

UTILIZAÇÃO DA MACRÓFITA AQUÁTICA *Ludwigia helmitorrhiza* PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Arturo Dias da Cruz¹
Lucas Grigório de Araújo Medeiros Pereira²
Ingrid Lélis Ricarte Cavalcanti³
Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes⁴
Silvia Layara Floriani Andersen⁵

RESUMO

O biogás vem ganhando destaque, principalmente porque é usado como combustível para energia térmica, elétrica e automotiva, além de atuar na redução das emissões de gases de efeito estufa. As macrófitas aquáticas podem atuar como substrato para biodigestão e possuem um diferencial por participarem de vários processos de equilíbrio ecológico e atividades de fitorremediação de ambiente contaminados. O objetivo do trabalho utilizar a macrófita aquática *Ludwigia helmitorrhiza* para a produção de biogás. Para isso, foi coletado em um lago no município de Santa Rita/PB aproximadamente 1500 g de biomassa, na qual parte foi colocada em tanques para avaliar a taxa de crescimento e parte foi usada para processo de produção de biogás, utilizando dois biodigestores batelada em escala laboratorial com filtros de KOH (30%), para remoção de CO₂ na saída. Para a medição do volume de gás metano gerado, duas provetas invertidas com capacidade de 100 mL foram conectadas ao filtro. Dos resultados obtidos foram constatados um total de 65 mL de metano gerados em 5 dias. Em relação à taxa de crescimento, foi observada uma média de 4,2 g de biomassa ao dia, por um período de 120 dias, assim como leve acidificação da água com pH inicial de 6,8 e final de 5,4. Por fim, foi constatada a capacidade de produção de biogás, lotando a *Ludwigia helmitorrhiza* como um substrato para produção de biogás.

Palavras-chave: Macrófitas Aquáticas, Biomassa, Metano.

INTRODUÇÃO

O melhoramento da qualidade de vida e o crescimento populacional exigem cada vez mais soluções para os problemas ambientais que enfrentamos hoje e que poderão se agravar no futuro, devido ao uso de combustíveis fósseis. Com a escassez das reservas de petróleo e a iminência das mudanças climáticas, as energias renováveis surgem como uma importante

1 Mestrando do Curso de Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, arturo.dias@live.com;

2 Graduando pelo Curso de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, lucasgrigorio3414@gmail.com;

3 Mestranda do Curso de Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, ingrid_lelis@hotmail.com;

4 Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, riuzuani@cear.ufpb.br;

5 Professora Doutora do Departamento de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, silvia@cear.ufpb.br.

alternativa ao futuro do planeta para suprir as necessidades energéticas da atual e das futuras gerações. O biogás, biocombustível renovável, vem ganhando destaque, principalmente porque de forma direta atua como combustível para produção de energia elétrica, térmica, automotiva ou aplicada para autoconsumo residencial ou até mesmo para a venda de excedentes; e de maneira indireta ajuda na redução das emissões de gases de efeito estufa advindas do uso dos combustíveis fósseis.

Outro fator de suma importância que facilita as atividades de produção de biogás, é que o Brasil possui condições tropicais e subtropicais, tanto em função do clima como em sua biodiversidade, essas condições compõem vantagens em relação à países com temperaturas mais frias. Deste modo, estudos que investiguem a capacidade de produção de biogás utilizando espécies e/ou substratos ainda não estudados tornam-se cada vez mais importantes, fazendo assim aumentar a viabilidade de integração desses meios a uma produção, descentralizando-os.

As novas fontes de pesquisa para a geração de biogás utilizando plantas aquáticas vêm ganhando destaque, de acordo com Thomaz e Bini (2003), por sua característica de erva daninha em situações com ambientes límnicos em estados estróficos e hipereutróficos, onde há um crescimento exagerado dessas plantas desequilibrando o ambiente aquático, como também pelos seus usos múltiplos como fonte de fitorremediação, através de sistemas como *wetlands*.

Este trabalho tem como objetivo do trabalho utilizar a macrófita aquática *Ludwigia helmitorrhiza* para a produção de biogás. Para isto, foi coletada 1500g da macrófita aquática, em seguida colocada em tanque de cultivo junto a espécies de peixes ornamentais. Posteriormente, foi avaliada a sua capacidade de crescimento, através do ganho de biomassa, e sua utilização como substrato em biodigestores de batelada em escala laboratorial, com intuito de avaliar capacidade de produção de biogás em uma temperatura controlada.

