

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM CODIGESTÃO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS NA REGIÃO DA ZONA DA MATA, MINAS GERAIS, BRASIL

Adriano Henrique Ferrarez⁷³

Delly Oliveira Filho⁷⁴

Luis Manuel Navas Gracia⁷⁵

Jorge Miñon Martinez⁷⁶

Roberto Precci Lopes⁷⁷

Aziz Galvão da Silva Júnior⁷⁸

Natalia Silva de Souza⁷⁹

RESUMO

Desde outubro de 2012, o sistema elétrico brasileiro enfrenta problemas com o baixo nível dos reservatórios das hidrelétricas. Este cenário pode levar a racionamento de energia, com reflexos sobre a qualidade de vida da população e crescimento econômico. A Zona da Mata de Minas Gerais, formada por 142 municípios, possui um número significativo de pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Estas instalações não necessariamente trazem benefícios para a população local, ou seja, os municípios recebem a carga direta da implantação desses empreendimentos sem receber o bônus ou compensação por danos ambientais. A região é o segundo maior centro de produção de carne suína de Minas Gerais e o quinto maior produtor e exportador de carne suína do Brasil. A produção de resíduos derivados da criação de suínos é um grave problema ambiental. O aproveitamento energético dos dejetos de suínos por

⁷³ Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Doutor em Ciência e Engenharia Agroalimentar e de Biosistemas - Universidad de Valladolid/Espanha. Professor do Instituto Federal Fluminense – Campus Itaperuna, Brasil, aferrarez@iff.edu.br

⁷⁴ Ph.D. em Engenharia Elétrica pela McGill University/Canadá. Professor Titular da Universidade Federal de Viçosa, Brasil, delly@ufv.br.

⁷⁵ Doutor em Energia e Máquinas pela Universidad Politécnica de Madrid/Espanha. Professor Catedrático da Universidad de Valladolid/Espanha, Imnavas@iaf.uva.es

⁷⁶ Doutorando em Ciência e Engenharia Agroalimentar e de Biosistemas pela Universidad de Valladolid/Espanha, jorge.minon.martinez@gmail.com

⁷⁷ Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor Universidade Federal de Viçosa, Brasil, roberto.precci@ufv.br

⁷⁸ Doutor em Administração Rural pela Universidade de Bonn/Alemanha. Professor da Universidade Federal de Viçosa, Brasil, aziz@ufv.br

⁷⁹ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa, Brasil, natysouza.eaa@gmail.com

codigestão anaeróbia com resíduos vegetais (café, feijão, milho e cana de açúcar) é uma oportunidade para promover o saneamento ambiental e aumentar a oferta de energia. Os objetivos deste estudo foram: (i) estimar os resíduos agropecuários disponíveis na região; (ii) estimar o potencial de produção de biometano por meio da codigestão anaeróbia; (iii) avaliar e comparar o potencial de geração de eletricidade a partir do biometano produzido a partir dos dejetos de suínos e por meio da codigestão com resíduos vegetais; e (iv) avaliar os impactos da eletricidade gerada na matriz energética da região. Foi utilizado software de sistema de informações geográficas para a elaboração de mapas da região apresentando a potência elétrica gerada com os resíduos. O potencial de produção de biometano foi estimado em 193.217.223 m³/ano, a potência elétrica em 79,31 MW e a energia gerada pode atender a 28,15% da demanda regional.

PALAVRAS-CHAVE: biometano; suinocultura; desenvolvimento regional sustentável.

1 INTRODUÇÃO

Desde outubro de 2012, o sistema elétrico brasileiro enfrenta problemas com o baixo nível dos reservatórios das hidrelétricas. Como resultado, o país aumentou a capacidade instalada de usinas termelétricas atingindo 37,8 GW em 2014, dos quais mais de 70% é gerada a partir de combustíveis fósseis (ANEEL, 2015). De acordo com especialistas, se este cenário persistir, pode haver racionamento de energia. Estudos mostram a relação direta entre o aumento do consumo de energia e o desenvolvimento econômico (Warr e Ayres, 2010). O aumento no consumo de energia também tem sido associado a um aumento do bem-estar das pessoas, com reflexos sobre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (Ouedraogo, 2013).

A mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais é formada por 142 municípios agrupados em sete microrregiões. A Figura 1 mostra a localização da região.

Figura 1. Mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais



Fonte: (Lost Dutchman Coffee Company, 2015) y (Minas Gerais, 2014)

Existem 24 pequenas centrais hidrelétricas (PCH) instaladas na região, totalizando 242,74 MW (ANEEL, 2014). Estas instalações não necessariamente trazem benefícios para a população local, ou seja, os municípios recebem a carga direta de execução sem o bônus ou compensação por danos ambientais (Paula et al., 2013). O consumo de energia per capita na região é menor do que nos países da OCDE, no Brasil e no Estado de Minas Gerais (IEA, 2013; EPE, 2012; CEMIG, 2012).

A agricultura na região é tradicional e atende principalmente os mercados locais e regionais tradicionais, com exceção dos setores da cafeicultura, suinocultura e avicultura de corte (NETTO; DINIZ, 2005). Os principais cultivos agrícolas, além do café, são feijão, milho e cana-de-açúcar.

A Zona da Mata é o segundo polo de criação de suínos de Minas Gerais e o quinto maior produtor e exportador de carne suína do Brasil. Predominam na região as propriedades com até 500 matrizes, faturamento anual até US\$ 1 milhão, que empregam mão-de-obra assalariada e cuja gestão é realizada por membros da família (MOURA, 2004).

A produção de dejetos derivados da criação de suínos é um grave problema ambiental. O manuseio inadequado desses dejetos provoca a poluição de rios e águas subterrâneas com amônia, nitratos e outros elementos tóxicos, além da disseminação de patógenos. Outro tipo de contaminação está associada com compostos voláteis tais como metano, ácidos graxos voláteis, H_2S , N_2O , etanol, propanol e dimetil sulfidro (COOLS et al., 2001; COIMBRA-ARAUJO et al., 2014).

O aproveitamento energético dos dejetos da suinocultura é uma alternativa para mitigar os impactos ambientais da atividade. Um dos possíveis processos de conversão desses dejetos em energia é a codigestão anaeróbia com resíduos vegetais (HILLS; ROBERTS, 1981; HASHIMOTO, 1983). Este processo envolve a ação de microrganismos que convertem biomassa em biogás, que é formado por 50

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.302-316, dez. 2015.

a 80% de metano (CH₄), sendo o restante composto principalmente por dióxido de carbono (CO₂). Outros gases tais como ácido sulfídrico (H₂S), nitrogênio (N₂), hidrogênio (H₂) e monóxido de carbono (CO), também compõem o biogás, mas em concentrações mais baixas (WEILAND, 2010). Dependendo de sua pureza (concentração de metano), o biogás é chamado biometano. Não há um padrão internacional de concentração de metano no biogás, por exemplo, na Holanda o biogás com 85% de metano é considerado biometano, enquanto esse percentual sobe para 96 e 97% para a Suíça e Suécia, respectivamente (SUWANSRI, et al., 2014).

Os objetivos deste estudo foram: (i) estimar os resíduos agropecuários disponíveis na região da Zona da Mata de Minas Gerais; (ii) estimar o potencial de produção de biometano por meio de codigestão anaeróbia dos resíduos; (iii) avaliar e comparar o potencial de geração de eletricidade a partir de biometano produzido a partir dos dejetos de suínos e por meio da codigestão com resíduos vegetais; e (iv) avaliar os impactos da eletricidade gerada na matriz energética da região.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram coletados da literatura científica, relatórios técnicos e dos órgãos oficiais de estatística brasileiros. Os dados da produção agropecuária são referentes ao ano de 2012 e foram obtidos da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2014a) e da Pesquisa Pecuária Municipal (IBGE, 2014b), realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esses dados fornecem informações a nível municipal relativas a: (i) número de suínos; (II) área plantada por cultivo em hectares; e (iii) produção anual por cultivo em toneladas.

