

COMPARAÇÃO DOS CUSTOS DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTORES MODELO INDIANO

ELANE FRANCISCA MOTA¹, MATHEUS MOTA COSTA², CÍCERO LEONARDO SILVEIRA LIMA³, FERNANDO COLEN⁴, JULIA FERREIRA DA SILVA⁵

¹ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Universitária, 1000, Bairro Universitário, Montes Claros-MG, elanefrancisca@yahoo.com.br.

² Faculdades Integradas do Norte de Minas Gerais (FUNORTE), Rua Coronel Joaquim Costa, 49, Centro, Montes Claros, MG, Brasil, matheusvet2017@gmail.com.

³ Universidade Cidade de São Paulo – UNICID, R. Cesário Galero, 448/475 - Tatuapé, São Paulo – SP, Brasil, peciceroleonardo@hotmail.com.

⁴ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Universitária, 1000, Bairro Universitário, Montes Claros-MG, Brasil, fernandocolenufmg@gmail.com.

⁵ Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Universitária, 1000, Bairro Universitário, Montes Claros-MG, Brasil, julia.ica.ufmg@gmail.com.

RESUMO: o biodigestor é eficaz no tratamento de resíduos orgânicos e representa bom investimento para qualquer produtor, com benefícios ambientais e econômicos que superam os custos de implantação. Para auxiliar na decisão, este trabalho teve como objetivo comparar os custos de diferentes configurações de construção de biodigestores modelo indiano, considerando os custos dos materiais na construção do tanque digestor e na confecção do gasômetro. O custo dos biodigestores foi estimado e os valores encontrados podem ser adaptados e utilizados em qualquer localidade. A análise financeira das diferentes configurações foi realizada pela capacidade da conversão dos dejetos de suínos em biogás comparada ao gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural veicular (GNV). O tempo médio de retorno do investimento foi calculado usando os métodos *Payback* simples e *Payback* descontado. Os resultados apontaram custo maior para o biodigestor em alvenaria com gasômetro em chapa de aço e custo menor para o biodigestor em ferrocimento com gasômetro em fibra de vidro. O gasômetro construído em chapa de aço contribuiu para o aumento do valor do investimento e a sua substituição pela fibra de vidro demonstrou ser uma boa alternativa. A viabilidade financeira quanto ao retorno do capital investido foi demonstrada em todas as configurações de construção dos biodigestores. Além do biogás, avaliado neste trabalho, há ainda que considerar a produção do biofertilizante e os ganhos relevantes quanto ao bem-estar social e ambiental, vantagens que podem ser observadas em qualquer localidade onde o biodigestor for construído.

Palavras-chave: bioresíduos, sustentabilidade rural, biogás.

COMPARISON OF THE COSTS OF DIFFERENT CONFIGURATIONS OF CONSTRUCTION OF INDIAN MODEL BIODIGESTORS

ABSTRACT: The biodigester is effective in the treatment of organic waste and represents a good investment for any producer, with environmental and economic benefits that outweigh the implementation costs. To assist in the decision, this work aimed to compare the costs of different configurations of construction of Indian model biodigestors, considering the costs of materials in the construction of the digester tank and in the manufacture of the gasometer. The cost of biodigestors was estimated and the values found can be adapted and used in any location. The financial analysis of the different configurations was performed by the capacity of converting swine manure into biogas compared to liquefied petroleum gas (LPG) and vehicular natural gas (CNG). The average payback time was calculated using the Simple Payback and Discounted Payback methods. The results showed higher cost for the biodigester in masonry with gasometer in steel plate and lower cost for the biodigester in ferrocement with gasometer in fiberglass. The gasometer built in steel plate contributed to the increase in the value of the investment and its replacement by fiberglass proved to be a good alternative. The financial viability regarding the return on invested capital was demonstrated in all

Recebido em 31/03/2022 e aprovado para publicação em 15/05/2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2022v37n2p29-43>

biodigesters construction configurations. In addition to the biogas evaluated in this work, it is also necessary to consider the production of biofertilizer and the relevant gains in terms of social and environmental well-being, advantages that can be observed in any location where the biodigester is built.

Keywords: biowaste, rural sustainability, biogas

1 INTRODUÇÃO

Na suinocultura e na bovinocultura, importantes atividades do setor agropecuário, os dejetos compostos por fezes, urina e restos de ração tornam-se resíduos altamente poluentes e podem contaminar o solo, as nascentes e o lençol freático, se descartados sem o devido tratamento. O uso do biodigestor pode ser considerado de grande utilidade no meio rural, uma vez que, ao tratar os resíduos de forma adequada, usando a digestão anaeróbia, permite que sejam reaproveitados, de forma a somar renda ao produtor, com sua transformação em biogás e biofertilizante, trazendo benefícios sociais e ambientais (BARBOSA; LANGER, 2011).

O processo de digestão anaeróbia (DA) é totalmente biológico, a matéria orgânica é estabilizada na ausência de oxigênio produzindo metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Este processo permite a conversão do nitrogênio orgânico em amônio e retenção de nutrientes, produzindo fertilizantes considerados excelentes fontes de nutrientes disponíveis para absorção das plantas (COSTA *et al.*, 2016).

