

PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS ATRAVÉS DA BIOMASSA DE ALGAS GERADAS EM LAGOAS DE ALTA TAXA APLICADA AO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

SILVA, Fernanda Vargas e¹; MONTEGGIA, Luiz Olinto²

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se a produção de biocombustíveis através da pirólise de biomassa de algas, obtidas a partir de lagoas de alta taxa tratando esgoto sanitário. As lagoas foram construídas e operadas na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) São João Navegantes, em Porto Alegre. A lagoa A foi alimentada com esgoto bruto, enquanto a lagoa B foi alimentada com efluente tratado proveniente de um reator UASB. A lagoa B apresentou produtividade de algas superior à lagoa A, apresentando concentração de sólidos totais média de 487.3mg/l e concentração de clorofila *a* de 7735µg/l. A produtividade das algas na profundidade média das lagoas foi medida como 41,8 gm⁻²d⁻¹ para a lagoa A e como 47,1 gm⁻²d⁻¹ para a lagoa B. As algas extraídas da lagoa B foram separadas através do processo de coagulação/floculação. Na presença de sulfato de alumínio foi possível 97% de separação da biomassa. Após a separação, a biomassa foi seca e cominuída. Os experimentos de obtenção de biocombustíveis foram realizados via pirólise em bateladas em um reator tubular de vidro quartzo inserido em um forno para aquecimento externo. Os ensaios foram realizados sob atmosfera inerte de nitrogênio, sob vazão de 60ml/min. De modo a determinar a influência da temperatura nas frações obtidas, operou-se a 400°C, 500°C e 600°C. Os estudos mostraram que a temperatura influencia no rendimento das frações obtidas com rendimentos máximos superiores a 50% para a fase sólida e 15% para a fase gás a 400°C e 45% para fase líquida (bio-óleo/água) a 500°C.

Palavras-chave: Biomassa. Algas. Lagoas de alta taxa. Pirólise.

ABSTRACT

In this work, the production of biofuels through pyrolysis of algae biomass obtained from high rate algae pond treating sewage was evaluated. The two high-rate algae ponds (HRAP) were built and operated at Wastewater Treatment Plant São João Navegantes. The HRAP A, was fed with raw sewage, while the HRAP B was fed with effluent from an UASB reactor. The HRAP B provided higher productivity, presenting total solids concentration of 487.3mg/l and chlorophyll *a* of 7735µg/l. The algal productivity, in the average depth was measured as 41,8 gm⁻²day⁻¹ for pond A and as 47.1 gm⁻²day⁻¹ for pond B. Algae obtained from the HRAP B were separated through the

¹ Prof. MSc, Universidade Feevale, Doutoranda em Engenharia Química, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil - E-mail: fernandavargas@feevale.br.

² Prof. Dr., Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil – E-mail: montegia@iph.ufrgs.br.

process of coagulation/flocculation. In the presence of alum, separation efficiency in the range of 97% solids removal was obtained. After centrifugation, the biomass was dried and comminuted. The experiments for biofuel production were conducted via pyrolysis, in batches, in a tubular quartz glass reactor inserted in a furnace for external heat. The tests were carried out under an inert atmosphere of nitrogen, at a flow rate of 60ml/min. In order to determine the influence of temperature on fractions yields obtained, the system was operated at 400°C, 500°C and 600°C. The studies showed that the pyrolysis products yield was influenced by the temperature, with yields higher than 50% for solid phase and 15% for gas phase at 400°C and higher than 45% for liquid phase (bio-oil and water) at 500°C.

Keywords: Biomass. Algae. High-Rate Algae Ponds. Pyrolysis

1 INTRODUÇÃO

A biomassa é considerada mundialmente como uma importante fonte renovável de geração de energia, incluindo energia elétrica e combustíveis veiculares além de ser fonte de calor para equipamentos industriais.

As culturas comumente usadas para produção de biocombustíveis a partir da biomassa são: cana-de-açúcar, milho, grãos, beterraba, algas e muitos outros. Existem fatores fundamentais que definem quando uma cultura é propícia para o processo: bom rendimento de matéria seca por unidade de terra (ton seca/hectare), baixa necessidade de área para cultivo e baixos custos de produção de energia pela biomassa (DERMIBAS et al., 2009) Entretanto, algumas pesquisas vêm condenando o uso dos biocombustíveis, relacionando sua produção com uma possível alta no preço dos alimentos. Assim, o uso de biomassa proveniente de algas vem sendo visto como grande alternativa para a minimização desses problemas, pois não necessitam de áreas de plantio e nem de água doce potável para seu desenvolvimento. (DISMUKES et al., 2008; BRENNAN; OWENDE, 2010; PATE et al., 2011).