Foi constatada a capacidade de produção de biogás da *Ludwigia helmitorrhiza*, assim como discutida em relação a outras macrófitas aquáticas flutuantes livres.

Os resultados expostos e discutidos nesse trabalho podem contribuir para estudos futuros, é importante destacar que o estudo da *Ludwigia* é pioneiro em sua utilização para substrato para produção de biogás, dando um subsídio inicial a estudos que possam utilizar sua biomassa vegetal após processos de fitorremediação.

METODOLOGIA

A coleta da *Ludwigia helmitorrhiza* foi realizada em um lago no município de Santa Rita, no Estado da Paraíba, como mostra a Figura 1. Foram coletadas aproximadamente 1500 g de biomassa, na qual foi feita a limpeza e extração das plantas que não se adaptaram ao transporte (apresentando folhas e flutuadores danificados) totalizando 370 g de biomassa retirada. Em seguida, 500 g de biomassa foram colocadas em um tanque de cultivo de 500 L que possuíam uma fauna de peixes ornamentais das espécies *Poecilia reticulata* e *Poecilia latipinna*, para a avaliação do crescimento da planta por meio do ganho de biomassa em um período de 120 dias com frequência de análises de peso e pH da água a cada 15 dias.

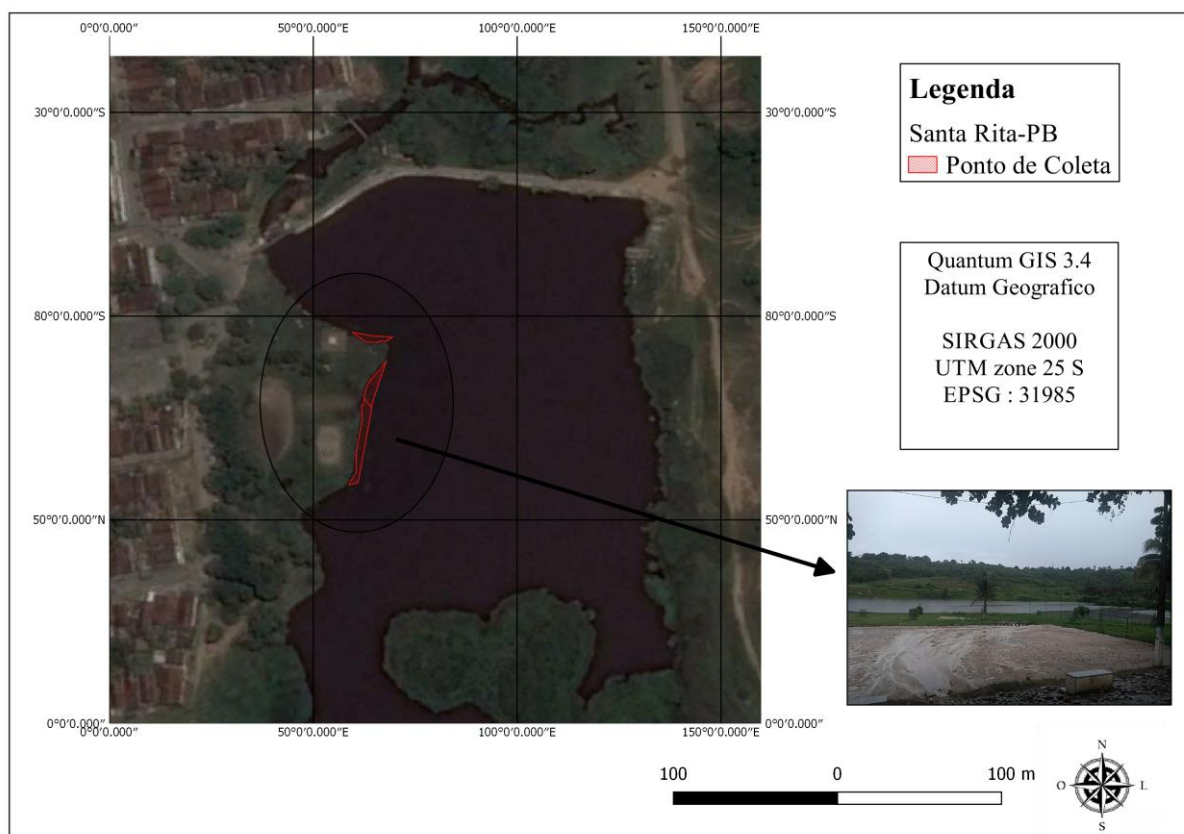


Figura 1. Mapa temático, ponto de coleta da *Ludwigia helmitorrhiza*. Fonte: Autor, 2019.

