cenário é bastante moderado, pois considera apenas uma fração dos estabelecimentos rurais no estado de Goiás e tem como finalidade apenas demonstrar o grande potencial desta tecnologia. Observa-se que no quinto ano, quando 100 estabelecimentos agropecuários estiverem adotando a solução tecnológica, o benefício econômico é de R\$ 288.000,00, chegando a R\$ 1.440.000,00 no décimo ano, quando 500 estabelecimentos estiverem produzindo biogás a partir de resíduos da pecuária leiteira. Certamente que esses números variam proporcionalmente ao nível de adoção da tecnologia no território nacional.

Tabela 1 – Impacto econômico em cenário de adoção da solução tecnológica

Ano	Cenário de adoção em nº de estabelecimentos	Produção de Biogás em m ³	Produção de biogás em nº de botijões	Renda adicional (R\$)
1	1		24	2.880,00
2	5		120	14.400,00
3	10		240	28.800,00
4	50		1.200	144.000,00
5	100		2.400	288.000,00
6	150		3.600	432.000,00
7	200		4.800	576.000,00
8	250		6.000	720.000,00
9	375		9.000	1.080.000,00
10	500		12.000	1.440.000,00

Fonte: Elaborado pelos autores.



3.2. Impactos econômicos e ambientais no âmbito do Programa RenovaBio

O cenário proposto acima para estimativa do ganho econômico pela adoção da tecnologia foi também usado para estimar o impacto ambiental potencial da adoção da tecnologia, considerando o critério de mudanças climáticas e a geração de CBios, nos termos do Programa RenovaBio.

A Tabela 2 mostra o coeficiente de intensidade de carbono (IC) calculado pela Renovacalc para biogás produzido neste cenário de adoção (3,59 gCO₂eq/MJ) e a IC do GLP (85 gCO₂eq/MJ). No cenário de adoção proposto temos a substituição de 2 botijões de 13 kg de gás ao mês pelo biogás, que equivale, o que equivale a 624 kg de GLP, considerando o poder calorífico inferior do GLP (46,47 MJ/kg), temos a substituição de 14.499,73 MJ de energia. Sabendo-se a IC do GLP (85 gCO₂eq/MJ), estimamos uma emissão deste cenário em 1,23 tCO₂-eq por ano. Ao substituímos 14.499,73 MJ de energia do GLP, pelo biogás temos o potencial de emitir 0,05 tCO₂-Eq, uma vez que a IC do biogás foi estimada em 3,59 gCO₂eq/MJ na Renovacalc. Ou seja, a substituição do GLP pelo biogás evita potencialmente a emissão de 1,18 t CO₂-Eq por ano.

Tabela 2 – Intensidade de carbono do biogás e GLP

Intensidade de Carbono	gCO₂eq/MJ
IC biogás (calculado na Renovacalc v7)	3,59
IC GLP	85

Fonte: ANP.

Tabela 3 – Benefício Ambiental por Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa – Categoria de Impacto: Mudanças Climáticas

Ano	Nº botijões 13 kg /ano	Impacto (t CO ₂ -Eq)		Emissões evitadas (t CO ₂ -Eq)	Renda com a comercializaçã o de Cbio (R\$)
		Gás GLP	Biogás		
	(A)	(B)	(C)	D=(B-C)	E=D*91,82
1	24,00	1,23	0,05	1,18	108,39
2	120,00	6,16	0,26	5,90	541,93
3	240,00	12,32	0,52	11,80	1.083,86
4	1.200,00	61,62	2,60	59,02	5.419,32
5	2.400,00	123,25	5,21	118,04	10.838,64
6	3.600,00	184,87	7,81	177,06	16.257,96
7	4.800,00	246,50	10,41	236,08	21.677,28
8	6.000,00	308,12	13,01	295,11	27.096,60
9	9.000,00	462,18	19,52	442,66	40.644,90
10	12.000,00	616,24	26,03	590,21	54.193,20

Fonte: elaborado pelos autores.



Aplicando essa redução no cenário de adoção proposto, calcula-se o benefício ambiental potencial, que está presente na Tabela 3. Observa-se um potencial de evitar a emissão de 1,18 tCO₂eq no primeiro ano, chegando a 590,21 tCO₂eq no décimo ano de adoção. Para todo o período de adoção avaliado (10 anos) tem-se uma redução de 1.937,07 tCO₂eq. Para efeitos de comparação, LACERDA et al. (2009) relata valores de fixação de CO₂ equivalente entre 103,4 a 689,3 t.ha⁻¹ para as florestas tropicais nas Américas, mas os autores alertam que os valores encontrados na literatura sobre fixação de carbono na forma de CO₂-equivalente são muito variáveis. Desta forma, o cenário proposto representa a fixação de carbono de uma área entre 2,81 e 18,73 hectares de florestas tropicais, considerando os 10 anos de adoção da solução tecnológica e consequente produção de biogás.