A eficiência da DA pode ser afetada por diversos fatores intrínsecos ao processo, tais como: disponibilidade de oxigênio, temperatura, pH, alcalinidade, acidez, nutrientes e composição química (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2014).

Todo o processo de DA acontece dentro de um equipamento constituído por uma câmara de fermentação fechada, chamado de biodigestor ou biorreator, onde ocorre a digestão anaeróbia pelas bactérias anaeróbias. Esta estrutura é considerada eficiente medida para combater a poluição ao meio ambiente, por sua comprovada eficácia no tratamento de dejetos, além da produção de biogás e biofertilizante, permitindo, ainda, a redução dos

custos com energia e adubação (SANTOS *et al.*, 2017).

Os biodigestores seguem a ordem de prioridade da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), porque evitam a disposição final de resíduos que possuem possibilidade de tratamento e podem ser reutilizados, além de gerar renda.

Os biodigestores podem ser classificados sobre diferentes aspectos, como o teor de sólidos, a forma de alimentação, o número de estágios e o volume de dejetos tratado. Quanto à forma de alimentação podem ser classificados como batelada, uso contínuo e misto (FRIGO *et al.*, 2015). O carregamento em batelada recebe cargas orgânicas de decomposição lenta de uma só vez, ficando contida até sua completa biodigestão, sendo depois esvaziado para então receber nova carga; o de uso contínuo recebe cargas orgânicas diárias ou periódicas e o de alimentação mista recebe cargas tanto de decomposição lenta quanto de compostos orgânicos necessitando de pequenas pausas entre uma carga e outra (ANDRADE *et al.*, 2002).

Conforme Otenio *et al.* (2015), ao optar pelo manejo adequado dos dejetos animais, o produtor rural pode se tornar autossuficiente em energia elétrica e recuperar o capital investido na instalação do biodigestor.

Silva *et al.* (2018), consideram que o biodigestor está entre o grupo das 61 tecnologias que apresentam diversos benefícios pela capacidade de múltipla utilização e que estão sendo replicadas no semiárido brasileiro desde 2014.

Calza *et al.* (2015), salientam que “a literatura apresenta como principais modelos de biodigestor os modelos chinês, indiano e canadense, sendo o modelo de biodigestor canadense diferenciado dos demais por ser horizontal e por apresentar uma caixa de carga revestida com manta plástica.”

Para os mesmos autores, a análise preliminar do projeto de construção de biodigestores é necessária para trazer economia às instalações e garantia na rapidez da recuperação do investimento Calza *et al.* (2015).

O biodigestor modelo indiano pode ser descrito como um cilindro vertical, construído com tijolos e revestido internamente por cimento impermeabilizante, tendo uma parede longitudinal que o divide em duas câmaras. Em uma dessas câmaras, é conectado o tubo de entrada da biomassa, e na outra, o tubo de saída. Este biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula flutuante como gasômetro, feita de chapa de aço (NISHIMURA *et al.*, 2009).

No semiárido brasileiro, o modelo indiano é o mais utilizado, devido à possibilidade de adaptações quanto ao material de construção, possibilitando poder optar por materiais de baixo custo e de maior disponibilidade no local. Nesse modelo, a adaptação é possível tanto no tanque digestor quanto na construção do gasômetro, no entanto, o uso de mão de obra capacitada deve ser levado em consideração, para garantir o bom

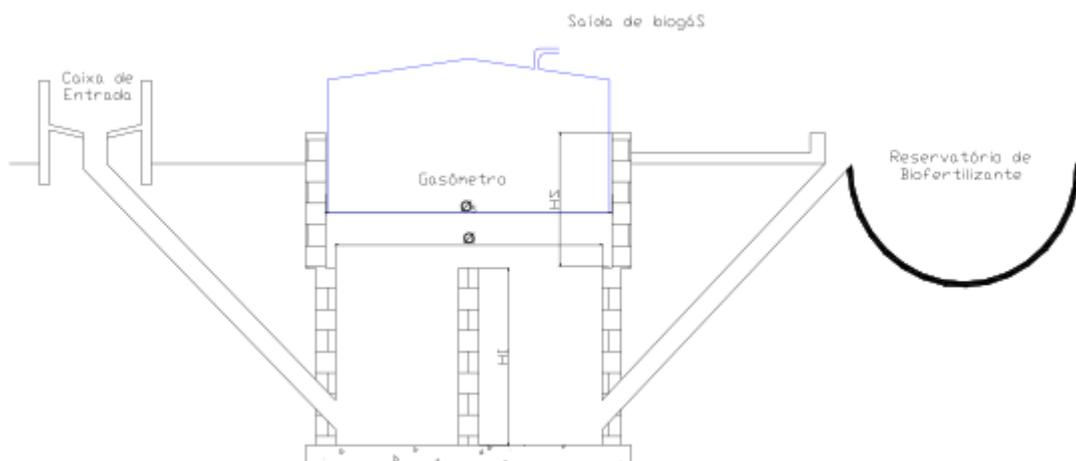
funcionamento e a durabilidade do equipamento (SILVA; ARAÚJO, 2016).

