

PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DE EFLUENTE DE FECULARIA E SUINOCULTURA ASSOCIADOS COM GLICEROL BRUTO

Carlos Alexandre Alves Pessuti^{158*}

Marcos Araujo Lins¹⁵⁹

Eliane Hermes¹⁶⁰

Dilcemara Cristina Zenatti³

Jussara Silva Berger¹⁶¹

Manoel Penachio Gonçalves¹⁶²

RESUMO

A suinocultura e os setores ligados à Mandiocultura são atividades que vem ganhando destaque no agronegócio brasileiro, acentuando sua participação nos impactos provocados ao ambiente, uma das alternativas para minimizar os efeitos causados é a digestão anaeróbia, que além de remover a carga orgânica produz o biogás. O objetivo deste estudo consistiu na digestão anaeróbia de efluente de fecularia e de suinocultura, ambos associados com glicerol bruto derivado da produção de biodiesel e o efeito desta associação sobre a remoção de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) e produção de metano. O tempo de retenção hidráulica (TRH) foi de 21 dias, com temperaturas na faixa mesófila. O inoculo utilizado foi o lodo procedente de um reator contínuo destinado à digestão anaeróbia de dejetos suínos. A adição de glicerol bruto no efluente de fecularia aumentou em 94%, a produção de metano, já para o efluente de suinocultura a maior produção de metano ocorreu no efluente sem adição de glicerol. A redução de ST e SV foi maior com a adição de glicerol, para o efluente de

¹⁵⁸ Acadêmico do Curso de Tecnologia em Biocombustíveis da UFPR – Setor Palotina – carlos_pessuti@hotmail.com

¹⁵⁹ Graduado em Tecnologia em Biocombustíveis (UFPR- Setor Palotina) - marbiocomb@gmail.com

¹⁶⁰ Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e professora da UFPR- Setor Palotina elianehermes@yahoo.com.br / dilzenatti@gmail.com

¹⁶¹ Graduada em Tecnologia em Biotecnologia (UFPR – Setor Palotina) – jussaraberger@gmail.com

¹⁶² Acadêmico do curso de Agronomia da UFPR – Setor Palotina – manoel.penachio@gmail.com

* UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR – Setor Palotina), Rua Pioneiro 2153, Jardim Dallas, CEP: 85950-000, Palotina - Paraná, campuspalotina.ufpr.br, Telefone: (44)32118574



fecularia a redução foi de 51 e 20%, respectivamente e para o efluente de suinocultura a redução foi de 20 e 22%, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: desenvolvimento sustentável; digestão anaeróbia; efluente agropecuário e agroindustrial; energia renovável.

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é uma das principais atividades econômicas do estado do Paraná. Em 2011, a agropecuária e a agroindústria foram responsáveis por 17,80% do PIB paranaense (KURESKI, et al., 2011).

A suinocultura e os setores ligados a mandiocultura, representam bem esta relevância econômica, segundo dados divulgados pelo governo do Estado do Paraná, através do Departamento de Economia Rural (DERAL), O rebanho brasileiro de suínos atingiu a marca de 36,8 milhões de cabeças em 2013, sendo que o Paraná representa 14,5% da produção nacional (SEAB; DERAL, 2015).

O Paraná é o líder brasileiro no processamento de mandioca para extração de fécula (SEAB; DERAL, 2012) que é a porção amilácea contida nas raízes e tubérculos (FILHO; FILHO 2009). Em 2012 atingiu a marca de 374 mil toneladas (CEPEA, 2013).

Em qualquer setor produtivo, a geração de efluentes e subprodutos é inevitável (PINTO et al., 2005). Esta realidade é um problema para suinocultores e as indústrias produtoras de fécula de mandioca.

A atividade suinícola gera efluentes com enorme potencial poluidor, seja pelo grande volume ou pelas características químicas do dejetos suíno, que possuem altas cargas de nutrientes (fósforo e nitrogênio), matéria orgânica, sedimentos, patógenos, metais pesados (cobre e zinco), hormônios e antibióticos (KUNZ et al., 2005). Segundo Colin et al. (2007) o processamento de 1 tonelada de mandioca gera 11 m³ de efluente e causa o mesmo impacto que a poluição provocada por 300 a 450 pessoas.