Em um sistema de tratamento de esgotos, as lagoas de alta taxa caracterizam-se pelo alto poder gerador de biomassa de algas, sendo estas um subproduto muitas vezes indesejável, pois sua presença nos corpos hídricos causa alterações na qualidade das águas.

As lagoas apresentam forma de canais adutores, no qual a água, algas e nutrientes circulam. Pás geram o fluxo, permanecendo em operação continuamente de modo a evitar sedimentação. A maximização da produção de biomassa (principalmente algas) é alcançada através da melhor utilização da energia luminosa por volume útil. Isso é assegurado pela baixa

profundidade das lagoas e constante movimentação da biomassa através de um sistema mecânico de mistura (NASCIMENTO, 2001; CHISTI, 2007).

O custo da produção de biomassa de algas usando lagoas de alta taxa para tratamento de esgotos é essencialmente coberto pelos custos inerentes ao tratamento, apresentando menores impactos ambientais em termos de uso de água, energia e necessidade de fertilizantes (PARK et al., 2011; PASSOS et al., 2013).

O sistema de lagoas de alta taxa funciona como simbiose entre bactérias heterotróficas, que oxidam a matéria orgânica contida no efluente e o fitoplâncton, que pela fotossíntese consome o CO₂ gerado na mineralização da matéria orgânica. A biomassa que cresce nesse tipo de ambiente assimila os nutrientes necessários para seu crescimento e, ao ser separada do efluente final, torna-se responsável pela eliminação dos nutrientes do esgoto, apresentando a vantagem de controle da poluição dos recursos hídricos, consistindo na ação adicional de sustentabilidade para emprego desta tecnologia em escala industrial (PARK et al., 2011; PASSOS et al., 2013).

As células das algas apresentam tamanho reduzido, podendo ser menores que 30µm e sua densidade é semelhante à da água, com baixa velocidade de sedimentação, assim, para que a separação seja possível, é necessário agregar as células. Por isso, geralmente utiliza-se processo em duas etapas: a primeira envolvendo a desestabilização das células das algas usando coagulação seguida de sedimentação ou flotação. Na segunda etapa do processo, é necessário o deságue da biomassa úmida, onde geralmente se aplica a filtração, centrifugação ou processos térmicos (GRIMA et al., 2003; MATA et al., 2010; GRANADOS et al., 2012; CAI et al., 2013; UDOM et al., 2013).

Outra vantagem do uso do processo de coagulação/floculação é a remoção de nutrientes. A presença de nutrientes nas águas residuárias, principalmente o nitrogênio e o fósforo, é um problema ambiental sério e vem recebendo cada vez mais atenção. O nitrogênio, na forma de amônia pode ser volatilizado e causar poluição do ar. O fósforo pode permear o solo e causar danos aos lençóis freáticos (CHEN et al., 2012). Quando em excesso, as algas causam eutrofização dos mananciais, podendo danificar o ecossistema presente (CAI et al., 2013).

A biomassa de algas geralmente apresenta cerca de 5-15% de sólidos, sendo perecível e devendo ser processada o mais rapidamente possível após a separação. Processos imprescindíveis como os de adensamento e secagem, geralmente envolvem altos custos operacionais. Sendo assim, estas etapas são consideradas como determinantes na análise de viabilidade econômica do

processo global (BRENNAN; OWENDE, 2010; UDUMAN et al., 2010). Os métodos mais usados para deságue são filtração e centrifugação, e para secagem são: secagem natural, secagem em estufas, secagem por spray, secagem em leito fluidizado.

A biomassa de algas contém basicamente três componentes: proteínas, carboidratos e óleos naturais. Algumas espécies podem apresentar diferentes composições, sendo que algumas espécies apresentam até 40% de sua massa total como lipídeos. Estes óleos podem ser posteriormente extraídos e convertidos a biocombustíveis (UM; KIM, 2009). O processo de pirólise surge como excelente alternativa para conversão de energia, pois apresenta a vantagem de utilizar diferentes fontes de matéria orgânica, não sendo limitado apenas pelo conteúdo de lipídios, como no caso da produção de biodiesel.

