



CUSTO ENERGÉTICO DE CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTORES PARA O MANEJO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA

Alessandro Vieira Veloso¹, Alessandro Torres Campos¹, Diego Bedin Marin¹ e Matheus Campos Mattioli¹ & Lucas Santos Santana¹

RESUMO: Pela praticidade e simplicidade de construção, nos últimos anos, os biodigestores tubulares, também conhecidos como canadense, têm sido utilizados para o manejo e tratamento de resíduos da suinocultura. Contudo, a escassez de informações acerca da composição energética destas estruturas limita a realização de estudos relacionados às análises energéticas nesses biosistemas. Objetivou-se com o presente trabalho contabilizar a energia empregada na construção de biodigestores anaeróbios de fluxo tubular utilizados para o manejo e tratamento de resíduos da suinocultura. Para tanto, foram quantificados os componentes envolvidos na construção dos biodigestores e, em seguida, para transformação em unidades de energia desses componentes, multiplicou-se a quantidade destes pelos seus respectivos coeficientes energéticos. Os resultados indicaram que a construção dos biodigestores consumiu 490.179,59 MJ de energia, sendo que o componente energético mais expressivo no consumo energético foram as geomembranas flexíveis de PVC (29,33%), seguido pelas tubulações de PVC e lonas de impermeabilização com 28,45% e 21,06% da energia consumida, respectivamente. Considerando o volume útil dos biodigestores, o índice energético determinado foi de 225,89 MJ m⁻³.

PALAVRAS-CHAVE: construções rurais, energia, biogás, biosistemas, sustentabilidade.

ENERGY INPUTS USED IN THE BUILDING OF BIODIGESTORS FOR MANAGEMENT AND TREATMENT OF SWINE WASTES

ABSTRACT: In recent years, the tubular digesters have been used for the management and treatment of swine wastes for convenience and simplicity. The lack of information about energy composition of these structures, restrict the implementation of energetic analyzes. The aim of this study was to evaluate the estimated energy involved in the construction of anaerobic biodigestors used for the management and treatment of swine waste. Components involved in the construction of anaerobic biodigestors was quantified and transformed in energy units. This way, the quantity was multiplied by their respective energetic coefficients. The results indicated that the construction of biodigestors consume 490,179.59 MJ of energy. The most significant energy component in energy consumption were flexible PVC geomembranes (29.33%), followed by pipes and tarps sealing with 28.45% and 21.06% energy consumed, respectively. Considering the useful volume of the biodigestors, the energy index determined was 225.89 MJ m⁻³.

KEYWORDS: rural buildings; energy; biogas; biosystems; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O estudo da energia empregada em sistemas agrícolas, seus fluxos, distribuição e conversão constituem importante instrumental para a avaliação da sustentabilidade, principalmente considerando as crises no setor energético (SOUZA et al., 2009). Esse procedimento possibilita a determinação dos processos, materiais e equipamentos de maior consumo de energia, indicando opções de economia (VELOSO et al., 2012).

Contudo, é importante considerar que, dos debates estabelecidos sobre a questão energética no Brasil, o estudo sobre o balanço energético dos sistemas produtivos tem sido pouco explorado, uma vez que maiores

considerações têm sido efetuadas na busca por novas fontes, a partir de culturas com alto potencial de produção calórica (CAMPOS et al., 2005).

Nesse contexto, pouca atenção tem sido dada a despeito dos consumos energéticos para construções e instalações utilizadas nos diversos processos produtivos agrícolas brasileiros (CAMPOS et al., 2003), justificando estudos nessa área, uma vez que a construção civil é um setor bastante heterogêneo (FAZINGA e SAFFARO, 2012) e dependente de energia (CHANG; RIES; WANG, 2010). Assim, a origem dos materiais ou matérias-primas empregados em uma construção é um dos principais

¹ E-mails: veloso.alessandrovieira@yahoo.com.br ; campos@deg.ufla.br ; db.marin@hotmail.com ; mattioli-cmatheus@hotmail.com ; lucas.unemat@hotmail.com

fatores que influenciam seu custo energético (CAMPOS et al., 2003).