Na perspectiva de apresentar diferentes opções na construção de um biodigestor modelo indiano quanto ao investimento entre diferentes configurações, que podem ser adaptadas para qualquer localidade, o objetivo com este trabalho foi realizar comparações da estimativa do custo final de biodigestores utilizando diferentes materiais na construção, sendo: a) alvenaria com gasômetro em chapa de aço (B1); b) alvenaria com gasômetro em fibra de vidro (B2); c) placas de cimento com gasômetro em fibra de vidro (B3) e d) ferrocimento com gasômetro em fibra de vidro (B4).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O biodigestor indiano, utilizado como modelo para este estudo, encontra-se instalado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, *Campus Montes Claros*, MG. Trata-se de um biodigestor de fluxo contínuo, construído em alvenaria com gasômetro de chapa de aço, como mostrado na Figura 1.

Figura 1. Corte longitudinal do Biodigestor modelo indiano construído no ICA/UFMG



Fonte: Dias *et al.* (2013)

Todos os modelos construtivos de biodigestores apresentados neste estudo possuem tanques digestores com as mesmas características e dimensões do biodigestor

modelo apresentado por Dias *et al.* (2013), conforme mostrado na Tabela 1, considerando a construção em alvenaria, em placas de cimento ou em ferrocimento.

Tabela 1. Características do tanque digester dos biodigestores modelo indiano analisados no estudo

Características do biodigestor	Medidas
Volume útil (m ³)	17,43
Diâmetro superior (m)	2,90
Diâmetro inferior (m)	2,70
Altura superior (m)	1,32
Altura da parede divisória (m)	1,68

Fonte: DIAS et al. (2013)

Os gasômetros avaliados neste trabalho foram em chapa de aço ou fibra de vidro, com as características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características dos gasômetros avaliados no estudo

Características dos gasômetros	Em chapa de aço	Em fibra de vidro
Volume do gasômetro (m ³)	8,42	8,00
Diâmetro do gasômetro (m)	2,85	Superior (2,84) inferior (2,30)
Altura do gasômetro (m)	1,32	1,76

Fonte: DIAS et al. (2013) (Adaptada)

Uma investigação dos materiais utilizados para a construção de cada configuração de biodigestor estudado foi realizada, considerando a mesma capacidade (17,43 m³) e fazendo adaptações na lista de materiais usada por Dias *et al.* (2013). A pesquisa de preços dos custos de fabricação do biodigestor foi realizada no mercado comercial da cidade de Montes Claros, norte de Minas Gerais.

Para a configuração do biodigestor modelo indiano construído em alvenaria com gasômetro em fibra de vidro (B2), a alteração aconteceu na substituição do gasômetro em chapa de aço por uma caixa de fibra de vidro

com capacidade equivalente, para o funcionamento de uma campânula adequada ao volume do tanque digester.

Para o biodigestor modelo indiano construído com placas de cimento com gasômetro em fibra de vidro (B3), o biodigestor construído por Diaconia (2017), com as características apresentadas na Tabela 3, foi utilizado como modelo. Como este biodigestor apresentava capacidade útil de 7,2 m³, a lista de materiais foi ajustada para a capacidade de 17,43 m³, usando regras de proporção e os preços dos materiais, bem como a mão de obra foram atualizados conforme o mercado local.

Tabela 3. Características do biodigestor modelo indiano construído em placas de cimento com gasômetro em fibra de vidro e capacidade de 7,2 m³

Características do biodigestor	Medidas
Volume útil(m ³)	7,2
Diâmetro superior (m)	2,14
Diâmetro inferior (m)	2,14
Altura superior (m)	2,00
Características gasômetro	
Volume do gasômetro (m ³)	3,00
Diâmetro do gasômetro (m)	Superior (2,06) inferior (1,52)
Altura do gasômetro (m)	1,32

Fonte: Diaconia Actaliança (2017)

O cálculo da estimativa do valor do biodigestor modelo indiano construído em ferrocimento, com gasômetro em fibra de vidro (B4), foi baseado nos materiais utilizados para a construção do tanque em ferrocimento com capacidade de 35 m³, desenvolvido por Candioto, Grisa e Schimitz (2015). Os valores foram ajustados para a construção de um tanque em ferrocimento com capacidade de 17,43 m³, proposta deste trabalho, usando regras de proporção e, a esse valor, foram adicionados os valores de um gasômetro de fibra de vidro de 8,0 m³, o impermeabilizante e outros materiais complementares, além da mão de obra.

Com os valores referentes aos investimentos aplicados a cada um dos quatro tipos de biodigestores estudados e, sabendo de suas respectivas capacidades volumétricas, foi calculado o valor do m³, dividindo-se o valor total de cada biodigestor por sua capacidade de volume.

A análise financeira dos diferentes modelos foi realizada pela capacidade da conversão dos dejetos de suínos em biogás e depois nos gases GLP (gás liquefeito de petróleo) e GNV (gás natural veicular) e a capacidade de produção do biofertilizante não foi considerada neste estudo.

$$\textit{Payback simples} = \frac{\textit{investimento inicial}}{\textit{investimento no período}} \quad (1)$$

$$\textit{Payback descontado} = \frac{\textit{investimento inicial}}{\textit{ganho no período (VPL)}} \quad (2)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estimativa do custo do biodigestor modelo indiano construído em alvenaria com

A produção de biogás foi considerada na equivalência mínima energética de 1,0 m³ de biogás correspondente a 0,45 kg de GLP (equivalência energética aproximada de 2:1) e a 1,0 kg de GNV (equivalência energética de 1:1)

Operando regularmente, este biodigestor tem capacidade de produção média diária estimada em 38,33 m³ de biogás (DIAS *et al.*, 2013), e, pela equivalência, vai representar 17,25 kg de GLP e 38,33 kg de GNV. Como o botijão de GLP pesa 13 kg, a produção de biogás foi estimada em 1,33 botijões diários e 39,8 botijões mensais.