No entanto, os efluentes são formidáveis fontes de carbono, nitrogênio, vitaminas e sais minerais, tornando-os ambientes favoráveis ao desenvolvimento de bactérias anaeróbias e facultativas capazes de converter compostos orgânicos complexos em metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), processo usualmente denominado de digestão anaeróbia (LIMA et al., 2001).

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.565-575, dez. 2015.

O metano é um hidrocarboneto que a 0 °C e pressão de 1 atm, apresenta um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³, esta característica possibilita seu uso como fonte de energia elétrica e térmica (FERNANDES, 2013; RODRIGUES, 2005).

Nesta conjuntura, é pertinente pesquisar à aplicação do glicerol bruto, principal efluente gerado na produção de biodiesel como fonte suplementar de carbono, buscando o aumento na produção de metano a partir da digestão anaeróbia de efluentes, aliando o tratamento e a geração de energia renovável.

Portanto, o objetivo deste trabalho consistiu na digestão anaeróbia de efluente de fecularia e de suinocultura ambos associados com glicerol bruto derivado da produção de biodiesel e o efeito desta associação sobre a remoção de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) e produção de metano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi montado, conduzido e monitorado no Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais da Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Setor Palotina. Os parâmetros físico-químicos foram quantificados de acordo as metodologias citadas por Foresti et al. (2005). Na Tabela 1, são encontrados os parâmetros físico-químicos analisados, metodologias e equipamentos utilizados.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos analisados, metodologias e equipamentos utilizados

Parâmetro	Metodologia	Equipamentos
Sólidos totais (ST) e voláteis (SV)	Gravimetria	Balança Analítica; Estufa com circulação de ar e Mufla
Alcalinidade total (AT) e Acidez (AGV)	Titulometria	Centrífuga; pHmetro; agitador magnético e bureta
Nitrogênio amoniacal (NNH ₄ ⁺)	Kjeldahl	Destilador de nitrogênio marca Tecnal
pH	Potenciometria	pHmetro MPA 210

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Os efluentes não passaram por nenhum tipo de tratamento. O efluente de fecularia foi coletado na Amidonaria da Cooperativa Agroindustrial C. Vale, unidade de São José, situada em Terra Roxa – PR. O dejetos suíno foi recolhido numa propriedade suinícola localizada na zona rural de Palotina – PR. O glicerol bruto é oriundo da produção de biodiesel da empresa BSBIOS, localizada em Marialva – PR. R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.565-575, dez. 2015.

Os reatores utilizados eram tipo batelada de cloreto de polivinila (PVC) com volume total de 2.100 cm³, dos quais, 1.575 cm³ foram preenchidos com efluentes. O volume de glicerol adicionado foi definido com o objetivo de aproximar as cargas orgânicas dos efluentes, sendo 12 mL (0,8% v/v) no efluente de fecularia e 11 mL (0,75% v/v) no efluente de dejetos suíno. As concentrações finais de SV ficaram 16.034 mg L⁻¹ e 15.808 mg L⁻¹, respectivamente.

O tempo de retenção hidráulica (TRH) foi de 21 dias, com temperaturas na faixa mesófila. O inóculo foi o lodo procedente de um reator contínuo destinado à digestão anaeróbia de dejetos suíno. Os tratamentos não foram simultâneos, sendo os primeiros com adição de glicerol bruto, entre os dias 07/04 a 28/04/2014 e o segundo sem glicerol, entre os dias 30/04 a 21/05/2014.

