

## XI-097 - OBTENÇÃO DE BIOGÁS POR DIGESTÃO ANAERÓBIA DE AGUAPÉ PROVENIENTE DE WETLAND CONSTRUÍDA

**Érika Rabello Moretti<sup>(1)</sup>**

Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Mestra em Tecnologia pela Unicamp. Tecnóloga em Saneamento Ambiental pela Unicamp.

**Julyenne Meneghetti Campos**

Doutoranda e Mestra em Engenharia Agrícola pela Unicamp. Tecnóloga em Saneamento Ambiental pela Unicamp FT/Unicamp.

**José Teixeira Filho**

Livre-Docente na Universidade Estadual de Campinas. Doutor em Gestão de Recursos Hídricos pela Université Montpellier 2 - Sciences et Techniques. Mestre em Hydrologie Science de l'Eau Et Aménagement pela Université Montpellier 2 - Sciences et Techniques e Mestre pela Escola Politécnica/USP.

**Denis Miguel Roston**

Professor doutor associado da Unicamp. Doutorado em Engenharia Civil no Programa Engenharia Ambiental pelo Colorado State University System. Mestre em Engenharia Agrícola pela Unicamp e Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos.

**Ariovaldo José da Silva**

Professor doutor do Departamento de Água e Solos da Feagri/Unicamp. Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Cândido Rondon, 501 – Barão Geraldo – Campinas-SP - CEP: 13082-875 – Brasil – Tel: +55 (19) 3521-1121 - e-mail: erika.moretti@feagri.unicamp.br

### RESUMO

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento que degrada matéria orgânica na ausência de oxigênio, que pode ser utilizada para produção de biogás. Após tratamento adequado, este biogás pode ser utilizado como substituto ao gás natural e como fonte de energia renovável. *Wetlands* construídas são sistemas naturais de tratamento de águas residuárias que utilizam macrófitas aquáticas para remover matéria orgânica e nutrientes. A vegetação utilizada em *wetlands* construídas tem rápido crescimento e geram grande quantidade de biomassa, como exemplo podemos citar a *Eichhornia crassipes* (aguapé), que possui tempo de duplicação entre 13 e 20 dias. Desta maneira, uma das grandes desvantagens de *wetlands* é a grande geração de biomassa vegetal que necessita ser podada. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou a produção de biomassa vegetal de aguapé (*Eichhornia crassipes*) gerada em uma wetland construída que tratou águas residuárias da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, e sua posterior produção de biogás por meio de digestão anaeróbia. Os resultados indicaram que a *Eichhornia crassipes* possui alta produtividade de biomassa verde, porque os resultados indicaram rendimento médio de 600 L de biogás (kg SVsubstrato)<sup>-1</sup> quando uma relação substrato/inóculo de 0,5 g SVsubstrato.(g SVinóculo)<sup>-1</sup> foi aplicada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Produção de biogás, resíduo de leite cultivado, *Eichhornia crassipes*, geração de biomassa.

### INTRODUÇÃO

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento no qual atuam micro-organismos que degradam a matéria orgânica na ausência de oxigênio. Sua aplicação é notória pois é um processo robusto que opera a custos relativamente baixos e, a partir dela, pode-se gerar biogás. Este biogás, depois de tratado, pode ser utilizado como substituto ao gás natural e fonte de energia renovável, sendo aplicado para a produção de calor, eletricidade e combustível veicular (LIN, 2012).

Por outro lado, wetlands construídas, ou *constructed wetlands* (CW), são sistemas naturais de tratamento de águas residuárias que utilizam macrófitas aquáticas capazes de remover, pelo biofilme aderido às raízes e meio suporte, matéria orgânica, nitrogênio e fósforo entre outros nutrientes. Esses sistemas são considerados alternativas para o tratamento de água ou esgoto em regiões sem acesso aos tratamentos convencionais porque

são econômicos, têm simples operação e requerem pouca manutenção (KIM E KWON, 2006; LIN, 2012). Além disso, proporcionam habitat para espécies animais, incorporando-se à paisagem local, o que pode aumentar a aceitação pela população (MATEUS et al., 2014; ZURITA et al., 2011; ITRC, 2003; USEPA, 1988).

Geralmente, as vegetações aplicadas em CW tem rápido crescimento e geram grande quantidade de biomassa. A *Eichhornia crassipes* (aguapé), por exemplo, possui tempo de duplicação entre 13 e 20 dias (CHAVAN e DHULAP, 2012; LORENZI e SOUZA, 2001) enquanto a *Lemna gibba* (lentilha-d'água) duplica-se entre 1,9 e 5,3 dias (KIM e KWON, 2006). No experimento de Leto et al. (2013), a *Typha latifolia* L. (taboa) e a *Cyperus alternifolius* L. (sombrinha chinesa) produziram mais de 7 e 5 kg m<sup>-2</sup>ano<sup>-2</sup> de biomassa seca, respectivamente.