A produção de biogás foi comparada com a estimativa da renda mensal, considerando-se a equivalência energética com o GLP e com o GNV, depois foi calculada a estimativa do retorno de investimento de cada biodigestor utilizando o método *Payback*.

Este método representa o período necessário para se recuperar o valor de um investimento através das entradas em caixa, com regras muito simples, que pode ser utilizado por empresas pequenas ou sofisticadas, para encontrar o período de retorno do investimento, podendo ser utilizado o *Payback simples* - Equação 1 e o *Payback descontado* - Equação 2 (FORTES, 2014).

gasômetro em chapa de aço (B1), implantado no ICA/UFMG, de acordo com os materiais utilizados e com os preços atualizados (abr/2023), está descrita na Tabela 4.

Tabela 4. Estimativa do custo do biodigestor modelo indiano construído em alvenaria com gasômetro em chapa de aço (B1), com volume útil de 17,43 m³, implantado no ICA / UFMG

Material	Unidade	Qtde.	Custo/unidade	
			(R\$)	Total (R\$)
Adaptadores	unidade	8,0	4,10	32,80
Areia lavada média	m ³	5,0	140,00	700,00
Brita Nº 1	m ³	2,5	150,00	375,00
Brita Nº 2	m ³	1,0	150,00	150,00
Broca 1"	unidade	10,0	5,25	52,50
Cimento - CP II	saco	65,0	35,00	2.275,00
Cola para PVC (75g)	unidade	2,0	7,80	15,60
Curva 90° 50 mm PVCA	unidade	6,0	9,87	59,22
Ferro vergalhão 10 mm 7,22 3/8"	barra	10,0	71,37	713,70
Fita veda rosca (20m)	unidade	3,0	4,60	13,80
Gasômetro em chapa de aço	unidade	1,0	12.863,36	12.863,36
Impermeabilizante Vedacit (18 kg)	lata	2,0	117,80	235,60
Luva 50 mm PVCA	unidade	5,0	7,07	35,35
Mangueira nível transparente 3/4"	m	8,0	2,94	23,52
Registro 50 mm PVC	unidade	3,0	15,72	47,16
Tijolo maciço	milheiro	5,8	1.170,00	6.786,00
Tubo 150 mm PVCE (6m)	barra	6,0	265,94	1.595,64
Tubo 50 mm PVCA (6 m)	barra	12,0	110,87	1.330,44
Total material				27.304,69
Escavação máquina	hora	5,0	230,00	1.150,00
Mão de obra (pedreiro)	diária	20,0	180,00	3.600,00
Mão de obra (servente)	diária	25,0	80,00	2.000,00
Total mão de obra				6.750,00
Total				34.054,69

Fonte: Adaptada de Dias et al. (2013) (Atualizada em abr/2023).

A estimativa do custo para a construção do biodigestor modelo indiano de alvenaria

com gasômetro em fibra de vidro (B2) e volume útil de 17,43 m³, está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Estimativa do custo de construção de biodigestor modelo indiano construído em alvenaria com gasômetro em fibra de vidro (B2), com volume útil de 17,43 m³

Material	Unidade	Qtde.	Custo/unidade (R\$)	Total (R\$)
Adaptadores	unidade	8,0	4,10	32,80
Areia lavada média	m ³	5,0	140,00	700,00
Brita N 1	m ³	2,5	150,00	375,00
Brita N 2	m ³	1,0	150,00	150,00
Broca 1"	unidade	10,0	5,25	52,50
Caixa de fibra de vidro (8.000 L)	unidade	1,0	4.675,00	4.675,00
Cimento - CP II	saco	65,0	35,00	2.275,00
Cola para PVC (75g)	unidade	2,0	7,80	15,60
Curvas 90° de PVCA 50 mm	unidade	6,0	9,87	59,22
Ferro vergalhão 10 mm 7,22 3/8"	kg	10,0	71,37	713,70
Fita veda rosca (20m)	unidade	3,0	4,60	13,80
Impermeabilizante Vedacit (18kg)	lata	2,0	117,80	235,60
Luvras de PVCA 50 mm	unidade	5,0	7,07	35,35
Mangueira nível transparentel 3/4"	m	8,0	2,94	23,52
Registro esfera PVC 50 mm	unidade	3,0	15,72	47,16
Tijolo maciço	milheiro	5,8	1.170,00	6.786,00
Tubo 150 mm PVCE (6m)	barra	6,0	265,94	1.595,64
Tubo 50 mm PVCA (6m)	barra	12,0	110,87	1.330,44
Total material				19.116,33
Escavação máquina	hora	5,0	230,00	1.150,00
Mão de obra (pedreiro)	diária	20,0	180,00	3.600,00
Mão de obra (servente)	diária	25,0	80,00	2.000,00
Total mão de obra				6.750,00
Total geral				25.866,33

Fonte: Adaptada de Dias *et al.* (2013) (Atualizada em abr/2023).