Os cálculos foram realizados com as seguintes equações:

2.1 Produção de dejetos suínos

$$Dej_{sui} = 365 \times N_{sui} \times dej \times p_{dej} \times 10^{-3} \quad (1)$$

Em que:

Dej_{sui} – Produção de dejetos suínos (t.ano⁻¹)

N_{sui} – Rebanho efetivo anual (ano⁻¹)

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.302-316, dez. 2015.

dej – Produção diária de dejetos ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$)

ρ_{dej} – Massa específica dos dejetos suínos ($\text{kg}.\text{m}^{-3}$).

Considerou-se os resultados obtidos por (SOUZA, et al., 2009) e (METCALF e EDDIE, 1991).

2.2 Produção de resíduos vegetais

A quantidade de resíduos de café e cana-de-açúcar disponível foi calculada considerando-se a produção anual destes cultivos.

$$Res_{\text{cultivo}} = Prod_{\text{cultivo}} \times Fres_{(\text{cultivo})} \quad (2)$$

Em que:

Res_{cultivo} – Produção de resíduos do cultivo ($\text{t}.\text{ano}^{-1}$)

$Prod_{\text{cultivo}}$ – Produção do cultivo ($\text{t}.\text{ano}^{-1}$)

$FRes_{(\text{cultivo})}$ – Fração de resíduo disponível para a codigestão (adimensional)

Foram considerados os resultados obtidos por: (MURTHY e NAIDU, 2013); (SANTOS, et al., 2012); (SOUZA, 2001) e (DE PAOLI, et al., 2011).

A quantidade disponível de resíduos dos cultivos de feijão e milho foi calculada considerando a superfície plantada anual destes cultivos.

$$Res_{\text{cultivo}} = \%remoção \text{ de resíduos do solo} \times A_{\text{cultivo}} \times R_{ha} \quad (3)$$

Em que:

Res_{cultivo} – Produção de resíduos do cultivo ($\text{t}.\text{ano}^{-1}$)

$\%$ remoção de resíduos do solo – Porcentagem de remoção de resíduos do solo (adimensional);

A_{cultivo} – Área plantada de cultivo ($\text{ha}.\text{ano}^{-1}$)

R_{ha} – Resíduo por área colhida ($\text{t}.\text{ha}^{-1}$)

Foram considerados os resultados obtidos por: (ANDREWS, 2006) e (SOUZA, et al., 2002).

2.3 Produção de biometano por dejetos suínos

$$P_{\text{bioCH}_4\text{sui}} = Dej_{\text{sui}} \times ST \times SV \times bioCH_{4\text{sui}} \quad (4)$$

Em que:

$P_{\text{bioCH}_4\text{sui}}$ – Produção de biometano a partir de dejetos suínos ($\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$)

Dej_{sui} – Produção de dejetos suínos ($\text{kg}.\text{ano}^{-1}$)

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.302-316, dez. 2015.

ST – Sólidos Totais por massa de dejetos suínos (kg de ST.kg⁻¹)

SV – Sólidos Voláteis por massa de ST (kg de SV.kg de ST⁻¹)

bioCH_{4sui} – volume de biometano por massa de sólidos voláteis (m³ de bioCH₄.kg de SV⁻¹)

Foram considerados os resultados obtidos por: (SOUZA, et al., 2009) e (ORRICO JUNIOR, et al., 2011).