No meio rural, os biodigestores anaeróbios consistem de construções imprescindíveis nos tempos atuais, haja vista que sua utilização contribui para integração e sustentabilidade de diversas atividades aproveitando o resíduo, que, normalmente, é dado pouco ou mesmo nenhum valor comercial e, convertendo-o em duas grandes fontes de desenvolvimento, ou seja, energia renovável e biofertilizante. Além disso, essas estruturas promovem o saneamento e reduzem as emissões de gases de efeito estufa (KAPARAJU e RINTALA, 2011).

Desse modo, por se constituírem nas estruturas responsáveis pela geração de energia renovável, estudos acerca do custo energético dos biodigestores representam uma abordagem promissora, a fim de incrementar os dados disponíveis na literatura, principalmente para os estudos envolvendo os fluxos de energia em sistemas biointegrados, que promovem a geração de vultosas quantidades de resíduos orgânicos com o seu posterior aproveitamento (CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho estimar o consumo energético embutido na construção de biodigestores modelo canadense, que promovem o manejo e o tratamento de resíduos em um sistema de produção de suínos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma estimativa da energia envolvida na construção da estrutura responsável pelo manejo e tratamento de resíduos de um sistema de produção de suínos de ciclo completo, localizado no município de Lavras, estado de Minas Gerais - MG, que está situada à latitude de 21°14'' Sul e longitude de 45°00'' Oeste, com 918 m de altitude (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

O sistema de produção de suínos em questão produz diariamente 54,85 m³ de biomassa residual. Diante disso, dois biodigestores modelo canadense, também denominados de tubulares (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2009; CERVI; ESPERANCINI; BUENO, 2010; QUADROS et al., 2010; MARTÍ-HERRERO e CIPRIANO, 2012), dimensionados para um tempo de retenção hidráulica de 30 dias e operação contínua, realizam o tratamento, propriamente dito, dos resíduos.

Cada biodigestor possui dimensões externas de 32 x 17 m, dimensões internas de 27 x 12 m, profundidade de 2,5 m e volume de 1.085 m³, sendo cobertos com geomembranas flexíveis (gasômetros) de policloreto de vinila (PVC). Para ancoragem dos gasômetros à construção foi feita uma fundação direta contínua de 0,50 m de profundidade e 0,20 m de largura. Nesse trabalho, também foram consideradas as tubulações de PVC responsáveis por conduzir o fluxo (entrada e saída) dos

resíduos nos biodigestores, bem como as tubulações requeridas para o transporte do biogás.

O sistema foi delimitado pelas atividades relativas à construção dos biodigestores (Figura 1), as quais incluíram operações referentes à movimentação de terra, técnicas construtivas, mão-de-obra e materiais empregados na construção civil, destacando-se os seguintes componentes: mão-de-obra, óleo diesel, óleo lubrificante, graxa, máquinas, geomembranas flexíveis de PVC, lona de impermeabilização, tubulações de PVC, caixa difusora de fluxo, fundações de concreto, chapas de aço e parafusos.

Os componentes envolvidos na construção dos biodigestores foram quantificados e para sua transformação em unidades de energia, multiplicou-se a quantidade destes pelos seus respectivos coeficientes energéticos estabelecidos por diversos autores e por catálogos de fabricantes (Tabela 1).

Para o cálculo da energia consumida por máquinas e equipamentos, utilizou-se metodologia empregada por diversos pesquisadores (SOUZA et al., 2009; JASPER et al., 2010; VELOSO et al., 2012), a qual consiste na aplicação de um método baseado na depreciação energética, que com base na massa das máquinas e equipamentos, consiste em depreciá-los durante sua vida útil.