Assim, uma das grandes desvantagens de CW é a grande geração de biomassa vegetal que necessita ser podada, pois, com o início da senescência, as macrófitas devolvem os nutrientes ao meio, levando à diminuição da qualidade da água residuária efluente à wetland (LETO et al., 2013). Após a poda a biomassa torna-se resíduo, precisando ter destinação adequada e por isso há estudos sobre seu uso para a produção de biogás (LIN, 2012; SINGHAL e RAI, 2003).

LIN (2012), por exemplo, avaliou a aplicação de biomassa de *Phragmites australis* (caniço) como co-substrato de digestão anaeróbia, inoculada com esterco bovino digerido. O trabalho estimou a possibilidade de produzir biogás em quantidade suficiente para suprir oito ônibus com rodagem anual de 8.000 km aproveitando-se a biomassa produzida nos 100 hectares de wetlands plantadas do município de Halmstad, Suécia.

Nesse contexto, o presente trabalho avaliou a produção de biomassa vegetal de aguapé (*Eichhornia crassipes*) gerada em uma wetland construída, que tratou águas residuárias da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) da Unicamp, campus Campinas-SP, e sua posterior produção de biogás por meio de digestão anaeróbia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O aguapé utilizado cresceu em uma CW de fluxo subsuperficial horizontal utilizando brita nº 2 como meio suporte. O sistema possui 2,3 m<sup>3</sup> e foi abastecido com água residuária formada pela junção de todo esgotamento sanitário oriundo dos prédios administrativo, salas de aula, laboratórios, oficina, cozinha e cantina da Feagri/Unicamp. A CW realizou o tratamento terciário desta água residuária e operou durante 163 dias consecutivos, conforme Campos (2014), no início dos quais mudas da *Eichhornia crassipes* foram plantadas.

Após o corte, separaram-se as raízes da parte aérea das plantas obtendo-se a quantificação da produção de biomassa avaliada em termos de umidade, peso fresco e peso seco (BOARETTO et al., 2009). As amostras de ambas as partes, depois de reagrupadas respeitando-se as proporções naturais, foram caracterizadas quanto ao seu conteúdo de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) (APHA, 2005).

O aguapé coletado na CW foi então digerido anaerobiamente seguindo a norma alemã VDI 4630 (VDI, 2006). Os reatores de 500 mL foram conectados a eudiômetros de vidro preenchidos com ácido, permitindo a medição do volume de biogás por deslocamento de líquido, sendo reportados nas condições padrão de temperatura e pressão (0°C e 1 atm). O preenchimento com ácido garante que o líquido em seu interior não absorva CO<sub>2</sub> também produzido pela digestão anaeróbia. Assim, são reportados aqui os volumes de biogás produzido, não diferenciando-se a quantidade de cada gás produzido.

Como inóculo utilizou-se lodo oriundo de reator anaeróbio compartimentado tratando efluente de bovinocultura de leite instalado na Unidade Educativa de Produção de Bovinocultura de Leite do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) – Campus Inconfidentes (SILVA et al., 2013). O inóculo foi caracterizado quanto a ST e SV, sendo colocados nos reatores 2% de SV (em volume).

Foi aplicada uma relação de sólidos voláteis do substrato-aguapé/inóculo de 0,5 g SV<sub>substrato</sub> (g SV<sub>inóculo</sub>)<sup>-1</sup> conforme a referida norma (VDI, 2006). Também foram utilizados reatores controle apenas com inóculo para fim de comparação. Todos os reatores com as três réplicas tiveram seus volumes completados com água destilada para atingir um volume de trabalho de 450 mL.

Preparados e acoplados aos eudiômetros de vidro, os reatores permaneceram em banho-maria a 37° C até observar-se diminuição na produção de biogás. Diariamente os frascos eram cuidadosamente agitados manualmente para desprendimento de bolhas de gás e também para maior contato do substrato e do inóculo, evitando-se também estratificação de temperatura. Após a agitação, faziam-se leituras dos volumes de biogás produzido. A partir da coleta diária do volume de biogás produzido, foram obtidos dados relativos ao volume acumulado e ao rendimento de biogás em relação à quantidade de SV em digestão.