2.4 Produção de biometano a partir de resíduos vegetais

$$P_{bioCH4cultivo} = Res_{cultivo} \times ST \times SV \times bioCH4_{cultivo} \quad (5)$$

Em que:

P_{bioCH4cultivo} – Produção de biometano com resíduos do cultivo (m³.ano⁻¹)

Res_{cultivo} – Produção de resíduos do cultivo (kg.ano⁻¹)

ST – Sólidos Totais por massa de resíduos (kg de ST.kg⁻¹)

SV – Sólidos Voláteis por massa de ST (kg de SV.kg de ST⁻¹)

bioCH_{4cultivo} – Volume de biometano por massa de sólidos voláteis (m³ de bioCH₄.kg de SV⁻¹)

Foram considerados os resultados obtidos por: (FISCHER et al., 2010); (PETERSSON, et al.,2007); (KTBL, 2014); (DE PAOLI, et al., 2011).

Para fins de cálculos, neste estudo, foi considerada a concentração de CH₄ no biometano igual a 100%.

2.5 Potência elétrica gerada com biometano

$$Pot_{elétrica} = PCI \times v \times \eta_{motor-gerador} \quad (6)$$

Em que:

Pot_{elétrica} – Potência elétrica, kW;

PCI – Poder Calorífico Inferior, kJ.m⁻³;

v – Fluxo de biometano, m³.s⁻¹;

η_{motor - gerador} – rendimento conjunto motor-gerador, adimensional.

Os rendimentos do conjunto motor-gerador são mostrados na Tabela 1.
R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.302-316, dez. 2015.

Tabela 1. Rendimento do conjunto motor-gerador

Produção de bioCH₄ (m³.ano⁻¹)	Rendimento (ρ)
< 165.000	0,266
165.000 < Prod < 412.000	0,299
412.000 < Prod < 824.000	0,338
824.000 < Prod < 1.645.000	0,355
> 1.645.000	0,371

Fonte: Adaptado de (PANTALEO, et al., 2013)

2.6 Eletricidade produzida

$$E_{produzida} = Pot_{elétrica} \times \Delta t \times 10^{-3} \quad (7)$$

Donde:

$E_{produzida}$ – Eletricidade produzida com biometano, MWh.ano⁻¹;

$Pot_{elétrica}$ – Potência elétrica da usina; kW;

Δt – Tempo de operação da usina, h.ano⁻¹;

Os tempos de operação, de acordo com a potência da usina, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Tempo de operação da usina

Potência elétrica da usina (kW)	Tempo de Operação (h.ano⁻¹)
< 250 kW	7.500
250 kW < P < 1000	7.800
> 1000 kW	8.000

Fonte: (PANTALEO, et al., 2013).

Utilizou-se o software de sistemas de informações geográficas Arc GIS 10.2 de ESRI para a elaboração de mapas da região com a potência elétrica gerada a partir dos resíduos agropecuários.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra a quantidade anual de resíduos agropecuários disponível na Zona da Mata de Minas Gerais.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.302-316, dez. 2015.

Tabela 3. Resíduos agropecuários disponíveis na Zona da Mata de Minas Gerais

	Suíno (t/ano)	Café (t/ano)	Feijão (t/ano)	Milho (t/ano)	Bagaço de cana (t/ano)	Palha de cana (t/ano)
Total	2.853.194,26	116.933,85	40.753,52	26.234,78	113.460,10	165.462,64

Fonte: Elaborada pelos autores

A carga poluidora dos dejetos suínos na região é igual a produzida por uma cidade de aproximadamente 3,5 milhões de habitantes (FLEMING e FORD, 2001). A Tabela 4 mostra o potencial de produção de biometano.