Para avaliar a produção de biogás foi montado um Sistema (Figura 2) mantido em banho maria para manter a temperatura constante em 35 °C. Neste, utilizou-se dois kitassatos de 1 L vedados e conectados em mangueira de silicone como câmara de biodigestão. A mangueira de silicone foi ligada a um Erlenmeyer de 250 mL com uma solução de KOH a 30% com o objetivo de absorver o CO₂ e outros compostos presentes em menores proporções, liberando assim somente o metano. Após a solução, o volume de gás produzido foi medido

em um proveta invertida suspensa em um recipiente com água. Essa metodologia também foi utilizada por Vattampambil (2012), Budiyo, Syaichurrozi e Sumardiono (2013), Amano, Adom e Appiah-Danquah (2017), Fernandes *et al.*, (2018), como mostrada na Figura 2.

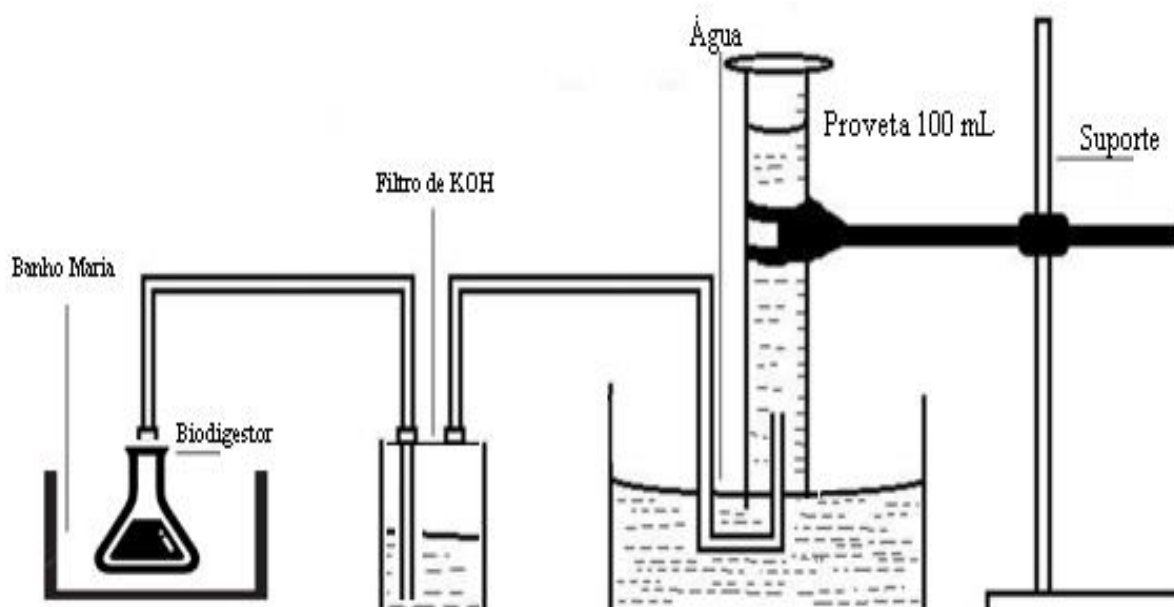


Figura 2. Esquema de medição do biogás com filtro. Fonte: adaptado de Amano, Adom e Appiah-Danquah (2017).

Para o processo de digestão anaeróbia, a *Ludwigia* foi triturada e esmagada com pilão de madeira de forma manual, por 10 minutos, em seguida pesada numa balança de precisão e foi utilizado 210 g de biomassa. No passo seguinte, foi adicionado 420 mL de água (retirada da planta após trituração e misturada juntamente com água de cultivo). Também foi realizado um teste de referência com apenas a água de cultivo (630 mL).

O tempo de retenção adotado foi um período de 5 dias, pois de acordo com Owen *et al.*, (1979) a degradação máxima do substrato ocorre durante os primeiros cinco dias de incubação. Para a medição do pH foi utilizado um pHmetro de bancada.