A reação de pirólise de matéria orgânica consiste na decomposição térmica de compostos orgânicos presentes na biomassa, em atmosfera controlada na ausência de oxigênio, resultando em produtos líquidos (fase aquosa ou bio-óleo), gasosos ou sólidos (carvão). É uma reação endotérmica que ocorre na faixa de temperatura de 300 a 700°C, dependendo das características do material a ser pirolisado (MARTINI, 2009).

O rendimento relativo de cada fase gerada no processo depende dos parâmetros operacionais utilizados, propriedades da biomassa e tipo de pirólise utilizada. (BALAT et al., 2009; AKHTAR; AMIN, 2012). Dentre os principais parâmetros, destacam-se a temperatura, taxa de aquecimento, o tempo de residência, a vazão de gás inerte e o tamanho da partícula, bem como sua umidade (MARTINI, 2009; AKHTAR; AMIN, 2012).

Altas temperaturas e longos tempos de residência favorecem a formação de gás, enquanto baixas temperaturas e longos tempos de residência favorecem a formação de carvão. De modo a otimizar a formação de óleo, usa-se geralmente curtos tempos de residência e altas taxas de aquecimento da biomassa (VAN de VELDEN et al., 2010).

O óleo gerado pela pirólise é mais limpo que os combustíveis fósseis devido ao fato de apresentarem baixo teor de nitrogênio e enxofre. A biomassa vaporiza, passa por um processo de craqueamento e condensação, produzindo um líquido marrom escuro, composto de uma mistura complexa de diversos hidrocarbonetos. (DOSHI et al., 2005; MARTINI, 2009).

Assim, este artigo relata os resultados obtidos no estudo da produção de algas nas lagoas de alta taxa, otimização do processo de coagulação/floculação para separação da biomassa e conversão de biomassa em biocombustíveis através do processo de pirólise.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram construídas duas lagoas de alta taxa de produção de algas na área experimental de tratamento de águas residuárias do IPH/UFRGS, localizada junto à Estação de Tratamento de Esgotos São João Navegantes, do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE). Esta estação é responsável pelo tratamento do esgoto sanitário da zona norte de Porto Alegre/RS.

As lagoas foram operadas em circuito fechado de escoamento com diques de inclinação 1:1, com 0,9m de altura total, 30m de comprimento dos trechos retos, 5m de largura nas bordas superiores dos taludes e área superficial de 320m², conforme pode ser visto na Figura 1.



Figura 1 - Lagoas de Alta Taxa
Fonte: próprio autor

As lagoas de alta taxa foram operadas com duas condições de alimentação: alimentação com esgoto bruto (após gradeamento, desarenação e peneiramento fino) e alimentação com efluente do reator UASB. O reator foi operado com tempo de detenção hidráulico (TDH) de 8 horas e alimentado com esgoto bruto após remoção de resíduos grosseiros em uma peneira de limpeza mecanizada com malha de 2mm. Este procedimento tem como objetivo remover partículas sólidas que possam causar entupimento nas bombas dosadoras e nas tubulações de alimentação das posteriores etapas do processo.

Visando a maximização do processo de produção de biomassa pelas lagoas, os parâmetros de operação delas para produção de algas foram de 0,3m de profundidade útil (Hu), 0,3m.s⁻¹ de velocidade longitudinal de escoamento e 3 dias de tempo de detenção hidráulica.

As amostras dos efluentes foram coletadas diretamente do corpo das lagoas em bombonas plásticas de 20l, longe do ponto de alimentação, de modo a evitar interferências dessa corrente. Foram analisados, em média, 120l de efluente semanalmente.

De modo a mensurar a produtividade de algas, foram utilizados os parâmetros sólidos totais, turbidez e clorofila a.

Os ensaios para esses parâmetros foram realizados segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

2.2 SEPARAÇÃO E ADENSAMENTO DAS ALGAS

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados utilizando os efluentes da lagoa alimentada com efluente do reator UASB, que apresentou melhor desempenho na produção de biomassa de algas.