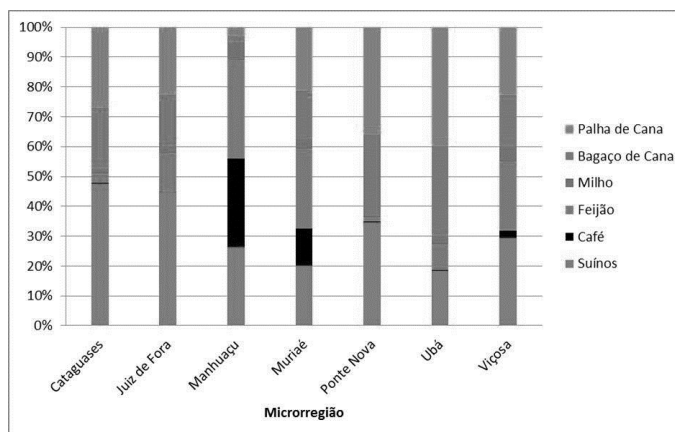
Tabela 4. Potencial de produção de biometano

Resíduo	Produção de Biometano (m³/ano)
Suíno	63.830.797
Café	5.306.926
Feijão	15.193.758
Milho	3.216.462
Bagaço de Cana	45.727.390
Palha de Cana	59.941.899
Total	193.217.233

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A Figura 2 mostra a produção de biometano por substrato nas sete microrregiões da Zona da Mata de Minas Gerais.

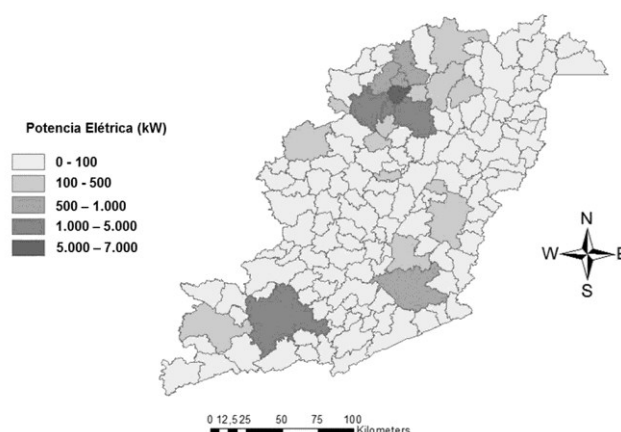
Figura 2. Produção de biometano por substrato



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Os resíduos vegetais disponíveis representam 66,96% da produção de biometano na região (palha e o bagaço de cana-de-açúcar totalizam 54,69%). A Figura 3 mostra a estimativa da potência elétrica gerada com os dejetos da suinocultura nos municípios da região da Zona da Mata de Minas Gerais.

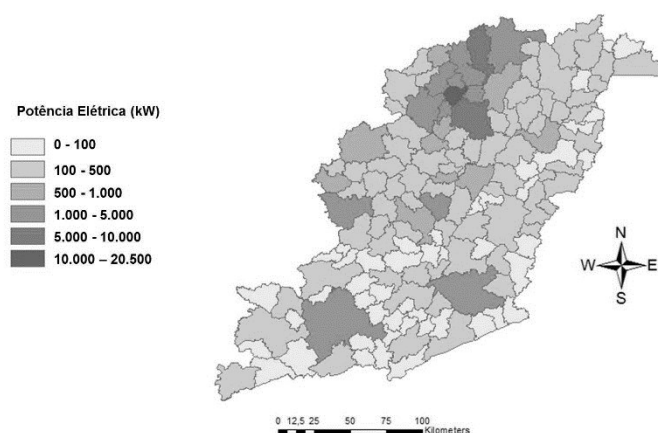
Figura 3. Estimativa da potência elétrica gerada com os dejetos da suinocultura



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A Figura 4 mostra a estimativa da potência elétrica gerada com a codigestão dos resíduos agropecuários (suínos + cultivos vegetais) nos municípios da região da Zona da Mata de Minas Gerais.

Figura 4. Estimativa da potência elétrica gerada com a codigestão dos resíduos agropecuários



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Com a codigestão anaeróbia o número de municípios com capacidade de gerar mais de 100 kW salta de 21 para 95. Este fato pode ajudar na viabilidade dos projetos de aproveitamento energético dos resíduos agropecuários na região. A Tabela 5 mostra a estimativa da potência elétrica e eletricidade geradas a partir dos resíduos agropecuários e o impacto na matriz energética regional.