Os testes foram realizados em triplicata adotando a nomenclatura LUD (*Ludwigia*) e AC (água de cultivo) ambas seguidas por algarismos romanos I, II, III (repetições).

DESENVOLVIMENTO

Macrófitas aquáticas são todas as plantas cujas partes fotossinteticamente ativas estão o tempo todo ou por alguns meses em cada ano, submersas em água ou flutuantes em sua superfície. As macrófitas, portanto, constituem uma importante comunidade de ecossistemas aquáticos; por sua abundância, alta produtividade e contribuição para a diversidade biológica, constantemente essas espécies de plantas se proliferam de forma indesejada e prejudicam o uso múltiplo dos lagos, represas e rios havendo necessidade de utilização de técnicas de controle. Mesmo com essa característica, alguma dessas plantas tem sido utilizada em sistemas de tratamento de efluentes, na recuperação de ambientes degradados e também como plantas ornamentais (ANDRADE; TAVARES e MAHLER, 2007).

A *Ludwigia helminorrhiza*, em sua etimologia “Ludwigia”, homenagem ao botânico alemão Ludwig e helmitorrhiza”, que significa raiz de helminto ou lombriga, devido a aparência dos seus flutuadores, é uma macrófita aquática flutuante livre com flutuadores ou raízes esponjosas, perene com flores de fevereiro a outubro, durante e após a cheia suas sementes são comidas por aves aquáticas, seus flutuadores são alimento para insetos e peixes, considerada planta ornamental muito procurada por aquaristas, propaga-se por divisão de planta (pedaços do caule ou das hastes), requer água ligeiramente ácida ou neutra, Sol pleno ou luz intensa e calor, sua ocorrência dar-se frequente em vegetação flutuante nas planícies dos rios, solos argilosos e em vazantes nas subregiões arenosas (POTT e POTT , 2000).

A influência das macrófitas aquáticas sobre o metabolismo dos ecossistemas límnicos continentais pode ocorrer através da redução da turbulência da água pelas macrófitas, observando o chamado efeito de “filtro”, que compreende a sedimentação de grande parte do material de origem alóctone como também pelas raízes e rizomas que possui um papel no fluxo de energia do sedimento, conseqüentemente para a cadeia alimentar dos organismos bentônicos. Isto porque estas estruturas além de apresentarem alta taxa de reciclagem, excretam grande quantidade de compostos orgânicos para o sedimento, que são utilizados principalmente pelas bactérias. (ESTEVES, 2011).

Também tem sido investigado a respeito da produção de energias através do uso da biomassa das macrófitas aquáticas tanto para produção de biogás através da digestão anaeróbia como para produção de etanol, dando assim uma dupla utilização da mesma, sendo uma delas associada ao processo de fitorremediação, através dos mecanismos de fitoextração e fitoacumulação e outra como o equilíbrio de meio aquático em tanques de cultivo e ou controle da super proliferação em ambientes eutrofizados (MISHRA E MAITI, 2017).

O biogás é composto de uma mistura de gases contendo principalmente metano e dióxido de carbono, encontrando-se ainda em menores proporções gás sulfídrico e nitrogênio. A formação do biogás é comum na natureza, sendo encontrado em pântanos, lamas escuras, locais onde a celulose sofre naturalmente a decomposição é um produto resultante da fermentação, na ausência do ar, de dejetos animais, resíduos vegetais e de lixo orgânico industrial ou residencial. A reação desta natureza é denominada digestão anaeróbica (sem presença de oxigênio) e o principal componente do biogás é o metano representando cerca de 60% na composição do total dessa mistura. O metano é um gás incolor, altamente combustível, queimado com chama azul lilás, sem deixar fuligem e com um mínimo de poluição. Em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, o poder calorífico pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico, esse poder calorífico pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura (DEGANUTTI et al. 2008).