A estimativa do investimento para o biodigestor modelo indiano, construído em placas de cimento e com gasômetro em fibra de

vidro (B3), com capacidade de 17,43 m³ está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Estimativa do custo do biodigestor modelo indiano construído com placas de cimento, com gasômetro em fibra de vidro (B3) e capacidade de 17,43 m³

Material	Unidade	Qtde.	Custo/unit (R\$)	Total (R\$)
Ferro Vergalhão CA-50 6,3 mm x 6m	barra	5,0	23,64	118,20
Arame galvanizado nº 12	kg	12,5	20,37	254,63
Brita N 1 (18 L)	lata	15,0	7,00	105,00
Caixa de fibra de vidro (3.000 L)	unidade	3,0	2.276,00	6.828,00
Chapa de zinco 40 cm	kg	20,0	22,10	442,00
Tela de nylon (1,50 x 0,80 m)	metro	3,8	8,40	31,50
Bloco cerâmico oito furos	cento	2,5	115,83	289,58
Tubo 100 mm PVCE	unidade	2,5	104,95	262,38
Tubo 50 mm PVCE	unidade	8,8	107,75	942,81
Tubo de aço galvanizado 40 mm	metro	8,8	48,75	426,56
Paraf. Francês 3/8" (com 29 cm)	metro	2,5	0,95	2,38
Paraf. Francês 3/8" x 10 (10 cm rosca completa)	caixa	2,5	12,30	30,75
Barrote de madeira 7 x 7 com 3m	unidade	7,5	42,20	316,50
Tubo 75MM PVCE	metro	3,8	10,40	39,00
Adaptador Flange 60 x 60 mm PVC	unidade	2,5	26,76	66,90
Tábua 15 cm x 4 cm x 2 m	unidade	2,5	46,00	115,00
Tampão Cap 75 mm PVCE	unidade	2,5	9,50	23,75
Tê 20 mm PVC rígido	unidade	2,5	0,80	2,00
Tubo 20 mm PVCA	unidade	10,0	20,00	200,00
Joelho 20 mm PVC rígido 90°	unidade	20,0	0,55	11,00
Flange de 20 mm	unidade	7,5	14,20	106,50
Mangueira plástica de 20 mm (trançada)	metro	12,5	6,95	86,88
Registro esfera 20 mm PVC	unidade	5,0	8,96	44,80
Abraçadeira rosca sem fim 1/2" 20 mm INC	unidade	10,0	2,28	22,80
Garrafão acrílico de água mineral (20 L)	unidade	2,5	25,00	62,50
União 20 mm água - soldável	unidade	2,5	7,17	17,93
Cola para PVC (75g)	unidade	2,5	7,80	19,50
Cimento - CP II	saco	22,5	35,00	787,50
Areia lavada fina	metro	5,0	150,00	750,00
Arame recozido torcido nº 18	kg	1,3	14,80	18,50
Total material				12.424,83
Pedreiro	diária	7,5	180,00	1.350,00
Servente	diária	15,0	80,00	1.200,00
Total mão de obra				2.550,00
Total geral (17,43 m3)				14.974,83

Fonte: Adaptada de Dias *et al.* (2013) (Atualizada em abr/2023).

Para o biodigestor modelo indiano construído em ferrocimento, a estimativa foi baseada na construção de um tanque com

capacidade de volume útil de 35 m³ e ajustada para um tanque com capacidade de 17,43 m³ (TABELA 7).

Tabela 7. Estimativa do custo de material de um tanque em ferrocimento com volume de 17,43 m³

Material	Unidade	Qtde.	Custo/unidade (R\$)	Total (R\$)
Arame forma BWG 12 2,77 mm fino	kg	4,0	20,00	80,00
Areia lavada média	m ³	2,5	135,00	337,50
Brita N 0	m ³	1,5	150,00	225,00
Cimento - CP II	saco	17,5	35,00	612,50
Malha Q92 15x15 2,45x6 m 4.2"	unidade	39,0	22,00	858,00
Sombrite 65%	m ²	10,0	28,00	280,00
Tela de metal 1/2"	m ²	30,0	8,05	241,50
Tela de plástico 1/2"	m ²	20,0	9,20	184,00
Total material 17,43 m³				2.818,50

Fonte: Adaptada de Candioto, Grisa e Schimitz (2015) (Atualizada em abr/2023).

Para a construção do biodigestor modelo indiano em ferrocimento com gasômetro em fibra de vidro (B4) e capacidade de 17,43 m³, estimativa do custo total está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Estimativa do custo de construção do biodigestor indiano em ferrocimento com gasômetro em fibra de vidro(B4) e capacidade de 17,43 m³