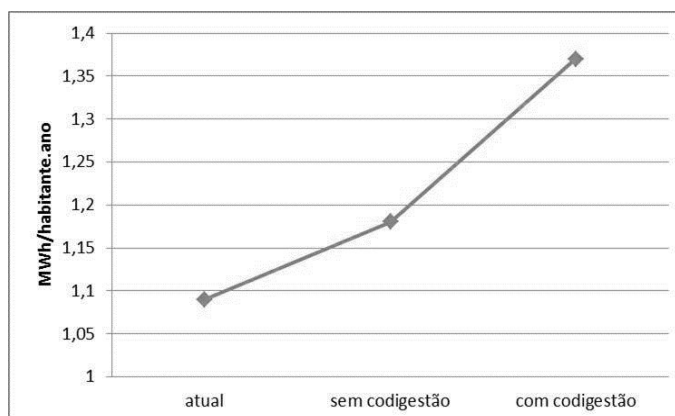
Tabla 5. Estimativa da geração de potência elétrica e eletricidade

Resíduos	Potência elétrica (MW)	Eletricidade gerada (MWh/ano)	% da capacidade hidrelétrica	% do consumo regional de eletricidade
Suíños	25,63	201.577	10,56	8,44
Suíños + Resíduos Vegetais (codigestão)	79,31	616.455	32,67	28,15

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A potência elétrica gerada com a codigestão é 3,1 vezes maior que a gerada somente com dejetos suínos. O potencial de geração de eletricidade a partir dos resíduos agropecuários chega a quase um terço da capacidade hidrelétrica instalada e mais que a quarta parte do consumo de eletricidade na região. A Figura 5 mostra a variação da eletricidade per capita com o aproveitamento dos resíduos agropecuários.

Figura 5. Eletricidade per capita com o aproveitamento de resíduos agropecuários



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A eletricidade gerada a partir dos resíduos agropecuários contribui para elevar o consumo per capita em 25,69%.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Foi estimada uma grande quantidade de resíduos agropecuários disponíveis na região. O aproveitamento energético desses resíduos pode trazer soluções ambiental e energética com reflexos positivos do ponto de vista econômico e social.
- Ocorreu um aumento do potencial de produção de biometano e do potencial de geração de energia com a codigestão anaeróbia dos dejetos de suínos e resíduos vegetais em comparação com a digestão anaeróbia de somente dejetos da suinocultura.
- O aproveitamento energético dos resíduos agropecuários pode aumentar a oferta de eletricidade na região contribuindo para o desenvolvimento regional, para a melhoria da qualidade de vida das pessoas e do índice de desenvolvimento humano.
- A eletricidade gerada a partir do biometano pode evitar a construção de novas pequenas centrais hidrelétricas na região evitando impactos ambientais e sociais.
- A fim de que o potencial energético dos resíduos agropecuários se converta em capacidade instalada serão necessárias políticas públicas claras e eficazes de incentivos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Universidad de Valladolid (UVA) por seu apoio financeiro e logístico para o desenvolvimento deste trabalho.

POTENTIAL OF ELECTRICITY GENERATION WITH CODIGESTION OF AGRICULTURAL WASTE IN THE REGION OF ZONA DA MATA, MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT

Since October 2012, the Brazilian electricity system faces problems with the low level of hydroelectric reservoirs. This scenario can lead to rationing of energy with reflections in the population quality of life and economic growth. The Zona da Mata, consisting of 142 municipalities, is one of the meso regions of Minas Gerais, where are installed a significant number of small hydropower (SHP). These facilities not necessarily bring benefits to the local population, in other words, the municipalities receive the direct burden of deployment, without receiving the bonus or compensation for environmental damage. The region is the second largest pig production center in Minas Gerais and the fifth largest producer and exporter of pork from Brazil. The generation of waste from pig farming is a serious environmental problem. The energy recovery of waste from pigs by anaerobic codigestion with residue (coffee, beans, corn and sugar cane) is an opportunity to promote environmental sanitation and increase the supply of energy. The objectives of this work were: (i) estimate agricultural and livestock wastes available in the region; (ii) estimate the biomethane production potential through anaerobic codigestion; (iii) estimate and compare the potential of generating electricity from biomethane produced from pig manure and through codigestion with vegetable waste; and (iv) assess the impacts of the electricity generated in the regional energy matrix. Was used geographic information systems software for preparing maps of the region showing the electrical power generated with wastes. Biomethane production potential was estimated at 193,217,223 m³/year, 79.31 MW of electricity and electricity generated can meet 28.15% of regional demand.

KEYWORDS: biomethane; swine; sustainable regional development.

REFERÊNCIAS

ANDREWS, S. **Crop Residue Removal for Biomass Energy Production: Effects on Soils and Recommendations**. White Paper, published online. USDA Natural Resources Conservation Service, 2006.

ANEEL. **Banco de Informações de Geração: Capacidade de Geração do Estado de Minas Gerais**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2014. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/GeracaoTipoFase.asp?tipo=5&fase=3&UF=MG:MINAS%20GERAIS>. Acesso em: 05 setembro de 2014.

ANEEL. **Resumo Geral dos Novos Empreendimentos de Geração**. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015. Disponível em:

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.302-316, dez. 2015.

<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=37&idPerfil=2>. Acesso em: 20 de março de 2015.

CEMIG. **27º Balanço Energético de Minas Gerais - BEEMG**, 2012, Ano base 2011. Companhia Energética de Minas Gerais.

COIMBRA-ARAÚJO, C. H., MARIANE, L., BLEY JÚNIOR, C., FRIGO, E.P., FRIGO, M. S., ARAÚJO, I. R. C., ALVES, H. J. **Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy**. *Renew. Sustainable Energy Rev.* 40, 826-839, 2014.

COOLS, D., MERCKX, R., VLASSAK, K., VERHAEGEN, J. **Survival of E. Coli and Enterococcus spp. Derived From Pig Slurry in Soils of Different Texture**. *Appl. Soil Ecol.* 17, 53-62, 2001.

DE PAOLI, F., BAUER, A., LEONHARTSBERGER, C., AMON, B., AMON, T. **Utilization of by-products from ethanol production as substrate for biogas production**. *Bioresource Technology*, 102 (11), 6621-6624, 2011.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2012**. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Form s/Anurio.aspx](http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Form%20s/Anurio.aspx). Acesso em 12 de junho de 2014.

FISCHER, E., SCHMIDT, T., HORA, S., GIERSDORF, J., STINNER, W., SCHOLWIN, F. **Agro-industrial biogas in Kenya, Potentials, Estimates for Tariffs, Policy and Business Recommendations**. Federal Ministry of Economics and Technology, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 2010.

FLEMING, R. AND M. FORD. **Humans versus Animals - Comparison of Waste Properties**, 2001. Disponível em: http://www.ridgetownc.uoguelph.ca/research/documents/fleming_huvsanim0107.PDF. Acesso em 21 de abril de 2015.

HASHIMOTO, A.G. **Conversion of straw-manure mixtures to methane at mesophilic and thermophilic temperatures**. *Biotechnol. Bioeng.* 25, 185–200, 1983.

HILLS, D.J., ROBERTS, D.W. **Anaerobic digestion of dairy manure and field cropresidues**. *Agric. Wastes* 3, 179–189, 1981.

IBGE, 2014a. **Pesquisa Agrícola Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=28&i=P>. Acesso em 11 de setembro de 2014.

IBGE, 2014b. **Pesquisa Pecuária Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ppm/default.asp?o=27&i=P>. Acesso em 11 de setembro de 2014.