Atualmente o programa Renovabio possibilita a emissão de CBIO que equivale a uma tonelada de emissão de CO₂ evitada por combustíveis que passaram pelo processo de certificação da ANP. Os CBIOs são negociados na bolsa de valores e o preço médio do CBIO dos últimos 3 meses (12/10/2022: 13/01/2023) foi de R\$91,82. Usando este valor como referência, pode-se inferir que para o cenário proposto, a melhoria no perfil ambiental para a categoria mudança climática tem o potencial de gerar uma renda extra de R\$108,29 por estabelecimento rural, atingindo R\$54.193,20 ao ano, quando 500 estabelecimentos rurais adotarem a tecnologia.

4. Conclusão

Considerando os resultados desta avaliação, e considerando que a solução tecnológica objeto desta análise é um biodigestor funcionalmente adaptado para operar nas condições de infraestrutura de estabelecimento produtivo familiar de pecuária leiteira, com o objetivo de produzir biogás e digestato (biofertilizante) a partir de esterco bovino, e que tais produtos são destinados exclusivamente, a princípio, ao consumo/uso interno no estabelecimento, pelo produtor e sua família, torna-se importante pontuar os seguintes aspectos, conforme a natureza dos parâmetros avaliados:

- Quanto ao impacto econômico: quando o uso da solução tecnológica pelo produtor é avaliado segundo o impacto econômico, sob uma ótica direta e individual, que se traduz na geração de renda ao produtor e sua família, a partir dos respectivos produtos e/ou serviços disponibilizados pelo uso da mesma na propriedade, este impacto pode ser considerado baixo, pois se resume efetivamente na substituição do uso de gás GLP pelo biogás, destinado basicamente ao uso doméstico na preparação de alimentos. O retorno financeiro acontece, neste caso, na forma de despesa evitada. Entretanto, quando outros aspectos são considerados, tal como a autonomia na produção do item de consumo, a consequente segurança de sua disponibilidade contínua ocasionada pela geração própria, e a possibilidade de gerar outros produtos (ex.: energia elétrica e digestato) passando da condição de consumidor à condição tanto de supridor do seu próprio consumo quanto de fornecedor (se isto se tornar um objetivo com a evolução do uso da solução tecnológica), é possível perceber que há um significativo potencial de geração de renda ao produtor pelo uso desta inovação em sua propriedade. Nesta perspectiva, pode ser considerada a possibilidade de instalação adicional de gerador de energia elétrica movido a biogás trazendo também autonomia e independência para o estabelecimento sobre este item de consumo, além da perspectiva de poder gerar excedente na produção de biogás, que pode ser tanto exportada para a rede quanto estocada e comercializada com consumidores vizinhos. Nesta mesma perspectiva, o uso do digestato para fertilização do solo e maior retorno da produção na propriedade (evitando a aquisição externa de fertilizantes químicos), ou a comercialização do mesmo a produtores vizinhos, também se constituem em



ações potenciais que ampliam a possibilidade de geração de renda à propriedade. Por outro lado, quando o impacto econômico é avaliado sob uma ótica coletiva, considerando o uso da solução tecnológica por um conjunto de produtores de uma determinada região, que tenham perfil socioeconômico e produtivo similar ao produtor e estabelecimento onde a solução tecnológica está sendo testada, como por exemplo os cooperados da COOPBRASIL ou os produtores de leite de Goiás situados na faixa de 11 a 20 cabeças de gado, o potencial de impacto econômico se amplia de forma significativa em diferentes dimensões. O cenário de adoção analisado na seção 2 permite afirmar que o uso da solução tecnológica em uma escala coletiva tem o potencial de trazer segurança energética para uma determinada região rural e, consequentemente, de possibilitar que tal região se estruture para ser fornecedora a consumidores locais tanto de biogás, para a geração de energia elétrica e térmica, quanto de digestato, para ser utilizado como biofertilizante na produção agrícola local. Tal dinâmica em escala coletiva tem o potencial de proporcionar a base para o desenvolvimento de uma economia local com fluxo financeiro e energética circular sustentável.