O equipamento utilizado foi o Jar Test marca VELP modelo F.6/S, composto por 6 jarros de 2000ml, com agitação controlada e independente. As etapas do processo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Etapas do processo coagulação/floculação

ETAPA	ROTAÇÃO (RPM)	Tempo (min)
Etapa Rápida	120	1
Intermediária	30	10
Lenta	15	20

(Fonte: próprio autor)

Para avaliar o processo de separação, bem como o de análise da remoção de nutrientes, foram utilizados dois coagulantes, sulfato de alumínio e cloreto férrico e dois floculantes, Sulfloc 1001 e Tanfloc SL, variando as dosagens conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Faixas de dosagens utilizadas

Produto	Cloreto Férrico 10%	Sulfato de Al 10%	Sulfloc 20%	Tanfloc 10%
Faixa de concentração (mg/l)	200 – 300	100 – 150	250 – 300	50 - 100

(Fonte: próprio autor)

Após a etapa de separação e da remoção de todo o sobrenadante dos jarros, as amostras remanescentes foram submetidas à centrifugação em uma centrífuga Nova Técnica modelo NT820, por 20 minutos à 2500rpm de modo a obter uma amostra com cerca de 80 – 85% em massa de água. Após a centrifugação, a biomassa foi seca em estufa a 105°C, até que a variação de massa em função da perda de água não fosse significativa. Após, as amostras foram trituradas em um almofariz e armazenadas separadamente de acordo com o reagente utilizado no processo de separação.

2.3 REMOÇÃO DE NUTRIENTES

Os ensaios foram realizados para determinar a concentração destes nutrientes (N e P), no efluente das lagoas antes e após o processo de coagulação/floculação. As amostras foram coletadas e analisadas segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Através da comparação das concentrações de nutrientes observadas, foi possível determinar a influência da remoção dos nutrientes, através da comparação entre o uso de sulfato de alumínio, cloreto férrico e tanfloc como agentes de separação da biomassa.

2.4 PIRÓLISE DA BIOMASSA

Os experimentos de obtenção de biocombustíveis via pirólise da biomassa foram realizados em um reator tubular de vidro quartzo, que apresenta as dimensões conforme pode ser visto na Figura 2.

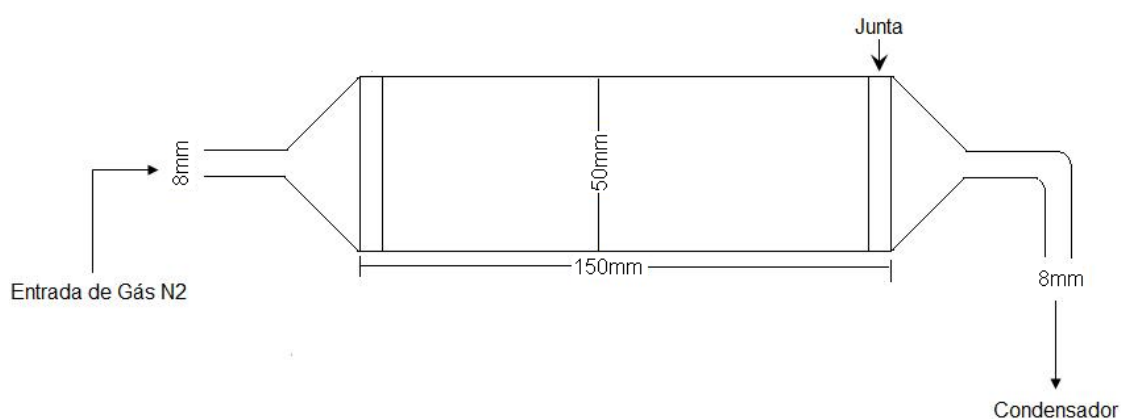


Figura 2 - Dimensionamento do reator de pirólise
Fonte: próprio autor

Os experimentos foram feitos em bateladas, uma vez que o processo gera carvão, devendo ser então, retirado do forno para posterior pesagem. O fluxograma do processo empregado foi baseado no trabalho apresentado por Zhang et al. (2011) como apresentado na Figura 3.