IEA. **Key World Energy Statistics**, Internacional Energy Agency, 2013. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>, Acesso em: 25 de agosto de 2014.

KTBL. **Kuratorium fur Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft**, 2014. Disponível em: <http://daten.ktbl.de/euagrobiogasbasis/startSeite.do;jsessionid=B9227F8151EE276102038F7038DC3710?selectedAction=start>. Acesso em: 19 de setembro de 2014.

LOST DUTCHMAN COFFEE COMPANY, 2015. Disponível em: <http://lostdutchmancoffee.com/wordpress/wp-content/uploads/2012/09/Map.jpg>. Acesso em: 25 de março de 2015.

METCALF & EDDIE. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. Mc Graw-Hill, New York, 1991.

MINAS GERAIS, 2014. Disponível em: http://www.minas-gerais.net/diretorio/index.php?cat_id=763. Acesso em: 23 de agosto de 2014.

MOURA, A. D., JUNQUEIRA, B. A., ROCHA, D. T., SILVA JR. A. G. **Relatório complementar de caracterização do arranjo produtivo da suinocultura de Ponte Nova (MG) e região**. SEBRAE – MG, 16 p, 2004.

MURTHY, P. S., NAIDU M. M. **Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review**. Resources, Conservation and Recycling, Volume 66, 45-58, 2012.

NETTO, M. M., DINIZ, A. M. A. **A estagnação sócio-econômica da Zona da Mata de Minas Gerais: uma abordagem geohistórica**. X Encontro de Geógrafos da América Latina, São Paulo, 2005.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A., LUCAS JUNIOR, J. **Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido**. Eng. Agríc., 31 (2), 399-410, 2011.

OUEDRAOGO, N. S. **Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model**. Energy, 63, 28-41, 2013.

PANTALEO, A., DE GENNARO, B., SHAH, N. **Assessment of optimal size of anaerobic co-digestion plants: An application to cattle farms in the province of Bari (Italy)**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 57-70, 2013.

PAULA, A. R. P. ; CRISTOVAO, E. C. ; MIRANDA, H. P. ; AMARAL, T. O. **Vocação Energética na Zona da Mata Mineira**. XIV Encontro de Geógrafos da América Latina, Lima – Peru, 2013.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.302-316, dez. 2015.

PETERSSON, A., THOMSEN, M. H., HAUGGAARD-NIELSEN, H., THOMSEN, A. B. **Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean.** Biomass and Bioenergy, 31, 812-819, 2007.

SANTOS, F. A., QUEIRÓZ, J. H., COLODETTE, J. L., FERNANDES, S. A., GUIMARÃES, V. M., REZENDE, S. T. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol.** Química Nova, 35(5), 1004-1010, 2012.

SOUZA, S. N. M.. **Energia excedente de biomassa nas usinas de açúcar e álcool para produção de hidrogênio.** In: IV Congresso Internacional de Ingeniería Agrícola. vol.01, p.131–133, 2001.

SOUZA, S. N. M. DE, SORDI, A., OLIVA, C. A. **Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná,** 2002. 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Disponível em:

http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000200042&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 15 de Setembro de 2014.

SOUZA, C.F.; CARVALHO, C.C.S.; CAMPOS, J.A.; MATOS, A.T., FERREIRA, W.P.M. **Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação.** R. Ceres, 56, 128-133, 2009.

SUWANSRI, S., MORAN, J.C., AGGARANGSI, P., TIPPAYAWONG, N., BUNKHAM, A., RERKKRIANGKRAI, P. **A biomethane solution for domestic cooking in Thailand.** Energy Sustain. Dev. 23, 68-77, 2014.

WARR, B.S., AYRES, R.U. **Evidence of causality between the quantity and quality of energy consumption and economic growth.** Energy, 35, 1688-1693, 2010.

WEILAND P. **Biogas production: current state and perspectives.** Appl. Microbiol. Biotechnol. 85(4), 849–860, 2010.