## RESULTADOS

Na Figura 1 observa-se o gradativo crescimento vegetativo do aguapé desde o plantio (Figura 1a), passando pela floração (Figura 1g) até o 79º dia de cultivo (Figura 1h). A coleta foi realizada após 163 dias de operação da CW.



**Figura 1. Desenvolvimento vegetativo do aguapé na wetland construída.**

Fonte: Adaptado de Campos (2014).

Legenda: Foto da wetland construída após (a) o plantio; (b) 15 dias; (c) 22 dias; (d) 29 dias; (e) 41 dias; (f) 56 dias; (g) 70 dias – primeira floração; (h) 79 dias de manutenção.

Após cinco meses de desenvolvimento, foram produzidos 53,7 kg e 27,8 kg de biomassa verde pela CW, levando em conta a parte aérea e radicular da planta respectivamente; resultando em uma produção total de massa fresca de 18,5 kg.m<sup>-2</sup>. Foram separados e secos em estufa 704,99 g de parte aérea e 713,99 g de sistema radicular, obtendo-se 10,4 kg de biomassa seca de *Eichhornia crassipes* (CAMPOS, 2014). Na Tabela 1 estão os resultados da produção de biomassa e teor de umidade calculada para a CW.

**Tabela 1. Teor de umidade e biomassa produzida pelo aguapé na wetland construída.**

	Biomassa verde	Biomassa seca	Umidade (%)
<b>Parte aérea (kg)</b>	53,7	5,6	89,6
<b>Sistema radicular (kg)</b>	27,8	4,8	82,8
<b>Total (kg)</b>	81,5	10,4	-
<b>Densidade (kg.m<sup>-2</sup>)</b>	18,5	2,4	-
<b>Produtividade (kg.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>)</b>	0,11	0,01	-

Fonte: Adaptado de Campos (2014).

Tham (2012) estudou o desenvolvimento de aguapé em uma lagoa e em um rio, obtendo uma produtividade de 400 kg.ha<sup>-1</sup>.semana<sup>-1</sup> de massa seca, e uma composição de 81 g.kg<sup>-1</sup> de massa seca, levando em consideração apenas a parte aérea. Mees et al. (2009) reportou uma produção, após 11 meses, de 28 toneladas de aguapé em uma área de 0,087 ha tratando efluente de frigorífico durante onze meses, resultando em aproximadamente 32,2 kg.m<sup>-2</sup>, com umidade de 83,7% no aguapé, apoiando os dados deste estudo. Após dois meses de experimento Mees et al. (2009) obtiveram uma densidade de 28 kg.m<sup>-2</sup>, maior produtividade do que neste trabalho provavelmente pelo fato do efluente proveniente de frigorífico ser mais rico em nutrientes do que o

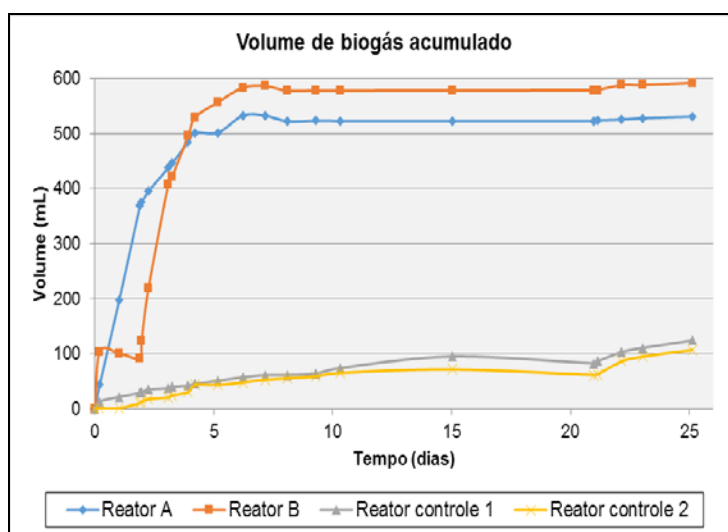
esgoto doméstico no qual o aguapé aqui utilizado cresceu. De acordo com Vymazal e Kröpfelová (2008) a porcentagem de biomassa do sistema radicular em relação à biomassa total deve estar entre 10 e 56%, e os resultados obtidos corroboram com essa afirmação, pois a porcentagem de sistema radicular da CW foi de 34,1%.

Apesar de o aguapé ser uma planta invasiva de rápido crescimento e causadora de problemas em rios e lagos eutrofizados, seu uso pode ser interessante em wetlands construídas. De acordo com Lorenzi e Souza (2001) o aguapé é uma planta ornamental, o que pode aumentar a aceitação do sistema de tratamento de águas residuárias que o aplique. No entanto a necessidade de retiradas periódicas desta biomassa pode dificultar o tratamento uma vez que esta se tornará resíduo do processo.