Materiais	Unidade	Qtde.	Custo/unidade (R\$)	Total (R\$)
Tanque em ferrocimento de 17,43 m ³	unidade	1,0	2.818,50	2.818,50
Adaptadores	unidade	8,0	4,10	32,80
Broca 1"	unidade	10,0	5,25	52,50
Caixa de fibra de vidro (8.000 L)	peça	1,0	4.675,00	4.675,00
Cola para PVC (75g)	unidade	2,0	7,80	15,60
Curvas 90° PVC 50 mm	unidade	6,0	9,87	59,22
Ferro vergalhão 10 mm 7,22 3/8"	barra	10,0	61,00	610,00
Fita veda rosca (20 m)	unidade	3,0	4,60	13,80
Impermeabilizante (concreto/argamassa)	kg	4,0	64,50	258,00
Luvas 50 mm PVCA	unidade	5,0	7,07	35,35
Mangueira nível transparente 3/4"	m	8,0	2,94	23,52
Registro esfera PVC 50 mm	unidade	3,0	15,72	47,16
Tubo 150 mm PVCE (6m)	unidade	6,0	265,94	1.595,64
Tubo 50 mm PVC (6 m)	barra	12,0	110,87	1.330,44
TOTAL MATERIAL				11.567,53
Mão de obra (pedreiro)	dia	6,0	180,00	1.080,00
Mão de obra (servente)	dia	6,0	80,00	480,00
TOTAL MÃO DE OBRA				1.560,00
TOTAL GERAL				13.127,53

Fonte: Adaptada de Dias *et al.* 2013. (Atualizada em abr/2023).

Em resumo, as estimativas do custo de construção e do preço médio por m³, de cada tipo de biodigestor analisado, com capacidade

para 17,43 m³, no mês de abril do ano de 2023, estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Estimativas do custo de construção e do preço médio por m³, considerando a capacidade volumétrica de 17,43 m³, dos quatro tipos de biodigestores analisados

Biodigestores	Investimento (R\$)	Preço (R\$) m ³
B1	34.054,69	17,43
B2	25.866,33	17,43
B3	14.974,83	17,43
B4	13.127,53	17,43

B1. Biodigestor em alvenaria com gasômetro em chapa de aço; B2. Biodigestor em alvenaria com gasômetro em fibra de vidro; B3. Biodigestor em placas de cimento com gasômetro em fibra de vidro; B4. Biodigestor em ferrocimento com gasômetro em fibra de vidro.

Fonte: Os autores (2023)

A análise dos dados permite identificar a escolha da configuração do biodigestor a partir dos custos de construção e implantação, porém, no momento da escolha quanto ao mais adequado a ser usado, é necessário observar a disponibilidade dos materiais, a necessidade de manutenção periódica e a capacidade da mão de obra existente, para melhor funcionamento e durabilidade.

Pela estimativa dos custos de construção para cada biodigestor avaliado, o modelo indiano construído em alvenaria com gasômetro em chapa de aço (B1) foi o que apresentou custo mais elevado e o fator que contribuiu para essa elevação foi a utilização do gasômetro em chapa de aço. Este material além do preço elevado, ainda pode sofrer corrosões devido ao processo de oxidação do aço, havendo, ainda, a necessidade de pintura periódica para a sua manutenção.

O custo do biodigestor B2 foi reduzido devido ao tipo de material utilizado na sua campânula, a fibra de vidro, com custo correspondente a 36 % do custo da chapa de aço. A vantagem desse tipo de campânula é que a caixa de fibra de vidro, além de ter menor custo, é um material leve, resistente e que não enferruja, facilitando o trabalho e dispensando a necessidade de pintura para a manutenção.

Silva e Pires Sobrinho (2016) consideram que a principal vantagem da construção em alvenaria é a resistência e a facilidade de construção, porém, salientam que, se não houver aplicação de elementos de prevenção contra possíveis danos, é comum,

nesse tipo de construção, ocorrer fissuras entre a alvenaria e o concreto, tornando onerosa sua restauração.

Os biodigestores construídos em placas de cimento e em ferrocimento, ambos com gasômetro em fibra de vidro (B3) apresentaram menor custo do que aqueles construídos em alvenaria, em função da redução no uso de tijolos, cimento e mão de obra e apresentaram custo de construção muito próximos. A construção em ferrocimento (B4) foi o modelo que apresentou o menor custo, com uma redução de 61,4 % se comparado ao de maior custo (B1).

Biodigestores rurais com utilização de placas de cimento têm, na sua construção, o mesmo procedimento do método de construção de cisternas de placas, tendo como principal fator de sucesso suas características: o baixo custo, a fácil manutenção e a utilização de materiais com disponibilidade nas casas de materiais de construção da região (MATTOS; FARIAS JÚNIOR, 2011).

Silva e Araújo (2016) chamam a atenção para a forte difusão da tecnologia de construção com placas de cimento no Agreste e no Sertão nordestino, onde é bastante utilizada, principalmente pela economia dos materiais utilizados, por sua simplicidade e eficiência. Ainda assim, os autores advertem que pode haver variação dessa eficiência de acordo com o contexto em que a obra for inserida. Para Oliveira (2009), a eficiência da digestão anaeróbia pode ser seriamente afetada por fatores que estão relacionados com o substrato,

com as características do digestor ou com as condições de operação e ambientais, por exemplo: o tipo de biomassa, o modelo do biodigestor, a quantidade/volume de biomassa, manejo, perfil de micro-organismos, acidez e a temperatura.