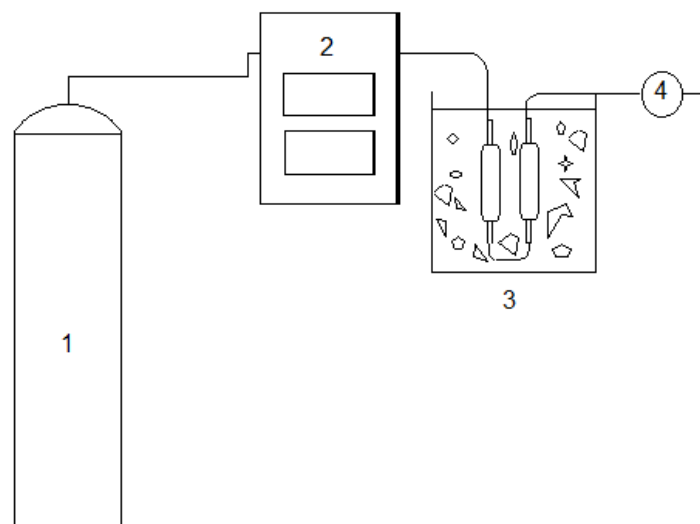


Figura 3 - Equipamento utilizado na pirólise de biomassa
Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2011)

No esquema representado na figura 3, o ambiente inerte é gerado pela presença do gás nitrogênio (1), o aquecimento do reator foi feito em um forno de aquecimento externo (2). A condensação dos gases foi feita em (3), dois condensadores em série imersos em banho de gelo e a saída dos gases não condensáveis em (4).

O reator foi alimentado manualmente, com 0,7g de biomassa seca e cominuída obtida da etapa anterior do processo, em uma cápsula feita de papel alumínio, inserida no corpo do reator.

Após ser carregado com a biomassa, o reator foi fechado e a atmosfera inerte do meio reacional foi obtida através de uma corrente de 60ml/min de nitrogênio por 20min, de modo a garantir a ausência de oxigênio. Essa vazão foi mantida durante todo o processo de pirólise.

Logo após, o sistema foi submetido a um aquecimento em um forno tubular, sob taxa de 20°C/min e mantido na temperatura de estudo por 1h. Para investigar a influência da temperatura no rendimento das frações obtidas, utilizaram-se temperaturas de 400°C, 500°C e 600°C.

Os vapores gerados no processo passaram por dois condensadores em série, imersos em banhos de gelo, mantidos em temperatura de cerca de 0°C. Após o fim da batelada, os

condensadores foram removidos e o óleo gerado foi coletado, armazenado e pesado em frascos com tampa. Os gases não condensáveis foram calculados por diferença.

Após o esfriamento do sistema, o reator foi aberto e a fração sólida foi pesada e armazenada. A massa final do reator também foi determinada, de modo a mensurar as perdas por aderências nas paredes do reator.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Os resultados das análises de sólidos, turbidez e clorofila *a* estão apresentados na Tabela 3, comparando o desempenho de ambas as lagoas na produção de biomassa.

Tabela 3 - Desempenho das Lagoas na produtividade de algas

Análise	Lagoa A	Lagoa B
Sólidos Totais (mg/l)	433,2	487,3
Turbidez (UNT)	38,6	60,3
Clorofila <i>a</i> (µg/l)	2338	7735
Produtividade (g.m ⁻² d ⁻¹)	41.8	47.1

Fonte: próprio autor

Nos ensaios, consideramos a concentração de sólidos e a turbidez presente nos efluentes causada apenas pela presença de algas. A partir da Tabela 3, pôde-se perceber que a lagoa B, em todos os parâmetros de avaliação, apresentou valores superiores aos obtidos pela lagoa A. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato da lagoa B ser alimentada com efluente proveniente do reator UASB que se caracteriza pela baixa concentração de sólidos, o que facilita a penetração da irradiação solar no corpo da lagoa, fator imprescindível para o aumento no crescimento da biomassa. Assim, o efluente selecionado para os ensaios de separação, adensamento, bem como os ensaios de obtenção de biocombustíveis, foi o coletado da lagoa B. A Tabela 4 mostra a comparação de diversos sistemas de cultivo aplicados à produção de biomassa de algas e a Tabela 5 mostra a comparação entre a produtividade de culturas diferentes, comumente usadas na produção de biocombustíveis.

Tabela 4 - Produtividade de Biomassa de algas

Autores	Sistemas	Produtividade (g.m ⁻² d ⁻¹)
Nascimento, 2001	Lagoas de Alta Taxa	21.8
Riaño, 2012	Fotbiorreator	1.54
Sturm & Lamer, 2011	Lagoas Abertas	12
Terigar & Theegala, 2014	Tanques Abertos	43.4

Fonte: próprio autor

Tabela 5 - Comparação de produtividade de biomassa

Culturas	Colheita (meses/ano)	Produtividade (g.m ⁻² d ⁻¹)
Algodão	3	0.38
Amendoim	3	0.55
Canola	3	0,60
Girassol	3	0.55
Dendê (<i>Elaeis guineensis</i>)	12	6.84
Mamona (<i>Ricinus communis</i> L.)	3	0.41

Fonte: Adaptada de Trzeciak et al., (2008)

Como pode ser visto em ambas as tabelas, as algas cultivadas em lagoas de alta taxa se tornam uma fonte competitiva de biomassa para produção de biocombustíveis devido à sua alta produtividade, ausência de sazonalidade de produção, sem a necessidade de áreas e água doce para cultivo além de não competir com culturas de subsistência.