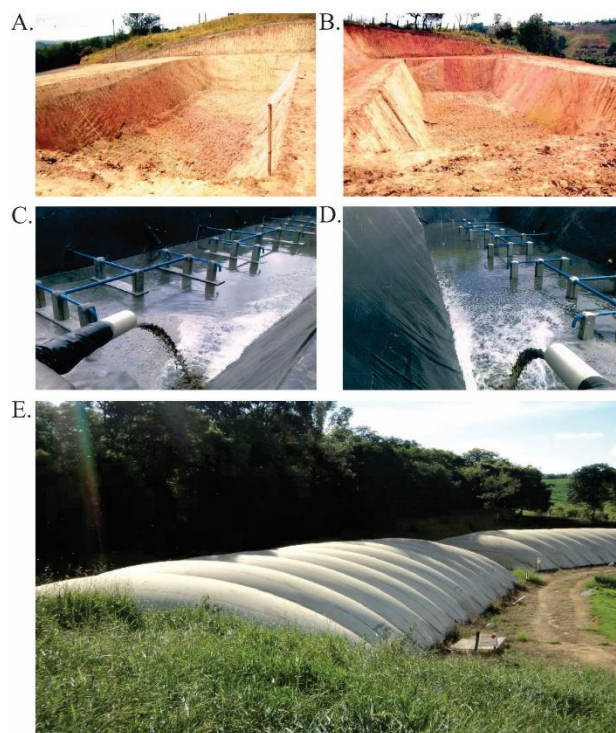


Figura 1 - Etapas referentes à construção dos biodigestores: (A e B) escavação dos biodigestores; (C e D) início das operações de enchimento dos biodigestores; (E) biodigestores modelo canadense implantados com destaque para o gasômetro de PVC.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As máquinas utilizadas no processo de construção (escavação e terraplenagem) dos biodigestores, com seus respectivos pesos, vida útil, horas de utilização e consumo

de combustíveis e lubrificantes estão identificadas a seguir (Tabela 2). O peso, os consumos de óleo diesel, óleo lubrificante e graxa dos itens foram estimados a partir dos manuais das máquinas.

Tabela 1 - Componentes energéticos referentes à construção dos biodigestores e seus respectivos coeficientes energético.

Componente de entrada	Coefficiente energético	Unidades	Vida Útil
Mão-de-obra ¹	4,39	MJ homem ⁻¹ h ⁻¹	-
Óleo diesel ¹	47,48	MJ L ⁻¹	-
Graxa ²	43,38	MJ kg ⁻¹	-
Óleo lubrificante ²	37,75	MJ L ⁻¹	-
Chapas de aço ¹	62,78	MJ kg ⁻¹	20 anos
Geomembrana flexível PVC ¹ (1.000 mμ)	119,99	MJ kg ⁻¹	05 anos ⁶
Lona de impermeabilização PVC ¹ (800 mμ)	119,99	MJ kg ⁻¹	05 anos ⁶
Parafusos de aço ¹	62,78	MJ kg ⁻¹	20 anos
PVC ¹ (Tubulação 100 mm)	119,99	MJ kg ⁻¹	40 anos
PVC ¹ (Tubulação 200 mm)	119,99	MJ kg ⁻¹	40 anos
Polietileno ³ (Caixa difusora de fluxo)	108,7	MJ kg ⁻¹	50 anos
Fundação/Concreto ⁴	641,64	MJ m ⁻³	-
Caminhão Volkswagen VW 11130 ⁵	57,2	MJ kg ⁻¹	10.000 horas
Retroescavadora Caterpillar 430E IT ⁵	57,2	MJ kg ⁻¹	10.000 horas
Trator de esteiras Caterpillar D6K ⁵	57,2	MJ kg ⁻¹	10.000 horas

Fonte: ¹(PIMENTEL, 1980); ²(JASPER et al., 2010); ³(FLUCK e BAIRD, 1982); ⁴(CAMPOS et al., 2003); ⁵(SOUZA et al., 2009);

⁶Conforme informado pelo fabricante.

As quantificações médias dos diferentes componentes empregados no processo construtivo dos biodigestores estão listadas abaixo (Tabela 3).

Os biodigestores modelo canadense utilizados para o manejo e tratamento dos resíduos da suinocultura consumiram o total de 490.179,59 MJ em sua construção, cujos detalhamentos do consumo energético dos seus diferentes componentes são demonstrados a seguir (Tabela 4).

Em um estudo sobre a eficiência energética de um plantel de 600 suínos da fase de crescimento-terminação, dois biodigestores utilizados para o manejo e tratamento dos

resíduos foram responsáveis pelo consumo de 3.785,80 MJ de energia (ANGONESE et al., 2006). Esse valor é bastante contrastante aos encontrados nesse trabalho (490.179,59 MJ). Contudo, vale ressaltar que os biodigestores da pesquisa de Angonese et al. (2006) eram

formados por dois tanques cilíndricos (usados em postos de combustível) de 15 m³ cada um, construídos em aço carbono, possuindo, dessa forma, peculiaridades construtivas bem diferentes dos biodigestores canadenses avaliados nesse estudo.