Além do poder calorífico do metano, sua combustão proporciona ganhos socioambientais, pois após a queima ele é oxidado a gás carbônico, reduzindo consideravelmente as emissões de gases do efeito estufa (TEXEIRA JUNIOR, 2016). A digestão anaeróbia, processo da transformação energética da biomassa em biogás divide-se em quatro etapas (KARLSSON al. 2014) são elas:

- **Hidrólise:** Essa etapa é muito importante para uma instalação de biogás, pois o material orgânico submetido ao processo de digestão deve ser quebrado em pequenas moléculas para que os microrganismos consigam se alimentar delas. As bactérias disponíveis no biodigestor também segregam enzimas que rompem as moléculas de proteína e as transformam em aminoácidos, hidratos de carbono em açúcares simples e álcoois e graxas em ácidos graxos. A quebra das moléculas do material orgânico faz com que os microrganismos absorvam as pequenas partes do material orgânico e tirem proveito da energia que nelas estão contidas. A rapidez do processo depende do tipo de material e de como este é estruturado.
- **Fermentação:** O que acontece nesta etapa depende do tipo de material orgânico que é adicionado ao processo de digestão anaeróbia, assim como dos microrganismos que estão disponíveis no sistema. A maioria dos microrganismos que estava ativa na etapa de hidrólise também estará ativa nesta etapa. Os componentes menores derivados da ruptura de moléculas grandes na hidrólise continuam a ser quebrados em moléculas

sempre menores. Nesta etapa, ácidos são formados por meio das reações e dividem-se em ácidos orgânicos, álcoois e amoníaco, além de hidrogênio e dióxido de carbono. Exemplos de ácidos orgânicos são o acético, butírico e láctico. Os produtos formados dependem dos microrganismos disponíveis e de fatores ambientais. Os ácidos graxos formados durante a hidrólise não são quebrados durante a fase de fermentação, e sim, na etapa de oxidação anaeróbica, a terceira etapa da digestão.

- **Oxidação Anaeróbica:** Nessa etapa, as moléculas, rompidas durante as fases de hidrólise e fermentação, rompem-se em moléculas ainda menores pela oxidação anaeróbia, sendo necessário que haja boa interação entre os microrganismos produtores de metano. Esta etapa também é conhecida como acetogênese. As bactérias acetogênicas convertem o material degradado nas etapas anteriores em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Entretanto, essas bactérias não são resistentes a grandes quantidades de hidrogênio e, por este motivo, faz-se necessário que as bactérias metanogênicas consumam o hidrogênio.
- **Formação de Metano:** conhecida como metanogênese, tem-se a fase de formação de metano, sendo o metano o produto da reação que mais nos interessa. O metano formado pelos microrganismos metanogênicos necessitam, para sua formação, de ácido acético e CO₂ e de mais alguns produtos de menor importância. São subprodutos das três etapas anteriores, sendo na fase metanogênica também formados dióxido de carbono e água infelizmente, os microrganismos metanogênicos são mais sensíveis a interferências do que os microrganismos que atuaram em fases anteriores da digestão anaeróbia, pois não pertencem ao mesmo grupo de microrganismos, chamado Archaea. As bactérias metanogênicas não são resistentes às perturbações de alterações no pH e substâncias tóxicas, as quais podem ser alteradas ao longo do processo.

Na prática a produção de biogás é possível com a utilização de um equipamento denominado de biodigestor, que é constituído de uma câmara fechada onde é colocada a matéria orgânica que é fermentada anacronicamente e o biogás resultante é canalizado para ser empregado em vários usos. Há vários modelos de biodigestores, os mais usados no Brasil são indiano, chinês e de batelada. Diversos modelos têm sido avaliados ou utilizados em grandes empresas, as quais entregam biodigestores do tipo industrial (BARREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar o ganho de biomassa da *Ludwigia helmitorrhiza*, foi possível identificar um aumento de biomassa durante 120 dias, conforme mostrado na Figura 3.