Para quantificação da produção de metano, utilizou-se um sistema igual ao descrito por Foresti et al. (2005). Neste sistema, a saída de gás do reator é conectada a uma mangueira de silicone, e esta, a um recipiente com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 50 g L⁻¹ e pH 12. Outra mangueira de silicone, conectada a solução de NaOH, liga o frasco à uma pipeta de 25 mL, desta maneira, o volume dos gases gerados no reator entra no frasco e desloca a coluna de solução de NaOH na pipeta, enquanto o CO₂ e o ácido sulfídrico (H₂S) são absorvidos pela solução de NaOH.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das caracterizações físico-químicas iniciais do efluente de fecularia, efluente de dejetos suíno e glicerol, são encontrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das caracterizações físico-químicas do efluente de fecularia, efluente de dejetos suíno e glicerol

Parâmetros	Efluente fecularia	Efluente dejetos suíno	Glicerol bruto
ST (mg L ⁻¹)	12.377	17.256	827.747
SV (mg L ⁻¹)	9.710	10.456	782.187
AT (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	169,4	5.200,10	-
AGV (mg HAc L ⁻¹)	1.491,80	5.945,20	-
pH	5,85	7,81	-
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	215,0	2.523,50	-

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Segundo Sampaio et al. (2007), os ST compreendem as substâncias ou partículas que encontram-se dissolvidas e em suspensão no líquido e são divididas em SV que representam a fração orgânica e SF correspondente a fração inorgânica.

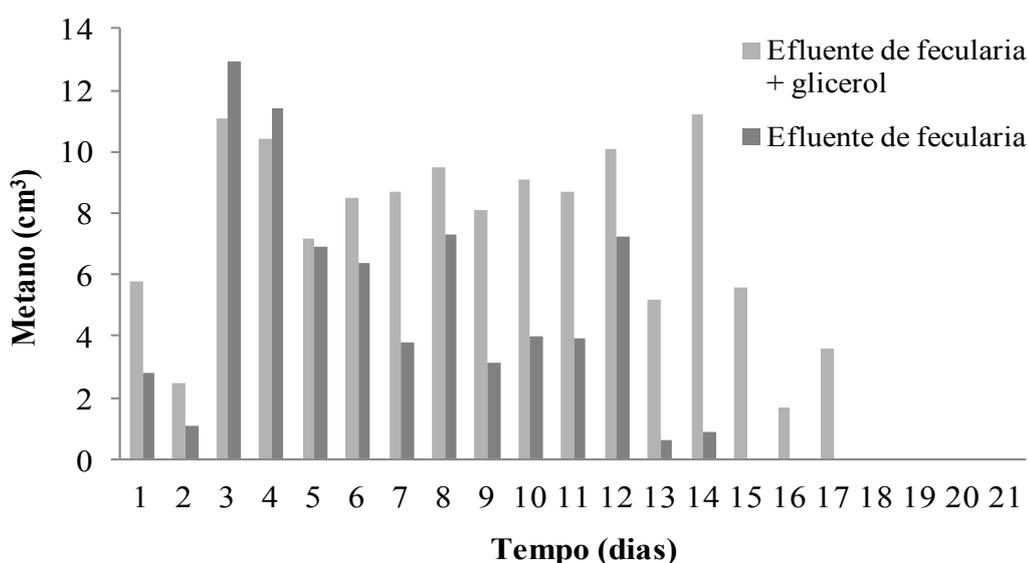
A alcalinidade total (AT) e a concentração de ácidos graxos voláteis (AGV) indicam a capacidade tampão do efluente. Segundo Pereira et al. (2009), valores de pH próximos a 5,00 é indicativo de que aproximadamente 50% dos AGV presentes no material estão na sua forma não ionizada, sendo esta, tóxica para as bactérias metanogênicas.

Para as bactérias metanogênicas, a faixa de pH ótima situa-se entre 7,00 e 8,00 e das bactérias acidogênicas varia entre 5,00 e 6,00 (FERNANDES, 2013; RODRIGUES, 2005).

A concentração de nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) favorável para a microbiota responsável pela acidogênese e metanogênese deve estar abaixo de 200 mg.L^{-1} (LIU; SUNG, 2002), citado por Martinho (2013).

A geração de metano da digestão anaeróbia do efluente de fecularia com e sem adição de glicerol é representada na Figura 1.