Embora haja grandes diferenças no tocante ao consumo de energia e entre as tipologias construtivas dos

biodigestores avaliados nesse estudo e aos analisados por Angonese et al. (2006), é importante ressaltar que essa grande variação demonstra a necessidade de mais estudos para as instalações rurais conduzidas no Brasil, considerando a diferenciação regional e o nível de sofisticação dessas construções. Essa variação se torna

ainda mais acentuada, quando se compara o custo energético para construção no Brasil e em outros países (CAMPOS et al., 2003).

Tabela 2 - Máquinas utilizadas na construção dos biodigestores: consumo de combustível e tempo de utilização.

	Peso (Kg)	Consumo			Utilização (horas)	Vida útil (horas)
		Diesel (L)	Lubrificante (L)	Graxa (kg)		
Caminhões ¹	14.040	196	4	0,9	56	20.000
Retroescavadora ²	8.792	384	5	1	32	10.000
Trator de esteiras ³	12.886	819	11	2	43	10.000

¹Volkswagen VW 11130; ²Caterpillar 430E IT; ³Caterpillar D6K.

Tabela 3 - Quantificação média dos componentes energéticos envolvidos na construção dos biodigestores.

Componentes	Quantidade
Mão-de-obra	488 horas
Óleo diesel	1.399 L
Graxa	3,9 kg
Óleo lubrificante	20 L
Chapas de aço	138,34 kg
Geomembrana flexível de PVC ¹ (1.000 m μ)	1.323,00 kg
Lona de impermeabilização de PVC ¹ (800 m μ)	949,50 kg
Parafusos de aço	122,62 kg
PVC (Tubulação de 100 mm)	302,40 kg
PVC (Tubulação de 200 mm)	860,00 kg
Caixa difusora de fluxo	36,00 kg
Fundação/Concreto	11,88 m ³
Caminhão Volkswagen VW 11130	56 horas
Retroescavadora Caterpillar 430E IT	32 horas
Trator de esteiras Caterpillar D6K	43 horas

Na análise de outros estudos concernentes ao dispêndio de energia em instalações rurais, que lançaram mão da metodologia envolvendo a composição energética dos materiais utilizados em construções, pôde-se constatar o seguinte. Um galpão destinado à produção de suínos em cama sobreposta consumiu o total de 1.743.783,37 MJ em sua construção (VELOSO et al., 2012). Diante da mesma rubrica energética, Souza et al. (2009) reportaram o valor de 9.429,33 MJ para instalações de suínos, enquanto que Angonese et al. (2006) relataram que as construções destinadas à produção de suínos consumiram 9.151,14 MJ

de energia. Por sua vez, Campos et al. (2003) analisaram uma edificação em alvenaria com estrutura aéreo-portante em concreto armado para armazenamento de feno e obtiveram o valor de 103.327,73 MJ.

Na mesma linha de raciocínio, por meio de um levantamento dos componentes energéticos envolvidos na construção de lagoas de estabilização em série utilizadas no manejo e tratamento de resíduos da suinocultura, Souza et al. (2009) observaram que essas estruturas foram responsáveis pelo dispêndio de 1.393,92 MJ de energia.

Para demonstrar o quanto o setor de construção civil é dependente de energia, Chang, Ries e Wang (2010) identificaram que os consumos energéticos em edificações responderam por 47% do consumo total de energia na China. Ademais, os mesmos pesquisadores

destacaram que, em virtude da acelerada urbanização, bem como da construção de infraestrutura, esse percentual tende a aumentar nas próximas décadas.

Tabela 4 - Energia consumida (MJ) pelos componentes envolvidos na construção dos biodigestores.

Componente de entrada	Consumo de Energia (MJ)
Mão-de-obra ¹	2.142,32
Óleo diesel ¹	66.424,52
Graxa ²	169,18
Óleo lubrificante ²	755
Chapas de aço ¹	8.684,99
Geomembrana flexível de PVC ¹ (1.000 m ²)	143.757,90
Lona de impermeabilização de PVC ¹ (800 m ²)	103.210,70
Parafusos de aço ¹	7.698,08
PVC ¹ (Tubulação 100 mm)	36.284,98
PVC ¹ (Tubulação 200 mm)	103.191,40
Caixa difusora de fluxo	3.913,20
Fundação/Concreto ³	7.622,68
Caminhão Volkswagen VW 11130 ⁴	2.023,78
Retroescavadora Caterpillar 430E IT ⁴	1.448,36
Trator de esteiras Caterpillar D6K ⁴	2.852,50
ENERGIA CONSUMIDA	490.179,59

As participações de todas as rubricas energéticas envolvidas na construção dos biodigestores modelo canadense são demonstradas abaixo (Figura 2).