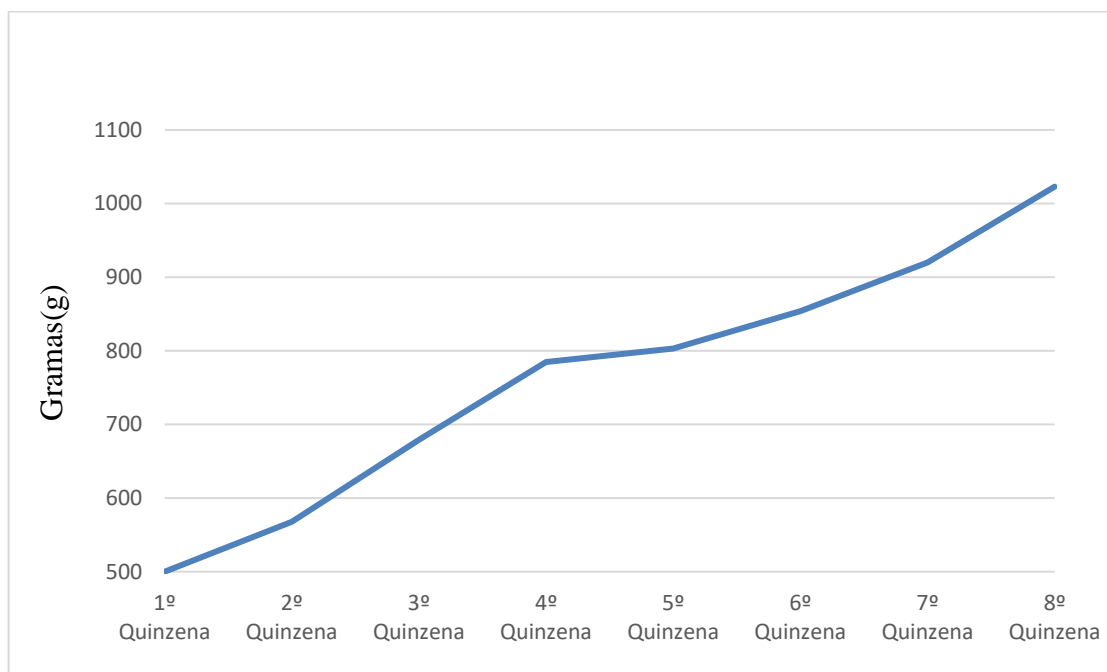


Figura 3. Gráfico de ganho de biomassa (em gramas) no período de 4 meses. Fonte: autor

É importante ressaltar dois fatores: primeiro, que as análises de pH realizadas, demonstraram uma leve acidificação da água, onde era de pH 6,8 no início da coleta de dados, a um pH de 5,4 ao final da coleta. Essa leve acidificação da água pode ser decorrente ao fator de renovação do ciclo de vida da espécie, onde por sua vez são gerados materiais orgânicos decorrente da decomposição da *Ludwigia*, assim o pH de acordo com Esteves (2011) é diretamente influenciado pela quantidade de matéria morta a ser decomposta, sendo que o resultado é inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível, menor será o pH.

O segundo fator é que o total de ganho no peso, em um período de 120 dias, foi de 523g. Assim se obteve uma média de 4,2 g/dia, comparando a um estudo similar realizado por Henry-Silva, Camargo e Pezzato (2008), no qual foi avaliado crescimento de três espécies macrófitas aquáticas flutuantes e foram obtidos dados da *Eichornia crassipes* (águasape) com 24,06 g/dia, *Pistia stratiotes* (alface d'água) com 8,3 g/dia e *Salvinia molesta* com 4,3 g/dia.

A *Ludwigia* por se tratar de uma macrófita aquática de estado pioneiro de sucessão, *in natura*, a medida que cresce torna-se possível perceber que ela dá lugar para outras

espécies (POTT e POTT, 2000). Esse fator pode inibir seu crescimento e desenvolvimento juntamente com outras espécies de macrófitas.

A produção de biogás da *Ludwigia helmitorrhiza* (Figura 4), apresenta uma produção constante desde do primeiro dia de inoculação da biomassa, até o 5º dia de análise, tendo uma produção total de 65 mL de metano. Já em relação a água de cultivo, apresenta em seu segundo dia um pico de geração, porém manteve estabilidade na grande maioria do tempo de análise, possuindo uma produção total de 24 mL.