Figura 1 – Geração de metano do efluente de fecularia com e sem adição de glicerol bruto



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A digestão anaeróbia do efluente de fecularia associado com glicerol totalizou 127 cm^3 de metano, sendo esta a melhor produção geral, já a digestão anaeróbia do R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.565-575, dez. 2015.

mesmo efluente sem glicerol apresentou uma menor produção de metano, 65,42 cm³ no total.

Analisando a produção de metano gerada pela digestão anaeróbia do efluente de fecularia associado com glicerol, nota-se um aumento considerável na produção de metano a partir do 3° dia com relativa estabilidade até o 12° dia, seguido por uma produção irregular e parada no 17° dia.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados das análises realizadas no final dos tratamentos do efluente de fecularia com e sem adição de glicerol.

Tabela 3 – Caracterização final do efluente de fecularia após 21 dias de digestão anaeróbia

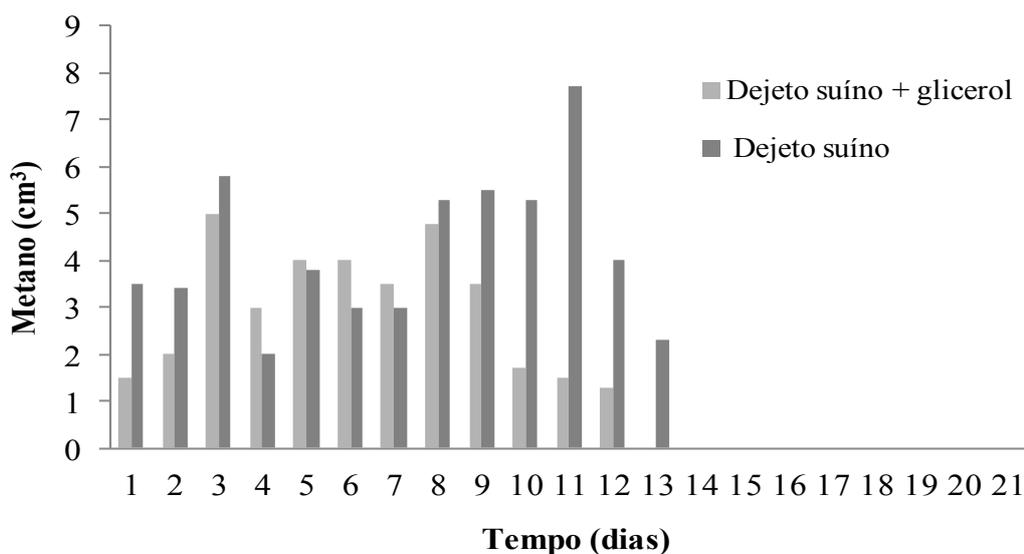
Parâmetro	Efluente de fecularia + glicerol	Efluente de fecularia
Remoção de ST (%)	53	35
Remoção de SV (%)	72	60
AT (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	-	1.387,10
AGV (mg HAc.L ⁻¹)	2.294,00	2.977,80
pH	5,48	6,90

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A digestão anaeróbia do efluente de fecularia associado com glicerol apresentou maior redução de ST e SV comparado ao tratamento sem adição do glicerol. O valor do pH do efluente de fecularia sem adição de glicerol estava dentro da faixa considerada ideal para o processo de digestão anaeróbia e desenvolvimento dos micro-organismos (KUNZ, 2010). O pH do efluente de fecularia com adição de glicerol indica que em torno de 50% dos AGV estavam na sua forma não ionizada, que é tóxica para os micro-organismos (PEREIRA *et al.*, 2009).

Na Figura 2 é representada a produção de metano gerado a partir da digestão anaeróbia do efluente de dejetos suínos com e sem adição de glicerol.