Viana e Magalhães (2013) consideram que a configuração utilizando a tecnologia do ferrocimento, pode ser considerada como sendo totalmente artesanal, e as características como a impermeabilidade e o baixo custo garantem maior alcance social. Também requerem menor

consumo de materiais e garantem alta resistência (BRASIL, 2010)

Como análise financeira dos biodigestores foi realizada pela capacidade de produção de biogás, sendo considerada a estimativa da capacidade de produção média diária de 38,3 m³ de biogás. A partir dessa produção e usando o método do *Payback simples*, o tempo de retorno do investimento pela receita do biogás está apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Tempo de retorno do capital (TRC) mensal considerando a receita do biogás comparada à receita do GLP e do GNV pelo *Payback simples*

Biodigestor	Investiment o inicial (R\$)	Receita mensal GLP (R\$)	TRC GLP (mês)	Receita mensal GNV (R\$)	TRC GNV (mês)
B1	34.054,69	5.174,55	6,58	5.002,07	6,81
B2	25.866,33	5.174,55	5,00	5.002,07	5,17
B3	14.974,83	5.174,55	2,89	5.002,07	2,99
B4	13.127,53	5.174,55	2,54	5.002,07	2,62

Fonte: Os autores (2023).

Usando *Payback* descontado, que considera o valor do dinheiro no tempo e usando uma taxa mínima de atratividade –

TMA de 10 % ao ano, o tempo de retorno do investimento, pela receita do biogás, está apresentado na Tabela 11.

Tabela 11. Tempo de retorno do capital (TRC) mensal ao considerar a receita do biogás comparada ao GLP e ao GNV pelo *Payback descontado*

Biodigestor	Investimento inicial (R\$)	Receita mensal corrigido GLP (R\$)	TRC GLP (mês)	Receita mensal corrigido GNV (R\$)	TRC GNV (mês)
B1	34.054,69	4.704,14	7,24	4.547,33	7,49
B2	25.866,33	4.704,14	5,50	4.547,33	5,69
B3	14.974,83	4.704,14	3,18	4.547,33	3,29
B4	13.127,53	4.704,14	2,79	4.547,33	2,89

Fonte: Os autores (2023)

Usando tanto o *Payback simples* quanto o *Payback descontado*, o retorno de investimento foi estimado em um período menor que um ano, em torno de seis meses. Merece destaque o Biodigestor em ferrocimento com gasômetro em fibra de vidro (B4), que apresentou o menor investimento e o menor tempo de retorno, menor que três meses. Este breve retorno mostra que ele pode ser construído em diferentes propriedades rurais, independente do porte, para que seu proprietário possa fazer uso dos benefícios

advindos de sua implantação. Somado ainda, às vantagens do biodigestor, tais como a produção de energia e de biofertilizante, o tratamento e o reaproveitamento destes resíduos, a não poluição do meio ambiente, e os ganhos relevantes quanto ao bem-estar social e ambiental, tornam viável sua aplicação.

A FADE (2014) também considera que os custos de investimento e de operação e manutenção dos biodigestores podem ser compensados pelas receitas dessas unidades,

obtidas com a venda da energia do biogás e do composto orgânico resultante.

A energia gerada pelos biodigestores também pode ser calculada usando estimativas através de modelos matemáticos e definição dos parâmetros técnicos de cada modelo; nesse caso, o potencial da produção de biogás e metano vai depender, principalmente, da composição do efluente e do tempo de permanência do material no reator. De acordo com Obregon *et al.* (2020), a modelagem matemática de biodigestores é utilizada para prever a quantidade e características do biogás produzido, bem como a relação entre essas características e a quantidade de energia mecânica, trabalho mecânico e energia elétrica gerada.

4 CONCLUSÕES

Comparando os materiais utilizados na construção das quatro configurações avaliadas, a construção em ferrocimento apresentou menor valor de investimento e menor tempo de retorno, seguida das placas de cimento e da alvenaria de tijolos maciços, com gasômetro em fibra de vidro. O gasômetro construído em chapa de aço contribuiu para o aumento significativo do valor do investimento, mostrando que a substituição da chapa de aço pela fibra de vidro é uma boa alternativa.

Considerando a produção de biogás, o retorno do investimento foi estimado para um período menor que um ano. Além do biogás, há que se considerar, ainda, a produção do biofertilizante, que não foi avaliada neste estudo, além dos ganhos relevantes quanto ao saneamento, relacionado ao bem-estar social e ambiental.

5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R. N.; SILVA, L. G. S.; ELIAS, M. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. *In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, 4., 2002, Campinas. **Proceedings** [...]. [Campinas]: Scielo Proceedings, 2002.

Disponível em: <https://bit.ly/2vWcMWu>. Acesso em: 06 abr. 2023.

BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unesc & Ciência-ACSA**, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan./jun. 2011. Disponível em: http://editora.unesc.edu.br/index.php/acsa/article/view/864/pdf_154. Acesso em: 06 abr. 2023.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 147, p. 3, ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 08 abr. 2023.

CALZA, L. F.; LIMA, C. B.; NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; SANTOS, R. F. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 6, p. 990-997, nov./dez. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p990-997/2015>. Acesso em: 10 out. 2021.

CANDIOTTO, L. Z. P.; GRISA, F. F.; SCHIMITZ, L. A. Considerações sobre a experiência de construção de cisternas em Unidades de Produção e Vida Familiares (UPVFs) do município de Francisco Beltrão – Paraná. **Revista Nera**, Presidente Prudente, v. 18, n. 29, p. 174-193, 2015. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/3119>. Acesso em: 08 abr. 2023.