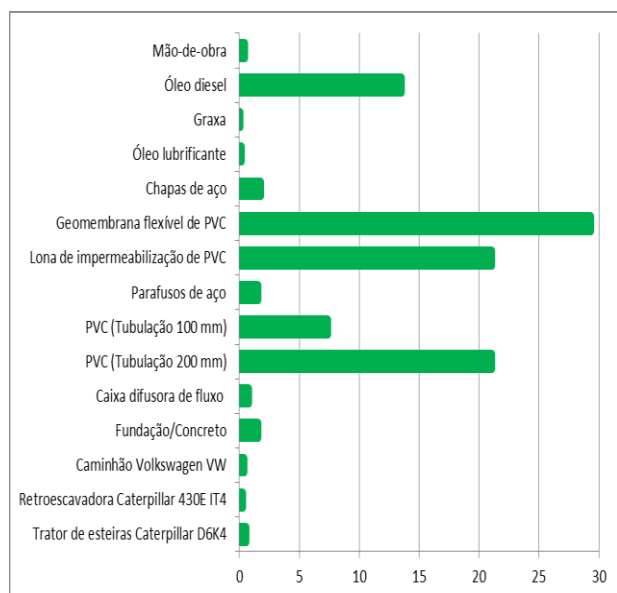


Figura 2 - Participação percentual dos diferentes componentes energéticos envolvidos na construção dos biodigestores.

Em sua análise energética sobre a produção de feno de *Cynodon dactylon*, Campos et al. (2005) utilizaram a terminologia “estrangulador” ao se referirem à rubrica energética que mais consumiu energia no sistema

estudado. Diante disso, nesse trabalho, tem-se que o principal “estrangulador” de energia foram as geomembranas flexíveis de PVC (Tabela 4 e Figura 2), utilizadas como gasômetros, com 29,33% (143.757,90 MJ) do total de energia consumida. Em seguida, as tubulações de PVC e a lona de impermeabilização (Tabela 4 e Figura 2), responderam com 28,45% (139.476,38 MJ) e 21,06% (103.210,70 MJ), respectivamente.

As geomembranas e as lonas de impermeabilização dos biodigestores avaliados nesse trabalho constituem-se nos chamados geossintéticos, que são um conjunto de produtos poliméricos industriais, cujas propriedades contribuem para a melhoria de obras de engenharia civil, exercendo múltiplas funções, tais como: reforço, filtração, drenagem, proteção, separação, impermeabilização, controle de erosão superficial, dentre outros (PITANGA; VILAR; GOURC, 2013). O advento desses produtos revolucionou vários aspectos do projeto e construção de obras na construção civil e, em particular, das obras de proteção ambiental (LAVOIE; BUENO; LODI, 2013; PITANGA; VILAR; GOURC, 2013).

Embora apresentem um elevado custo de capital Martins e Oliveira (2011), além de alto custo energético, conforme foi identificado nessa pesquisa, atualmente, as geomembranas flexíveis de PVC, usadas como gasômetros de biodigestores modelo canadense, são muito importantes ao processo de biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos no meio rural, pois estas estruturas apresentam praticidade e simplicidade de construção, possuem capacidade de alongação, que permite fácil acoplamento com os movimentos decorrentes da produção de biogás, além de serem resistentes às variações de temperatura e à radiação solar (CEPERO et al., 2012).

Ainda é importante considerar que as geomembranas usadas como gasômetro possibilitam a captura de metano, o que contribui para minimizar a emissão desse e de outros gases de efeito estufa para a atmosfera (ZHENG et al., 2010; KAPARAJU e RINTALA, 2011; MASSÉ; TALBOT; GILBERT., 2011; CIRINO e FARIA, 2013).