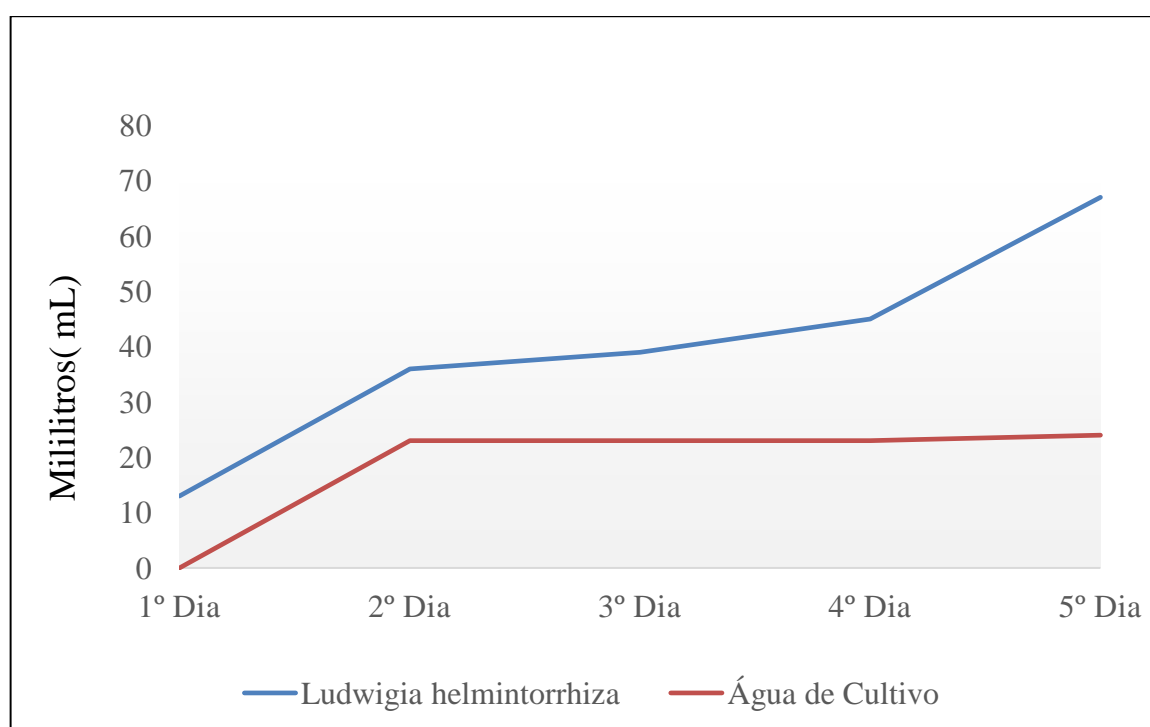


Figura 4. Média de produção diária em mL de CH₄.

Em outros estudos realizados utilizando macrófitas aquáticas para avaliação da produção de biogás foi possível encontrar resultados bastante diversos. Verma *et al.*, (2007) apresenta um resultado de produção de metano para o Aguapé de 39,20 mL/dia e da castanha-d'água 41,26 mL/dia, foram usados 6 m³ de biomassa a 35 graus e incubadas por um período de 30 dias. Fernandes *et al.* (2018), ao analisar a alface d'água, encontrou um valor de 21 mL/dia, usando 256 g biomassa e incubada a 35 graus. Já Jiang *et al.* (2014) obteve valores de 17,1 mL/dia da *Typha orientalis*, *Thalia dealbata* 19,2 mL/dia, *Pontederia cordata* 15,77 mL/dia utilizando 400g de biomassa a 37°C por período de 30 dias.

De acordo com Moeller *et al.*, (2018) , em geral as macrofitas aquáticas são adequadas como substrato para produção de biogás, por sua vez, a qualidade da biomassa

depende mais da espécie do que do tempo de colheita ou localização e tipo da qualidade da água.

Jain *et al.*, (1992) descreve em seu estudo que, na digestão anaeróbia das macrófitas aquáticas *Azolla pinnata* e *Lemna minor* L. em presença de metais pesados não anulam a condição de biodigestão, ressaltando que em algumas concentrações elevadas podem diminuir a concentração de metano, dessa maneira em um estudo realizado por *et al.*, (2011) foi percebido que a *Eichhornia crassipes*, *Ludwigia helmitorrhiza*, and *Polygonum punctatum* são capazes de se desenvolver em ambientes contaminados por metais além da capacidade de acumulá-los nas raízes e folhas, sendo assim boas espécies fitorremediadoras desses metais.

As análises de pH antes e depois do processo de biodigestão, obtiveram a média de pH inicial para a biodigestão da *Ludwigia* de 5,2 e final de 5,3 já em relação a água de cultivo foram obtidos pH médio inicial de 6,7 e após a digestão de 6,5.