3.2 SEPARAÇÃO, ADENSAMENTO DAS ALGAS E REMOÇÃO DE NUTRIENTES

Os resultados referentes aos ensaios de separação das algas da lagoa B estão apresentados na Tabela 6, onde se observa as concentrações utilizadas para os percentuais de separação máxima gerada para cada produto utilizado. Nesta tabela também consta a avaliação de remoção dos nutrientes resultantes de cada produto.

Tabela 6 - Remoção e dosagens utilizadas

Produto	Cloreto Férrico 10%	Sulfato de Al 10%	Sulfloc 20%	Tanfloc 10%
Remoção máxima (%)	88,4	97,9	94,5	97,5
Concentração (mg/l)	300	150	290	100
Remoção de P (%)	100	100	100	37,9
Remoção de N (%)	--	5,5	5,5	---

Fonte: próprio autor

Assim, de acordo com os resultados apresentados, a biomassa escolhida para os ensaios de obtenção de biocombustível foi aquela separada com solução de sulfato de alumínio a 10%, que também apresentou a melhor porcentagem de remoção de nutrientes.

O percentual de remoção de N e P foi semelhante ao se utilizar o produto Sulfloc 20%, porém a concentração de sulfato de alumínio necessária para tanto foi inferior.

3.3 PIRÓLISE DA BIOMASSA

O resultado dos ensaios de produção de biocombustíveis via pirólise estão representados na Figura 4, onde o rendimento médio das fases sólida, líquida e gasosa foram comparados em relação à temperatura (400°C, 500°C e 600°C).

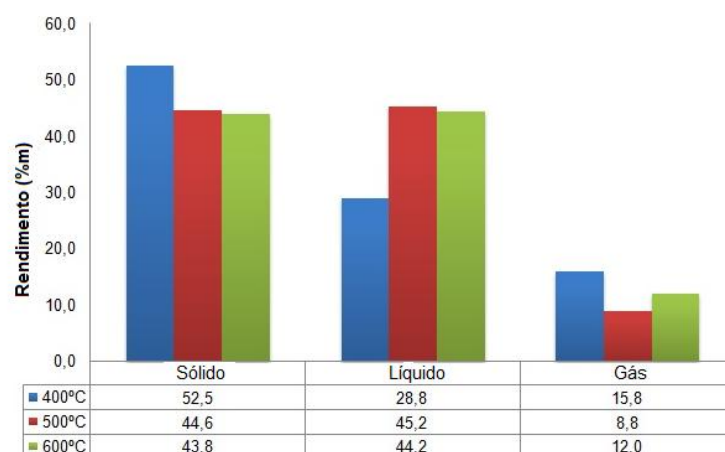


Figura 4 - Rendimento médio do processo de pirólise (Fonte: próprio autor)

Como pode ser visto, a temperatura influencia de forma direta o rendimento das frações. Sob temperatura de 400°C, houve o favorecimento da fração sólida, obtendo um rendimento médio de 52,5%.

A temperatura de 500°C favorece a obtenção da fração líquida (bio-óleo/água), com um rendimento médio de 45,2%. Para a temperatura de 600°C, há novamente o favorecimento da fase sólida, porém apresentando rendimento médio de 44,7%.

4 CONCLUSÕES

Nesse trabalho, a combinação entre o tratamento de esgotos sanitários e a produção de biocombustíveis através da pirólise da biomassa de algas obtida em lagoas fotossintéticas foi estudada. A biomassa obtida foi pirolisada em um sistema com forno tubular com aquecimento externo sob diferentes temperaturas. O estudo mostrou que o rendimento das frações é influenciado pela temperatura e que, operando em condições moderadas (400°C-600°C), foi possível obter rendimentos máximos superiores a 50% para a fase sólida, 40% para a fase líquida e 15% para a fase gás, o que confirma o processo de pirólise de biomassa de algas obtidas em sistemas de tratamento de esgoto como sendo uma alternativa promissora para controle da poluição ambiental com potencial de retorno econômico.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES pelo auxílio financeiro a esse projeto.