Sobre as lonas de impermeabilização, um ponto de realce enfocando os aspectos ambientais deve ser mencionado, uma vez que, de acordo com Pitanga, Vilar e Gourc (2013) e Lavoie, Bueno e Lodi (2013), esses materiais minimizam a infiltração de efluentes e gases contaminantes a partir da degradação dos resíduos gerados pelas atividades antrópicas, impedindo-os de atingir as águas subterrâneas.

O consumo expressivo de energia apresentado pelas tubulações de PVC, isto é, 28,45% (139.476,38 MJ) da energia consumida no total (Tabela 4 e Figura 2) pode ser justificado pelo fato desses materiais serem indispensáveis para promover o lançamento dos resíduos da suinocultura para os biodigestores, sendo também requeridos para transportar o biogás dos biodigestores até o conjunto motor gerador de eletricidade.

Nesse trabalho, a energia consumida pelo óleo diesel e lubrificantes (óleo lubrificante e graxa) utilizados para o acionamento de máquinas, durante as operações de terraplenagem e escavação, correspondeu a 13,73% (67.348,70 MJ) do total de energia requerida para a construção dos biodigestores (Tabela 4 e Figura 2).

Por outro lado, Jasper et al. (2010) detectaram que o óleo diesel respondeu com 23,04% do dispêndio energético em um sistema de produção de crame. Trabalhando com culturas forrageiras, Campos et al. (2005) e Campos et al. (2004) observaram que combustíveis e lubrificantes apresentaram, respectivamente, 75,05 e 59,61% do consumo total de energia, assumindo maior contribuição no aporte de energia direta dos sistemas estudados. Nesse contexto, Biaggioni e Bovolenta (2010) salientaram que é necessário a busca por alternativas mais sustentáveis do ponto de vista energético, que possibilitem a utilização mais racional de recursos naturais não renováveis, principalmente, do óleo diesel.

Em relação aos itens com menor dispêndio de energia na construção dos biodigestores, como é o caso da mão-de-obra, chapas de aço, parafusos, caixa difusora de fluxo,

fundação de concreto e máquinas (Tabela 4 e Figura 2), é necessário mencionar que na quantificação energética, componentes com baixo consumo de energia, em termos percentuais, podem ocasionar impactos econômicos, ambientais e sociais importantes (SANTOS e LUCAS JÚNIOR, 2004; VELOSO et al., 2012).

De maneira análoga ao que foi reportado por Veloso et al. (2012) e Santos e Lucas Júnior (2004), que estudaram o balanço de energia em sistemas de produção de animais, tem-se que é comum encontrar biodigestores semelhantes aos desse estudo consumindo quantidades diferentes de energia e isso pode estar correlacionado aos materiais e técnicas construtivas empregadas, aos equipamentos e práticas de manejo.

O setor da construção civil incorpora uma quantidade significativa da energia consumida em um país ou região. Em tempos onde se preconiza uma melhor eficiência energética dos sistemas de produção para garantia da sustentabilidade, faz-se necessário o estudo dos componentes energéticos embutidos nesse setor, associando-os aos aspectos socioeconômicos, à otimização da logística e da infraestrutura de energia, dentre outros (CHANG; RIES; WANG, 2010).

Os biodigestores modelo canadense consumiram o total de 490.179,59 MJ (Tabela 4) em sua construção. Considerando-se o volume total dessas estruturas, ou seja, 2.170 m³, o índice energético determinado foi de 225,89 MJ m⁻³.

De acordo com Cirino e Faria (2013), o tempo de vida útil de um biodigestor é de 15 anos, após os quais são necessários novos investimentos em decorrência do uso e da depreciação. Na unidade de produção de suínos estudada, do nascimento até o abate, os animais são produzidos em um ciclo período de 150 dias. Diante disso, em estudos sobre o balanço energético, os biodigestores avaliados na energia indireta apresentariam um consumo energético de 13.429,58 MJ ciclo⁻¹.

