

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO TÉRMICA - GGT

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL TÉRMICO DE BIOCARVÃO OBTIDO PELO PROCESSO DE PIRÓLISE RÁPIDA DA BIOMASSA DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS INVASORAS NOS RESERVATÓRIOS DA CTG BRASIL

FERNANDO ALVES FERREIRA(1); SONIA TOMIE TANIMOTO(1); JÚNIOR DA SILVA CAMARGO(1); RICARDO FAUSTINO RITS DE BARROS(2); PAULO RENATO DOS SANTOS(1); JOSE ALFREDO RAMOS VALVERDE(3); LAYSSA ALINE OKAMURA(1)
INSTITUTO SENAI DE INOVAÇÃO BIOMASSA(1); RIO PARANÁ ENERGIA S.A(2); RIO PARANA ENERGIA S.A(3)

RESUMO

Macrófitas fornecem biomassa, que podem ser utilizadas em pirólise rápida, formando biocarvão. O biocarvão pode ser usado na produção de energia térmica em fornos ou caldeiras. Avaliando o poder calorífico superior e inferior de *Eichhornia crassipes* (8,83 MJ/kg – 8,57 MJ/kg), *Nymphaeoides indica* (20,7 MJ/kg – 20,26 MJ/kg) e *Egeria najas* (6,46 MJ/kg – 6,29 MJ/kg) comparando com valores obtidos pela literatura para cavacos de madeira (*Eucalyptus dunni*, 19,02 MJ/kg - 17,67 MJ/kg), conclui-se que biocarvões de macrófitas apresentam um excelente potencial energético, um baixo índice de resíduos inorgânicos prejudiciais como derivados de cálcio, que podem danificar caldeiras e fornos.

PALAVRAS-CHAVE: *Eichhornia crassipes*, Poder calorífico, análise de inorgânicos, *Nymphaeoides indica*, *Egeria najas*

1.0 INTRODUÇÃO

As macrófitas aquáticas apresentam um papel importante na estruturação de outras comunidades aquáticas e para o funcionamento de ecossistemas aquáticos, atuando de forma direta e indireta nos ciclos dos elementos químicos essenciais e os considerados poluentes, representa fonte de energia para organismos aquáticos e mesmo para os terrestres que colonizam os ecossistemas aquáticos em parte de seu ciclo de vida (POTT & POTT, 2003). Quando encontram condições climatológicas adequadas, as macrófitas podem se desenvolver de forma descontrolada e excessiva, causando vários danos ecológicos e econômicos. Dentre eles, a redução da biodiversidade, especialmente de espécies exóticas, neste caso, a invasora domina um ecossistema. Em termos econômicos, destaca-se a interferência na navegação, pesca, recreação e o próprio acesso à água, que podem ocorrer em diferentes escalas, afetando os ecossistemas inteiros ou locais específicos. Além destes aspectos, as macrófitas podem interferir na produção hidrelétrica, como é caso da Usina Hidrelétrica Jupia (Engenheiro Souza Dias), situada no rio Paraná e pertencente ao conglomerado CTG Brasil, apresenta frequentemente problemas de baixa na vazão, devido ao excesso de macrófitas aquáticas invasoras, principalmente das espécies *Egeria najas*, *Egeria densa* e *Ceratophyllum demersum*. Em outros pontos é possível encontrar as espécies *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata*, *Azolla filiculoides*, *Typha domingensis*, *Ipomoea carnea* e *Urochloa arrecta* (CARRIER *et al*, 2011).

O levantamento da flora de macrófitas aquáticas presentes em um reservatório permite definir sua disponibilidade em termos de biomassa, além do reconhecimento de suas formas biológicas, pois para cada tipo apresentam requerimentos ambientais distintos e, como consequência, proporcionam quantidades distintas de lignina, celulose e hemicelulose, compostos estes que determinam os produtos formados em um processo de termoconversão (pirólise), obtendo como produtos bioóleos, biocarvão e biogás (CARRIER *et al*, 2011). Todas as espécies de macrófitas aquáticas com maiores percentuais de biomassa, presentes no reservatório de Jupia são invasoras e quando em excesso, podem causar impactos negativos na geração de energia. Entre 1994 a 2001 foram retirados mais de 54000 m³ de macrófitas aquáticas e outros materiais somente no reservatório de Jupia (MARCONDES *et al*, 2003).