No cenário de adoção proposto para avaliar o impacto econômico da tecnologia, verificou-se que a tecnologia gera um benefício econômico anual de R\$2.016,00 por estabelecimento pela produção de biogás, podendo chegar a R\$1.008.000,00 ao ano se 500 estabelecimentos adotarem a tecnologia. Neste cenário, o investimento em PDI mostrou-se viável, com TIR de 44,5%, Relação Benefício Custo de 3,86 VPL de R\$761.000,00 ao final de 10 anos.

Neste mesmo cenário, gerou-se estimativas de ganhos econômicos anuais com a produção de biogás no âmbito do RenovaBio da ordem de R\$108,39 em CBios gerados por estabelecimento. Esse montante atinge R\$54.193,00 quando 500 estabelecimentos produzem Biogás e submetem ao Programa RenovaBio.

- Quanto ao impacto ecológico: quando o uso da solução tecnológica pelo produtor é avaliado segundo o impacto ecológico, novamente sob uma ótica direta e individual, este é de baixo impacto, ainda que pontualmente tenha importante significado devido a substituição na propriedade de produtos emissores de gases efeito estufa (GEE) à atmosfera, como o gás GLP e fertilizantes químicos, pelo biogás e digestato que não apenas têm o potencial de proporcionar a mitigação do carbono oriundo de fontes fósseis pela substituição em si, quanto de neutralizar, pelo uso funcional, o carbono oriundo de fontes renováveis. Entretanto, quando o uso da solução tecnológica é analisado em uma perspectiva coletiva, considerando a possibilidade de ocorrer ampla adoção em uma ou mais regiões da zona rural, estimulada inclusive pela oportunidade de segurança energética e de geração de renda, seu potencial de impacto ecológico e ambiental é ampliado de forma proporcional e significativa. Isto porque a conversão de biomassa residual oriunda de atividade agropecuária (neste caso, esterco bovino) em energia e fertilizante, contribui para fechar os ciclos da reciclagem de nutrientes e do carbono, tanto de fonte fóssil quanto de fonte renovável, evitando ou mitigando emissões de GEE à atmosfera. Torna-se importante ressaltar que a solução tecnológica objeto desta avaliação tem flexibilidade para produzir biogás e digestato utilizando diferentes tipos de biomassa, o que amplia as possibilidades de ser adotada por um maior número de pequenos produtores, que tenham a disponibilidade de matéria prima oriunda tanto da agricultura quanto da pecuária para garantir esta geração de energia e insumo.

- Quanto ao impacto socioambiental: Os impactos socioambientais são os efeitos na saúde, na qualidade de vida e na economia de uma determinada população, provocados por interferências humanas no meio ambiente. O meio ambiente é formado pelo meio físico (o solo, os oceanos, os rios, etc.), o meio biótico (os animais, as plantas e os micro-organismos) e o meio antrópico (ambiente onde os seres humanos vivem). Estes impactos podem ser positivos ou negativos. Assim, considerando os resultados da avaliação quanto ao impacto