Figura 2 – Geração de metano do efluente de dejetos suíno com e sem adição de glicerol.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A produção de metano procedente da digestão anaeróbia do efluente de dejetos suínos associado com glicerol atingiu um valor inferior ao efluente sem a adição de glicerol $35,8 \text{ cm}^3$ e a digestão anaeróbia sem glicerol gerou $54,6 \text{ cm}^3$. Backes (2011), ao adicionar 6% (v/v) de glicerol na digestão anaeróbia de dejetos suínos, observou aumento na produção de biogás com maior teor de metano.

Na Tabela 4, são apresentados os resultados das análises realizadas após 21 dias de digestão anaeróbia do efluente de dejetos suínos com e sem adição de glicerol.

Tabela 4 – Caracterização final do dejetos suínos após 21 dias de digestão anaeróbia

Parâmetro	Efluente dejetos suínos + glicerol	Efluente dejetos suínos
Remoção de ST (%)	30	25
Remoção de SV (%)	44	36
AT ($\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$)	5.102,20	4.918,10
AGV (mg.HAc.L^{-1})	5.242,10	3.722,10
pH	7,98	8,13

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

A digestão anaeróbia do dejetos suínos associado com glicerol apresentou maior redução de ST e SV comparado ao tratamento sem adição do glicerol.

Backes (2011), concluiu que o aumento de matéria orgânica ocasionado pela adição de glicerol bruto nos dejetos suínos e dejetos bovinos de leite acarretou numa

sobrecarga na demanda química de oxigênio (DQO) e carbono orgânico dissolvido (COD), atenuando a degradação da matéria orgânica, sendo esta uma possível causa da menor remoção de ST e SV obtidos na digestão anaeróbia do efluente de dejetos suíno associado com glicerol comparado a digestão anaeróbia do mesmo efluente sem adição de glicerol.

A partir dos parâmetros físico-químicos apresentados na Tabela 3 e 4, é possível observar que houve acidificação nos tratamentos com adição de glicerol, sendo este um provável motivo da interrupção na geração de metano. Segundo Pereira et al. (2009) as bactérias fermentativas produzem 8 vezes mais AGV do que as bactérias metanogênicas consomem, causando a elevação da concentração de AGV no meio.

A capacidade tampão do efluente é primordial para a evolução satisfatória da digestão anaeróbia e produção de metano e está relacionada ao equilíbrio da acidogênese e metanogênese (FORESTI et al., 2005). A duração elevada da acidogênese ocasiona o acúmulo de AGV consumindo a alcalinidade, tornando o efluente suscetível a variações bruscas do pH, coibindo o desenvolvimento das bactérias metanogênicas produtoras de metano (RODRIGUES, 2005). A remoção da fração sólida e formação do metano é resultante da descarboxilação do ácido acético por obra das bactérias metanogênicas acetotróficas e redução do CO₂ realizada pelas bactérias metanogênicas hidrogenotróficas (MARTINHO, 2013).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A digestão anaeróbia do efluente de fecularia associado com glicerol gerou a maior quantidade de metano e o maior percentual de remoção de SV, com 127 cm³ de metano e 72% de remoção de SV. A produção de metano foi 94% maior comparado à digestão anaeróbia do mesmo efluente sem adição de glicerol.

A digestão anaeróbia do efluente de dejetos suíno associado com glicerol proporcionou menor produção de metano comparado com o mesmo efluente sem a adição de glicerol, porém, a remoção de ST e SV foi maior com a adição de glicerol.

A captação e o uso do metano resultante da digestão anaeróbia de efluentes como fonte de energia renovável é uma estratégia harmoniosa e essencial para o desenvolvimento sustentável.

METHANE PRODUCTION OF WASTE FROM FECULARIA AND SWINE ASSOCIATED WITH CRUDE GLYCEROL

ABSTRACT

The pig industry and sectors related to cassava are activities, which is gaining, in Brazilian agribusiness, enhancing their participation in impacts to the environment; one of the alternatives to minimize the effects caused is anaerobic digestion, which besides removing the organic load produces biogas. The objective of this study was the anaerobic digestion of swine effluent and starch manufacturer, both associated with raw glycerol derived from biodiesel production and the effect of this combination on the removal of total solids (TS) and volatile (VS) and methane production. The hydraulic retention time (HRT) was 21 days, with temperatures in the mesophilic range. The inoculum used was founded sludge in a continuous reactor for the anaerobic digestion of swine manure. The addition of crude glycerol in the wastewater of cassava industry increased by 94%, methane production, as for the swine effluent most methane production occurred in the effluent without addition of glycerol. The reduction of TS and VS was increased with the addition of glycerol, to the starch manufacturer effluent reduction was 51 and 20%, respectively, and for swine effluent the reduction was 20 and 22%, respectively