O processo de pirólise consiste em um processo de conversão térmica de compostos orgânicos sólidos (biomassa ou materiais poliméricos sintéticos) em ambiente isento (ou com um mínimo) de oxigênio. A biomassa utilizada é avaliada, principalmente quanto ao seu teor de lignina, celulose e hemicelulose, esses compostos são convertidos a bioóleo, biocarvão e biogás. Os bioóleos formados, apresentam uma composição variada (hidrocarbonetos a ácidos orgânicos), que podem ser processados, utilizando catalisadores inorgânicos e convertidos

a compostos similares a biocombustíveis. O biocarvão, por sua vez, é constituído por uma mistura de carvão, resíduos de biomassa não convertido e compostos inorgânicos (óxidos e carbonatos metálicos) (DUARTE, 2018).

O objetivo principal deste trabalho foi a obtenção de bioóleo de pirólise, para conversão a greendiesel, porém, o percentual de biocarvão obtido durante o processo, permitiu a obtenção de dois produtos com potenciais energéticos, o bioóleo e o biocarvão como fontes de energia térmica.

2.0 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

A biomassa utilizada nesse trabalho foi coletada no rio Paraná, nas proximidades da cidade de Três Lagoas, foram lavadas com água corrente, secas a temperatura ambiente para eliminação da água presente, até um índice de umidade para trituração, realizada utilizando picadores e peneiras de granulometria equivalente a 20 mesh. A biomassa triturada foi seca em estufa até atingir índices de umidade inferior a 10%. A biomassa foi analisada, quanto ao teor de inorgânico, uma vez que plantas apresentam a capacidade de absorver compostos orgânicos e inorgânicos presentes no meio aquático, alguns metais comuns, como cálcio e magnésio, podem atuar como metais catalisadores de reação, interferindo de forma positiva ou negativa o processo de pirólise. Foi realizada uma análise de extrativos, com o intuito de avaliar o índice de lignina total, celulose e hemicelulose, compostos estes que influenciam de forma significativa nos produtos formados durante o processo de pirólise.

Para a obtenção do carvão, foi realizado um processo de pirólise rápida e reator de leito fixo á 450 °C e tempo de permanência de aproximadamente 60 minutos, utilizando como matéria prima biomassa de macrófitas, das espécies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides indica* e *Egeria najas*, o carvão produzido pelo processo corresponde a aproximadamente 40-60% m/m, o restante se divide em biogás e bioóleo. O poder calorífico (PC) foi determinado utilizando uma bomba calorimétrica e análise elementar. Considerando a quantidade de metais presentes na biomassa, foi realizada a análise de metais no carvão proveniente da espécie *Eichhornia crassipes*.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A prospecção e mapeamento das espécies, com o objetivo de produção de bioóleo e biocarvão contemplou 14 pontos pré-estabelecidos do sistema hidrográfico pertencente aos reservatórios de Jupia e Ilha Solteira, como demonstrado na FIGURA 1, na maioria dos pontos estudados, as macrófitas apresentam impactos negativos, seja na navegação, obstruindo os canais, ou na qualidade da água. Assim esses pontos demonstrou a disponibilidade de biomassa de macrófitas aquáticas invasoras propícias a ensaios para produção de bioóleo e biocarvão.