COSTA, M. S. S. D.; LORIN, H. E. F.; MENDONÇA, L. A. D.; CESTONARO, T.; PEREIRA, D. C.; BERNARDI, F. H. Performance of four stabilization bioprocesses of beef cattle feedlot manure. **Journal of Environmental Management**, London, v. 181, p. 443-448, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/>

pii/S0301479716304406. Acesso em: 08 abr. 2023.

DIACONIA ACTALIANÇA. **12 passos para construir um biodigestor**. Recife: Diaconia, 2022. 44 p. Disponível em: <https://bemvindo.diaconia.org.br/pt/biblioteca>. Acesso em: 08 abr. 2023.

DIAS, M. I. A.; COLEN, F.; FERNANDES, L. A.; SOUZA, R. M.; BUENO, O. C. Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 3, p. 155-164, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2013v28n3p155-164>. Acesso em: 09 abr. 2023.

FADE. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboaão dos Guararapes; UFPE; BNDES, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/protegeer/biblioteca/AnalisedasDiversasTecnologiasdeTratamentoeDisposioFinaldeResduosSlidosUrbanosnoBrasilEuropaEstadosUnidoseJapo.pdf>. Acesso em 09 abr. 2023.

FORTES, E. S. **Análise de investimentos: tomada de decisão na avaliação de projetos**. 1. ed. São Paulo: Editora Saint Paul, 2014. 224 p.

FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; MARI, A. G.; FRIGO, E. P. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 4, n. 1, p. 57-65, 2015. DOI: 10.48075/actaiguaz.v4i1.12528. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12528>. Acesso em: 09 abr. 2023.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Tecnologias para o tratamento de resíduos animais: biodigestão e compostagem. *In*: PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L. **Gestão ambiental na agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 235-283. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1001211/tecnologias-para-o-tratamento-de-residuos-de-animais-biodigestao-e-compostagem>. Acesso em: 09 abr. 2023.

MATTOS, L. C.; FARIAS JÚNIOR, M. **Manual do biodigestor sertanejo**. Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2011. 55 p. Disponível em: <https://cibiogas.eadplataforma.com/curso/manual-do-biodigestor-sertanejo/>. Acesso em: 09 abr. 2023.

NISHIMURA, R.; KOLTERMANN, P. I.; GUTTERRES, K. C.; J. M. ORTEGA. Geração de energia com biogás em fazendas de suinocultura. **Eletricidade Moderna**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 142-153, 2009.

OBREGON, L.; FRANTZ, F. C. R.; SILVA, J. M. L. V.; CAMPOS, M. Geração de energia elétrica utilizando biomassa: revisão de técnicas de modelagem matemática. XXV Jornada de Pesquisa. **Salão Do Conhecimento**, Ijuí, v. 6, n. 6, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/18514>. Acesso em: 09 abr. 2023

OTENIO, M. H.; RESENDE, J. A.; DINIZ, C. G.; SILVA, V. L.; RIBEIRO, M. T.; LIMA, J. C. F.; CARNEIRO, J da. C. Produção de biogás a partir de dejetos da pecuária leiteira. **Panorama do Leite**, Juiz de Fora, v. 7, n. 81, p. 9-11, 2015. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1038285>. Acesso em: 09 abr. 2023.

SANTOS, E.; SANTOS, S. J.; SANTOS, E. L.; BARBOSA, J. H.; PEREIRA JÚNIOR, D. A.; PONTES, E. C.; OLIVEIRA, W. D. S.; SANTANA FILHO, E. Construção de um biodigestor caseiro como uma tecnologia acessível a suinocultores da agricultura familiar. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Rio Largo, v. 11, n. 3, p. 290-297, mar. 2017. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v11n3.290-297>. Acesso em 09 abr. 2023.

SILVA, D.; PIRES SOBRINHO, C.
Procedimento e tratamento para Evitar Fissuras nas Ligações entre Alvenaria e Estrutura de Concreto Armado - Um Estudo de Caso. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v. 3, n. 1, p. 97-104, dez. 2016. Disponível em:
<http://revistas.poli.br/index.php/rep/article/view/274>. Acesso em: 07 abr. 2023.

SILVA, M. J.; NUNES, R. P.; SILVA, B. M.; SANTOS, L. M. L.; LIMA, C. M. D. Extensão Rural e tecnologia sustentável: utilização de biodigestor na agricultura familiar. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema, v. 3, n. 3, p. 867-876, set./dez. 2018. Disponível em:
https://diversitasjournal.com.br/diversitas_jour

[nal/article/view/687/667](http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v11n3.290-297). Acesso em: 07 abr. 2023.

SILVA, M. L. C.; ARAÚJO, A. O.
Viabilidade de uso de biodigestor contínuo: um estudo de caso na comunidade Araras, município de Tavares-PB. **Interespaço**, Grajaú, v. 2, n. 7, p. 179-194, 2016. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.v2n7p179-194>. Acesso em: 07 abr. 2023.

VIANA, M. R.; MAGALHÃES, L. N.
Estações de tratamento de água construídas de ferrocimento no estado de Minas Gerais, Brasil. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 36-44, 2013. Disponível em:
<http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/1685>. Acesso em: 7 abr. 2023.