socioambiental causado pelo funcionamento da solução tecnológica é possível inferir que o mesmo é de ordem positiva sob diferentes aspectos analisados. Por exemplo, para o aspecto “respeito ao consumidor”, os critérios “qualidade do produto” e “capital social” se destacam, tanto pela disponibilidade de digestato para aplicação no solo como biofertilizante ambientalmente sustentável, quanto pela transferência de conhecimento desta solução tecnológica realizada pela equipe da Embrapa à família do produtor e pela integração entre estes atores resultante deste processo de transferência. Por este mesmo motivo, também no aspecto “trabalho/emprego” é destacado o critério de “capacitação”. Quanto ao aspecto “renda”, os critérios “geração de renda” e “diversidade de fonte de renda” tiveram destaque no resultado de avaliação da solução tecnológica. Para o critério “geração de renda” foi avaliado que com a produção própria do biogás o produtor terá disponibilidade contínua deste produto, que deixa de comprar o botijão de GLP, o que lhe dá a segurança de realizar esta economia e também lhe dá estabilidade quanto a esta redução de despesa. Há um acréscimo no montante de sua renda devido a esta poupança realizada. E para o critério “diversidade de fonte de renda” é constatado que o biogás passa a ser uma fonte de renda para o produtor, na perspectiva de despesa evitada, já que não precisará mais comprar GLP para atender suas necessidades domésticas. No aspecto da “Saúde” se destaca o critério de “segurança alimentar” ocasionada pela disponibilidade e uso do digestato. O agricultor tanto pode usar o digestato em sua propriedade quanto repassar ou vender aos produtores vizinhos, que vai garantir a produção de alimentos na propriedade e/ou nos estabelecimentos vizinhos, em quantidade e qualidade nutricional adequadas. Quanto ao aspecto “gestão e administração”, a solução tecnológica teve destaque significativo quando avaliada segundo os critérios “Integração produtiva no conceito de biorrefinaria/Ecopark” e “Disposição de resíduos”. Considerando o critério “Integração produtiva no conceito de biorrefinaria/Ecopark”, o indicador “flexibilidade do uso da biomassa” foi destacado porque, ainda que o produtor utilize apenas o esterco de gado como biomassa para a produção de biogás pelo digestor, esta solução tecnológica tem flexibilidade para produzir com diferentes tipos de biomassa caso o produtor disponha de outras fontes. Além disso, considerando a diversidade de produtos gerados e de processos de transformação, a solução tecnológica pode gerar biogás e digestato em um único processo. Outro indicador importante na avaliação da tecnologia foi o nível de integração tecnológica, devido a tecnologia ter sido perfeitamente integrada ao sistema de produção do produtor em Luziânia/GO, tanto do ponto de vista operacional quanto produtivo. E considerando o critério “disposição de resíduos”, a solução tecnológica foi avaliada como de impacto socioambiental altamente positivo devido a utilização da mesma resultar em grande alteração nos itens “reaproveitamento” e “destinação ou tratamento final” do indicador “tratamento de resíduos da produção”, já que estes itens relacionados à disposição de resíduos são uma importante inovação ou iniciativa ambiental que não existia na propriedade.

As perspectivas de adoção futura da solução tecnológica são promissoras, pois há uma forte demanda por fontes alternativas de energia renovável no meio rural. É uma tecnologia de baixo custo com elevado potencial econômico para produtores familiares. Há a possibilidade de incentivos por meio de políticas públicas para a adoção de soluções tecnológicas como esta.

Por fim, eventuais impactos ainda não estimados da solução tecnológica, tais como uso do biofertilizante na produção de alimentos na propriedade, a comercialização destes produtos para terceiros, produção de energia elétrica a partir do biogás, entre outras possibilidades devem ser analisados futuramente quando a tecnologia estiver no mercado e adotada por um número maior de produtores.



Referências

ALVES, H. J.; BLEY JUNIOR, C.; NIKLEVICZ, R. R. ; FRIGO, E. P.; FRIGO, M. S.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H. Overview of hydrogen production technologies from biogas and the applications in fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, Oxford, v. 38, n. 13, p. 5215-5225, 2013.

CASTANHO, D.S.; ARRUDA, H.J. de. Biodigestores. In: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Ponta Grossa – PR, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa da Pecuária Municipal 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2021>.

IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: v. 1 general guidance and reporting. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Published: IGES, Japan: IGES, 2006

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; DO AMARAL, A. C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Embrapa Suínos e Aves- Livro científico (ALICE), 2019.

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIZEL, J. L. *Estimativa de biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. Centro de Métodos Quantitativos do Depto. de Ciências Florestais, ESALQ. Universidade de São Paulo. METRVM (ISSN 1519-5058), no 5/nov/2009.*

MATSUURA, M. I. da S. F.; SEABRA, J. E. A.; CHAGAS, M. F.; SCACHETTI, M. T.; MORANDI, M. A. B.; MOREIRA, M. M. R.; NOVAES, R. M. L.; RAMOS, N. P.; CAVALETT, O.; BONOMI, A. RenovaCalc: a calculadora do Programa RenovaBio. VI Congresso Brasileiro Sobre Gestão do Ciclo de Vida, GCV2018, Brasília, junho de 2018.

MILANEZ, A. Y.; GUIMARÃES, D. D.; MAIA, G. B. da S.; SOUZA, J. A. P. de; LEMOS, M. L. F. Biogás: a próxima fronteira da energia renovável. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 47, p. 221-275, mar. 2018. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15384/1/BS47_Biogas_FECHADO.pdf. Acesso em: 7 dez. 2022

SCHULTZ, E.L., SOARES, I.P. Reforma do biogás – revisão, Circular Técnica, ISSN 2177-4420, 2014. Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/998908/1/CIT13 .pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/998908/1/CIT13.pdf). Acesso em 07 de dez. 2022.