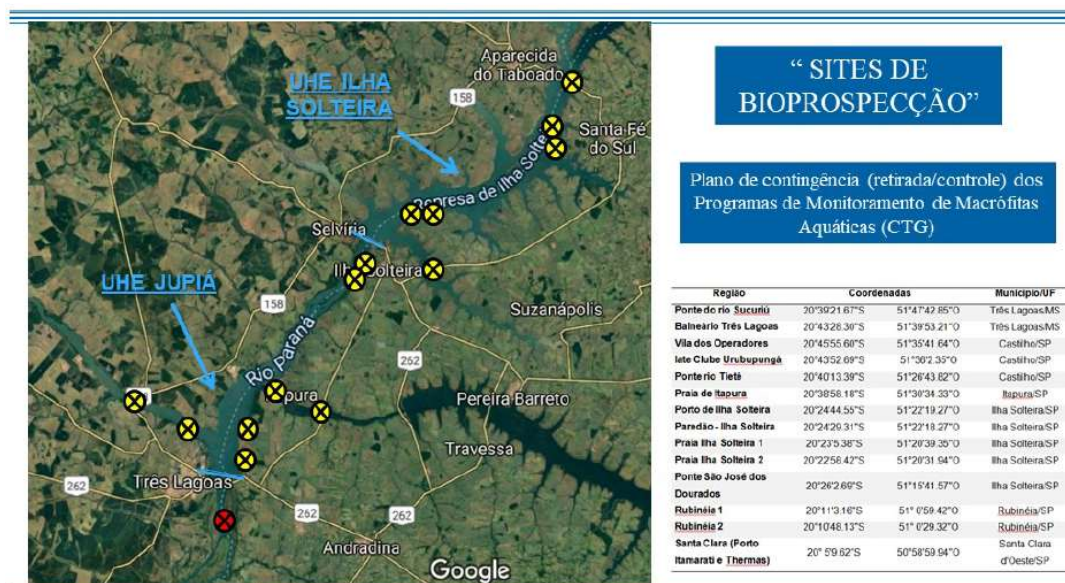


FIGURA 1: Localização dos pontos amostrais para coleta de biomassa proveniente de macrófitas aquáticas

Fonte: Google Earth, modificado pelo autor

Das espécies disponíveis para coleta, as mais comumente encontradas foram as espécies *Eichhornia crassipes*, também conhecida como aguapé ou jacinto d'água, *Nymphoides indica*, também conhecida como ananeira, robusto e floco de neve e *Egeria najas*, ver FIGURA 2, espécies essas classificadas respectivamente como flutuante livre, flutuante fixa e submersa fixa. A forma de fixação da espécie influencia também no índice de metais e inorgânicos presentes em sua composição, em geral, espécies fixas apresentam um índice de silício maior, devido a

disponibilidade desse elemento na fase sólida (areia), muito presente nos leitos e fundo dos rios (mais disponível para raízes fixas).



FIGURA 2: Imagens das espécies utilizadas para obtenção de biocarvão

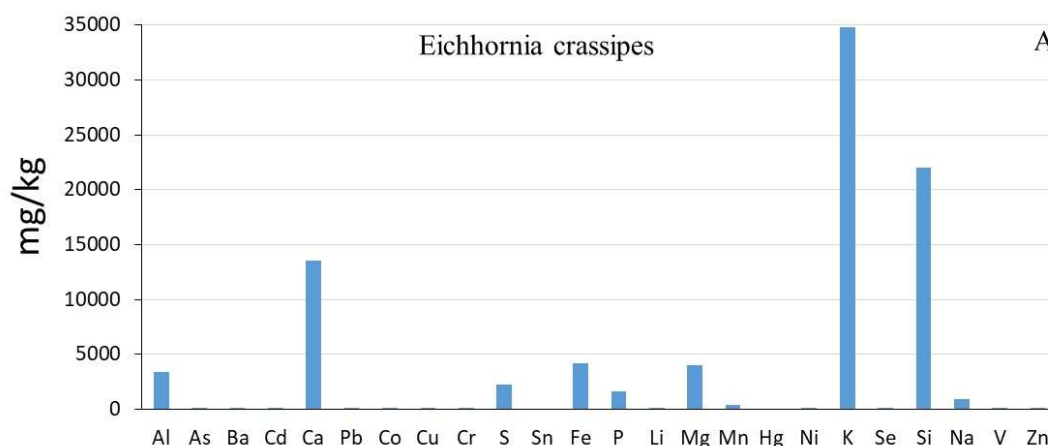
Fonte: autor

As espécies, após a coleta são higienizadas, com o intuito de eliminar todo e qualquer resíduo sólido presente, de forma a não interferir no processo de pirólise. Além da higienização, são secas, trituradas, peneiradas e secas novamente, até índice de umidade inferior a 10%. O processo de pirólise foi realizado em reator de leito fixo utilizando cerca de 200 g de matéria prima, aquecido até temperatura de 450 °C com tempo de permanência de 60 minutos, produzindo biogás, bioóleo e biocarvão. As espécies utilizadas nesse trabalho apresentaram teores de lignina consideráveis, como demonstrada na TABELA 1, demonstrando a viabilidade no uso destas espécies no processo de pirólise rápida.

TABELA 1: Análise de extrativos e cinzas

Análises percentual da biomassa				
Espécie	Lignina total	Celulose	Hemicelulose	Cinzas
Eichhornia crassipes	13,739	15,838	10,973	14,336
Nymphoides indica	19,477	6,049	7,936	6,265
Egeria najas	13,317	7,281	4,539	2,921

Estas espécies são comumente encontradas nos rios brasileiros, principalmente no rio Paraná, nas proximidades da cidade de Três Lagoas. São plantas de rápida multiplicação, apresenta cerca de 70% de água, uma boa quantidade de celulose, hemicelulose e lignina. Sua biomassa possui um baixo índice de metais, como demonstrado na FIGURA 3, características da região e do período da coleta. Note que o índice de ferro (Fe) presente é similar em todas as espécies, característica do solo regional, latossolo vermelho, ou seja, rico em ferro.