REFERÊNCIAS

- AKHTAR, J.; AMIN, N. S. A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16, p. 5101-5109, 2012.
- American Public Health Association (APHA), AWWA, WEF. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed., 4-108, 4-147, 2005.
- BALAT, M. et al. Main routes for thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part1: Pyrolysis systems. **Energy Conversion and Management**, 50, p. 3147-3157, 2009.

- BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae – A review of Technologies for production, processing and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 14, p. 557-577, 2010.
- CAI, T.; PARK, S. Y.; LI, Y. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 19, p. 360-369, 2013.
- CHEN, R. et al. Freshwater cultivation with animal waste for nutrient removal and biomass production. **Biomass and Bioenergy**, 39, p. 128-138, 2012.
- CHISTI, Yusuf. Biodiesel from microalgae. Research review paper. **Biotechnology Advances** 25, p. 294-306, 2007.
- DERMIBAS, M. F.; BALAT, M.; BALAT, H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. **Energy Conversion and Management** 50, p. 1746-1760, 2009.
- DISMUKES, G. C. et al. Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels. **Current Opinion in Biotechnology**, 19, p.235-240, 2008.
- DOSHI, V. A.; VUTHALURU, H. B.; BASTOW, T. Investigations into the control of odour and viscosity of biomass oil derived from pyrolysis of sewage sludge. **Fuel Processing Technology**, 86, p. 885-897, 2005.
- GRANADOS, M. R. et al. Evaluation of flocculants for the recovery of freshwater microalgae. **Bioresource Technology**, 118, p. 102-110, 2012.
- GRIMA, E. M. et al. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. **Biotechnology Advances** 20, p. 491-515, 2003.
- Mata, T. M., Martins, A. A., Caetano, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14, p. 217-232, 2010.
- Martini, P. R. R. **Conversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos**. PPGQ (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2009.
- NASCIMENTO, J. R. S. **Lagoas de alta taxa de produção de algas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (Dissertação de Mestrado) - UFRGS, 2001.
- Park, J. B. K.; Craggs, R. J.; SHILTON, A. N. Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. **Bioresource Technology**, 102, p. 35-42, 2011.
- PASSOS, F., SOLÉ, M., GARCÍA, J., FERRER, I. Biogas production from microalgae grown in wastewater: effect on microwave pretreatment. **Applied Energy**, 108, p. 168-175, 2013.
- PATE, R.; KLISE, G.; WU, B. Resource demand implications for US algae biofuels production scale-up. **Applied Energy**, 88, p. 3377-3388, 2011.

- RIAÑO, B. et al. Microalgal-based systems for wastewater treatment: Effect of applied organic and nutrient loading rate on biomass composition. **Ecological Engineering**, 49, p. 112-117, 2012.
- STURM, B. S. M.; LAMER, S. L. An energy evaluation of coupling nutrient removal from wastewater with algal biomass production. **Applied Energy**, 88, p. 3499-3506, 2011.
- TERIGAR, B. C.; THEEGALA, C. S. Investigating the interdependence between cell density, biomass productivity, and lipid productivity to maximize biofuel feedstock production from outdoor microalgal cultures. **Renewable Energy**, 64, p. 238-243, 2014.
- TRZECIAK, M. B et al. Utilização de sementes de species oleaginosas para produção de biodiesel. **Informativo ABRATES**, v. 18, n. 1, p. 30-38, 2008.
- UDOM, I. et al. Harvesting microalgae grown on wastewater. **Bioresource technology**, 139, p.101-106, 2013.
- Uduman, N. et al. Dewatering of microalgal cultures: A major bottleneck to algae-based fuels. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, 2, 2010.
- UM, B. H.; KIM, Y. S. Review: A chance for Korea to advance algal-biodiesel technology. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry** 15, p. 1-7, 2009
- VAN de VELDEN, M. et al. Fundamentals, kinetics and endothermicity of the biomass pyrolysis reaction. **Renewable Energy**, 35, p. 232-242, 2010.
- ZHANG, B. et al. Mechanism of wet sludge pyrolysis in a tubular furnace. **International Journal of Hydrogen Energy**, 36, p. 355-363, 2011.