4 CONCLUSÕES

Analisando globalmente o tipo de construção rural estudado, o componente energético mais expressivo foi relativo às geomembranas flexíveis de PVC (29,33%), seguido pelas tubulações de PVC (28,45%) e lonas de impermeabilização (21,06%);

O índice energético por volume útil de construção de biodigestor modelo canadense foi de 225,89 MJ m⁻³;

Em estudos sobre o balanço energético em sistemas de produção de suínos com ciclo período de 150 dias, os biodigestores avaliados na energia indireta apresentariam um consumo energético de 13.429,58 MJ ciclo⁻¹.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; ZACARKIM, C. E.; MATSUO, M. S.; CUNHA, F. Eficiência energética

- de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.
- BIAGGIONI, M. A. M.; BOVOLENTA, F. C. Balanço energético comparativo para rotas de escoamento de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 587-599, 2010.
- CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R. C.; BUENO, O. D. C.; CAMPOS, A. T. D.; KLOSOWSKI, E. S.; GASPARINO, E. Balanço energético na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 245-251, 2004.
- CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R. C.; CAMPOS, A. T. D.; BUENO, O. D. C.; RESENDE, H.; GASPARINO, E.; KLOSOWSKI, E. S. Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 667-672, 2003.
- CAMPOS, A. T.; SAGLIETTI, J. R.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. C. Análise energética na produção de feno de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 349-358, 2005.
- CEPERO, L. CEPERO, L.; SAVRAN, V.; BLANCO, D.; DÍAZ PIÑÓN, M. R.; SUÁREZ, J.; PALACIOS, A. Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. **Pastos y Forrajes**, Matanzas, v. 35, n. 2, p. 219-226, 2012.
- CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. D. C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 831-844, 2010.
- CIRINO, J. F.; FARIA, L. V. P. Biodigestor para geração de energia elétrica a partir da suinocultura: análise de viabilidade para um sítio em Coimbra-MG. **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, v. 13, n. 2, p. 421-440, 2013.
- CHANG, Y.; RIES, R. J.; WANG, Y. The embodied energy and environmental emissions of construction projects in China: an economic input-output LCA model. **Energy Policy**, v. 38, n. 11, p. 6597-6603, 2010.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. D.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- FAZINGA, W. R.; SAFFARO, F. A. Identificação dos elementos do trabalho padronizado na construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 27-44, 2012.
- FLUCK, R. C.; BAIRD, C. D. **Agricultural energetics**. Westport: AVI publishing Co, 1982. 192p.
- JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SILVA, P. R. A.; SEKI, A. S.; BUENO, O. C. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica hochst*) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3 p. 395-403, 2010.
- KAPARAJU, P.; RINTALA, J. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. **Renewable Energy**, Amsterdã, v. 36, n. 1, p. 31-41, 2011.
- LAVOIE, F. L.; BUENO, B. D. S.; LODI, P. C. Degradação de membrana impermeabilizante de polietileno de alta densidade usada em tanques de armazenamento de vinhaça. **Polímeros**, São Carlos, v. 23, n. 5 p. 690-695, 2013.
- MASSÉ, D. I.; TALBOT, G.; GILBERT, Y. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. **Animal feed science and technology**, v. 166, p. 436-445, 2011.
- MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 477-486, 2011.
- MARTÍ-HERRERO, J.; CIPRIANO, J. Design methodology for low cost tubular digesters. **Bioresource Technology**, Amsterdã, v. 108, p. 21-27, 2012.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J. D. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 474-482, 2009.
- PITANGA, H. N.; VILAR, O. M.; GOURC, J. P. Wear resistance of geosynthetic interfaces constituted by geomembranes and geospacers. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 66, n. 2, p. 227-232, 2013.
- QUADROS, D. G.; OLIVER, A. D. P.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; DE SOUZA, P. H.; FERREIRA, E. D. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 326-332, 2010.
- PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Flórida: CRC Press, 1980. 475p.
- SANTOS, T.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 25-36, 2004.
- SOUZA, C. V.; CAMPOS, A. T.; BUENO, O. D. C.; SILVA, E. B. Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento dos dejetos como biofertilizante em pastagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 547-557, 2009.

VELOSO, A. V.; CAMPOS, A. T.; PAULA, V. R. D.; DOURADO, D. C.; YANAGI JÚNIOR, T.; SILVA, E. B. Energetic efficiency of a deep bed swine production system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, 2012.

ZHENG, Y. H.; LI, Z. F.; FENG, S. F.; LUCAS, M.; WU, G. L.; LI, Y.; LI, C. H.; JIANG, G. M. Biomass energy utilization in rural areas may contribute to alleviating energy crisis and global warming: A case study in a typical agro-village of Shandong, China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdã, v. 14, n. 9, p. 3132-3139, 2010.