KEYWORDS: sustainable development; anaerobic digestion; agricultural and agro-industrial effluent; renewable energy.

REFERENCIAS

BACKES, M. G. **Avaliação do processo de digestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta oriunda da produção de biodiesel.** Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento). Lajeado, 2002.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Relatório PIB Agro – Brasil.** 07/2013. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_PIB_BR_jul13.pdf>. Acesso em 05/07/2014.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.565-575, dez. 2015.

COLIN, X.; FARINET, J.L.; ROJAS, O.; ALAZARD, D. Anaerobic treatment starch of cassava extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.98, n.8, p.1.602-1.607, 2007.

FERNANDES, C. H. R. **Biodegradabilidade termofílica dos resíduos sólidos urbanos e potencialidades em biogás**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente). Universidade de Lisboa, Lisboa 2013.

FILHO, J. C. T.; FILHO, N. A.; **Produção de amostras de amido catiônico e realização de testes de floculação**. Encontro de Produção Científica e Tecnologia. IV EPCT 20 a 23 de outubro de 2009.

FORESTI, E.; ZAIAT, M.; MORAES, E. de M.; ADORNO, T. A. M.; PAIM, A. P.; RODRIGUES, J. A. D.; RATUSZNEI, M. S.; DO CANTO, S. C.; DAMASCENO, L. H. S.; BORZANI, W. **Métodos e análises físico-químicas de rotina de águas residuárias tratadas biologicamente**. Instituto Mauá de Tecnologia, USP. São Paulo, 2005.

KUNZ, A; HIGARASHI, M. M; OLIVEIRA, P. de A; Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 22, n. 3, p. 651-665, set./dez. 2005.

KURESKI, R.; MAIA, K.; RODRIGUES, R. L. O produto interno bruto do agronegócio paranaense. **Rev. Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 9, n. 3, p. 292-312, set-dez/2013, Taubaté - SP, Brasil.

LIMA, U. de A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial - Processos fermentativos e enzimáticos**, v. 3, cap. 9, p. 199 – 203, São Paulo: Blucher, 2001.

MARTINHO, F. H. C. **Codigestão anaeróbia de resíduos de abatedouro de bovinos**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Aquidauana – MS, fev. 2013.

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.565-575, dez. 2015.

PELCZAR Jr, M. J.; CHAN, E. C.S.; KRIEG, N.R. **Microbiologia; Conceitos e aplicações**, v.1, p. 146, São Paulo: Makron Books, 2001.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, v. 4, n.3, 2009.

PINTO, G. A.S.; BRITO, E. de SOUSA. ANDRADE, A. M. R.; FRAGA, S. L. P.; TEIXEIRA; R. B. **Fermentação em estado sólido: Uma alternativa para o aproveitamento e valorização de resíduos agroindústrias tropicais**. Embrapa, 2005.

RODRIGUES, A. A. L. de S. **Codigestão anaeróbia de resíduos de natureza orgânica**. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos). Universidade de Aveiro. Aveiro, 2005.

SAMPAIO, S. C.; SILVESTRO, M. G.; FRIGO, E. P.; BORGES, C. M. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. **Irriga**, v. 12, n. 4, p. 557 – 562. Botucatu, 2007.

SEAB; DERAL. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Valor Bruto da Produção Rural Paranaense 2012**. 02/2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/VBP12com.pdf>> Acesso em: 06/07/2015.

SEAB; DERAL. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Suinocultura - Panorama Paranaense 2013**. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=185>. Acesso em: 06/07/2015.