É observado que em ambos substratos não houveram alterações significativas em seu pH, no processo de digestão. Portanto, faz-se importante destacar que o sistema relativo à *Ludwigia helmitorrhiza*, diferencia-se do ideal de pH observado em estudo realizado por Budiyo, Syaichurrozi e Sumardiono (2013) que ressalta que a produção do biogás é melhor desenvolvida em pH 7. Em estudos realizados por Jayaraj, Deepanraj e Velmurugan (2014), foram analisados os diferentes efeitos na produção de biogás em um reator anaeróbio em batelada com um tempo de retenção de 30 dias, os resultados demonstram que com o pH 7 e 8 ocorreram condições favoráveis para o crescimento bacteriano no digestor seguido pelos pH's de 6, 9 e 5. Portanto, diante dos estudos citados, o pH pode ter sido um fator limitante a produção de metano da *Ludwigia* no presente estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A macrófita aquática *Ludwigia helmitorrhiza* possui uma produção de biogás média de 13,06 mL/dia, através dos dados obtidos, é possível afirmar a possibilidade de utilização da *Ludwigia helmitorrhiza* como substrato para a produção de biogás.

Seu ganho total de biomassa foi de 523 g, assim se obteve uma média de 4,2 g/dia, tal informação pode subsidiar estudos onde envolvam ganho de massa para sua utilização como substrato para biogás assim como pode levar a um planejamento estrutural para cultivo e/ou pós-produção de biogás através da macrófita.

REFERÊNCIAS

Amano, O.A.K; Offei. F.D, Appiah-Danquah.A. Determination of Biogas Content in Biomass after Anaerobic digestion Laboratory Analytical Procedure (LAP). 2017; Disponível em: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.17043.27688> Acesso em: 20/06/2019.

Andrade, J, C, M; Tavaress, R, L; Mahlerc.F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de textos,2007.

Barreira, p. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural**. 3º edição, São Paulo. Editora ícone, 2011, 106p.

Budiyono, Syaichurrozi e Sumardiono. Biogas production from bioethanol waste: the effect of pH and urea addition to biogas production rate. **Waste Technology**, Vol 1,2013.ISSN: 2338-6207.

Deganutti, R. et al.**Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e Batelada**. Bauru-SP, 2008.

Esteves, F. A.; Meirelles-pereira, F. Eutrofização artificial. In: ESTEVES, F. A. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 625-655.

Fernandes. et al. Can we use Cd-contaminated macrophytes for biogas production? **Environmental Science and Pollution Research**. 2018.ISSN: 0944-1344

Henry-Silva, G.G; Camargo; A.F.M; Pezzato. M.M. Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. **Hydrobiologia**,2008.

Jain, S.K. et al. **Production of biogas from Azolla pinnata R. Br and Lemna minor L.: Effect of heavy metal contamination**. Bioresource Technology Volume 41, Issue 3, 1992, Pages 273-277.

Jayaraj, S; Deepanraj, B; Velmurugan, S. **Study On The Effect Of Ph On Biogas Production From Food Waste By Anaerobic Digestion**. 9th Annual Green Energy Conference in Tianjin China (IGEC-IX), 2014.

Jiang, X. et al. Research on biogas production potential of aquatic plants. **Renewable Energy** 2014, volume 69,Pages 97-102.

Karlsson,T. et al. **Manual básico de biogás**. Lajeado: Ed. da Univates, 2014.

Mishra, S; Maiti, A. The efficiency of *Eichhornia crassipes* in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review. **Environmental Science and Pollution Research**. 2017, Volume 24, Issue 9, pp 7921–7937.

Moeller, L. et al. Crop Characteristics of Aquatic Macrophytes for Use as a Substrate in Anaerobic Digestion Plants—A Study from Germany. **Energies** 2018, Volume 11, Issue 11.

Nuñez, S.E.R et al. 2011. Hg, Cu, Pb, Cd, and Zn Accumulation in Macrophytes Growing in Tropical Wetlands. **Water Air Soil Pollut** 2018, Volume 216, Issue 1–4, pp 361–373.

Owen, W.F.; Stuckey, D.C.; Healy Jr, J.B. Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. **Water Research** 1979., v. 13, p. 485-492.

POTT, V.L; POTT, A. **Plantas Aquáticas do Pantanal**. EMBRAPA. Brasilia,2000. 276-277p.

Teixeira Junior,L.C. **Biogás: Alternativa para geração de energia**. 1° ed, Curitiba, Editora Appris, 2016.

Thomaz, s.m. e Bini, l.m. **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2003.

Vattampambil.S.R. **Anaerobic Microbial Hydrolysis of Agriculture Waste for Biogás Production**. International Conference on Emerging Frontiers in Technology for Rural Area (EFITRA) 2012.

Verma, V.K. et al. Biogas production from plant biomass used for phytoremediation of industrial wastes. **Bioresource Technology** 2007, Volume 98, Issue 8, Pages 1664-1669.