Porém resíduo de aguapé pode ser aproveitado obtendo-se rendimentos econômicos a partir dele, como por exemplo no estado de Mato Grosso do Sul (Brasil), onde seus pecíolos são utilizados para artesanato em uma comunidade (BORTOLOTO e NETO, 2005). Além disso, diversas pesquisas estão estudando o uso do aguapé e outras macrófitas para a produção de biogás e biocombustível (BULLER, et al., 2013; BERGIER et al., 2012; WANG e CALDERON, 2012; MAHMOOD et al., 2010) e também na alimentação animal (THAM, 2012; LU et al., 2008).

O aguapé utilizado na digestão anaeróbia do presente trabalho apresentou 826,17 g de SV kg<sup>-1</sup> em base seca. Após 25 dias de digestão anaeróbia os reatores em batelada com relação substrato/inóculo de 0,5 g SV<sub>substrato</sub> (g SV<sub>inóculo</sub>)<sup>-1</sup> (Reatores A e B – Figura 2) apresentaram entre 530 e 580 mL de biogás acumulado no período. Esta produção foi expressivamente maior que a dos reatores controle, os quais continham apenas o lodo utilizado como inóculo, ou seja, o biogás produzido a partir da adição do aguapé superou o produzido pela autodegradação do inóculo.

Com relação ao rendimento de metano, a presença do aguapé na digestão anaeróbia resultou entre 590 e 650 mL e biogás para cada grama de sólidos voláteis em digestão.



**Figura 2. Volume de metano (mL) acumulado a partir da digestão anaeróbia de aguapé.**

Mahmood et al. (2010) também utilizaram a *Eichhornia crassipes* contaminada com metais (Ni e Co) para a produção de biocombustíveis. Quando passou por fotocatalise com dióxido de titânio, sendo exposto à luz solar por seis horas durante três dias, o aguapé produziu 53% de metano, 37% de metanol e 10% de etanol, embora não tenham citados os volumes produzidos. No entanto, no trabalho de Singhal & Rai (2003) a obtenção de biogás foi de 23,65 L kg<sup>-1</sup> de massa seca quando a planta originou-se de tratamento de efluente de papel e celulose diluído a 20%.

Também Singhal & Rai (2003) relataram a produção de biogás da flutuante *Eichhornia crassipes* empregada para tratamento de efluente de papel e celulose rico em lignina e metal; e de destilaria com pH ácido. Ela cresceu por 45 dias em efluente diluído a 20% e a 40% pois não conseguiram sobreviver aos efluentes



concentrados. A seguir foi digerida anaerobiamente para a obtenção de biogás. A digestão da *Eichhornia crassipes* cultivada com efluente de papel a 20% resultou em maior produção de biogás num total de 23,65 L kg<sup>-1</sup> de massa seca, seguido dos cultivos em 20% de efluente de destilaria, 40% de efluente de papel e celulose, 40% de efluente de destilaria e controle com água deionizada cuja produção total foi de 15,40 L kg<sup>-1</sup> de matéria seca.

Desta forma os presentes resultados corroboram com a literatura, reforçando a aplicabilidade do uso de wetlands construídas para o tratamento de águas residuais, uma vez que o aguapé, tem grande potencial de uso posterior para produção de bioenergia. No entanto, as diferenças de rendimento podem ser devidas tanto à idade da planta como ao efluente na qual foram cultivadas, o que pode influenciar na composição e concentração dos nutrientes, resultando em maior ou menor produção de biogás.

## CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que a *Eichhornia crassipes* possui alta produtividade de biomassa verde, sendo uma macrófita interessante para utilização em wetlands construídas, porque os resultados de sua digestão anaeróbia indicam que o aguapé tem potencial para produção de biogás com rendimento médio de 600 L de biogás (kg SVsubstrato)<sup>-1</sup> quando uma relação substrato/inóculo de 0,5 g SVsubstrato.(g SVinóculo)<sup>-1</sup> é aplicada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelas bolsas de estudo, ao CNPq pelas bolsas de estudo e auxílio financeiro, ao FAEPEX pelo auxílio financeiro concedido e à CPG da Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION; EATON, A. D.; et al. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". 21 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.
2. BERGIER, I.; SALIS, S. M.; MIRANDA, C. H. B.; ORTEGA, E.; LUENGO, C. A. Biofuel production from water hyacinth in the Pantanal wetland. *Ecohydrology & Hydrobiology*. v. 12, n. 1, p. 77 – 84, 2012.
3. BOARETTO, A. E.; VAN RAIJ, B.; SILVA, F. C.; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2.<sup>a</sup> ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
4. BORTOLOTTI, I. M.; NETO, G. G. O uso do camalote, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, Pontederiaceae, para confecção de artesanato no Distrito de Albuquerque, Corumbá, MS, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. v. 19, n. 2, p. 331 – 337, 2005.
5. BULLER, L. S.; BERGIER, I.; ORTEGA, E.; SALIS, S. M. Dynamic energy valuation of water hyacinth biomass in wetlands: an ecological approach. *Journal of Cleaner Production*. v. 54, p. 177 – 187, 2013.
6. CAMPOS, J. M. *Eficiência de sistemas de leitos cultivados com Eichhornia crassipes na retenção de poluentes convencionais e o emergente 17- $\alpha$ -etinilestradiol*. 257f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
7. CHAVAN, B. L.; DHULAP, V. P. Treatment of Sewage through Phytotechnological Studies with Constructed Wetland Using *Eichhornia crassipes*. *Journal of Environmental Research And Development*. v. 7, n. 2, p. 660 – 667, oct./dec. 2012.
8. INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL. *Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands*. Washington, D. C., U.S.A. 128p. 2003.
9. KIM, B. U. & KWON, J. H. Treatment of high-concentration swine wastewater by anaerobic digestion and aquatic plant system. *Environmental engineering Research*, v.11, p.134 – 142, 2006.
10. LETO, C. et al. Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy). *Ecological Engineering*, v.61, p.282 – 291, 2013.
11. LIN, S. *Wetland biomass - Chemical Benefits and Problems with Biogas Usage*. 18p. Thesis (Master's in Applied Environmental Science) – School of Business and Engineering, Halmstad University, Sweden, 2012.

12. LORENZI, H.; SOUZA, H. M. *Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras*. 1.088p. 3.<sup>a</sup> ed. Editora Plantarum. Nova Odessa, 2001.
13. LU, J.; FU, Z.; YIN, Z. Performance of a water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) system in the treatment of wastewater from a duck farm and the effects of using water hyacinth as duck feed. *Journal of Environmental Sciences*. v. 20, p. 513 – 519, 2008.
14. MAHMOOD, T.; HUSSAIN, S. T.; MALIK, S. A. New nanomaterial and process for the production of biofuel from metal hyper accumulator water hyacinth. *African Journal of Biotechnology*, v.9, p.2381 – 2391, 2010.
15. MATEUS, D. M. *et al.* Sugarcane as constructed wetland vegetation: Preliminary studies. *Ecological Engineering*, v.62, p.175-178, 2011.
16. MEES, J. B. R.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A.; FAZOLO, A.; SAMPAIO, S. C. Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using *Eichhornia crassipes* and evaluation of the generated biomass composting. *Engenharia Agrícola*. v. 29, n. 3, p. 466 – 473, jul./set. 2009.
17. SINGHAL, V.; RAI, J. P. Biogas production from water hyacinth and channel grass used for phytoremediation of industrial effluents. *Bioresource Technology*, v. 86, p. 221 – 225, 2003.
18. SILVA, E. M. *et al.* Avaliação da eficiência no tratamento de efluente de bovinocultura de leite em reator anaeróbio compartimentado seguido de wetland construído. In: Simpósio Brasileiro de Wetlands construídos no Tratamento de Águas Residuárias, 1, 2013, Florianópolis/SC, *Anais...* Florianópolis/SC, p. 219-228, 2013.
19. THAM, H. T. *Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) – Biomass Production, Ensilability and Feeding Value to Growing Cattle*. 64f. Thesis (Doctoral in Animal Nutrition and Management) – Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2012.
20. USEPA. *Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment*. EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati – OH/USA, 1988. 83p.
21. VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE – VDI. *VDI 4630: Fermentation of organic materials. Characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests*, 2006.
22. VYMAZAL, J.; KRÖPFELOVÁ, L. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. 579p. Springer Science + Business Media B. V. 2008.
23. WANG, Z.; CALDERON, M. M. Environmental and economic analysis of application of water hyacinth for eutrophic water treatment coupled with biogas production. *Journal of Environmental Management*. v. 110, p. 246-253, 2012.
24. ZURITA, F.; BELMONT, M. A.; DE ANDA, J.; WHITE, J.R. Seeking a way to promote the use of constructed wetlands for domestic wastewater treatment in development countries. *Water Science & Technology*, v. 63, p. 654 – 659, 2011.