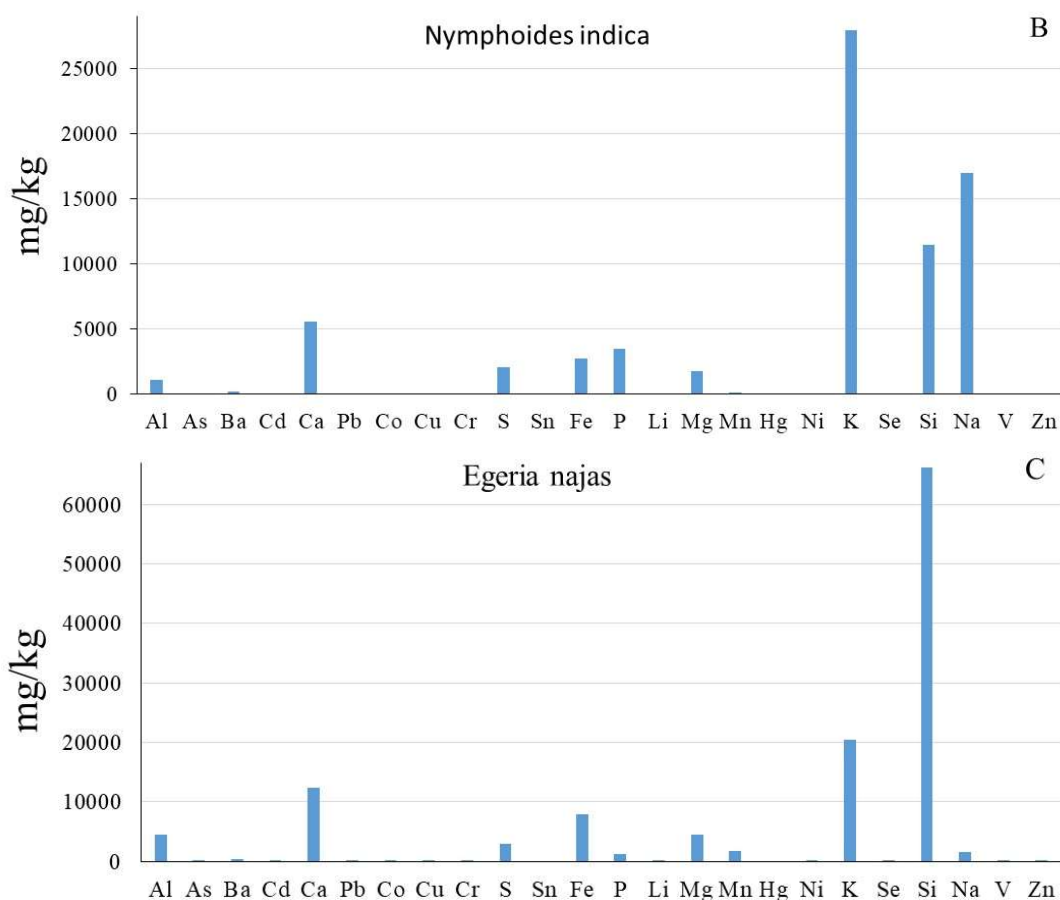


FIGURA 3: Análise de inorgânicos

As espécies utilizadas nesse trabalho são classificadas como A-flutuante livre, B-flutuante fixa e C-submersa fixa, note que, a absorção de metais ocorre de forma variada, devido a disponibilização do metal para a planta em questão. Sugerindo que essas plantas podem ser utilizadas para remediação de metais em meios aquáticos contaminados, o baixo índice de metais ocorre devido à baixa disponibilidade dos mesmos, porém, sua existência na biomassa, demonstra o potencial remediador destas espécies, permitindo seu uso em áreas contaminadas, sem que ocorra alteração no processo de pirólise. O processo de pirólise permite concentrar os metais presentes na fase sólida, como é possível observar no carvão formado a partir de *Eichhornia crassipes* (ver FIGURA 4). Demonstrando mais uma vez a viabilidade do uso destas espécies na descontaminação de áreas alagadas, para remoção do excesso de metais presentes nos ambientes aquáticos.

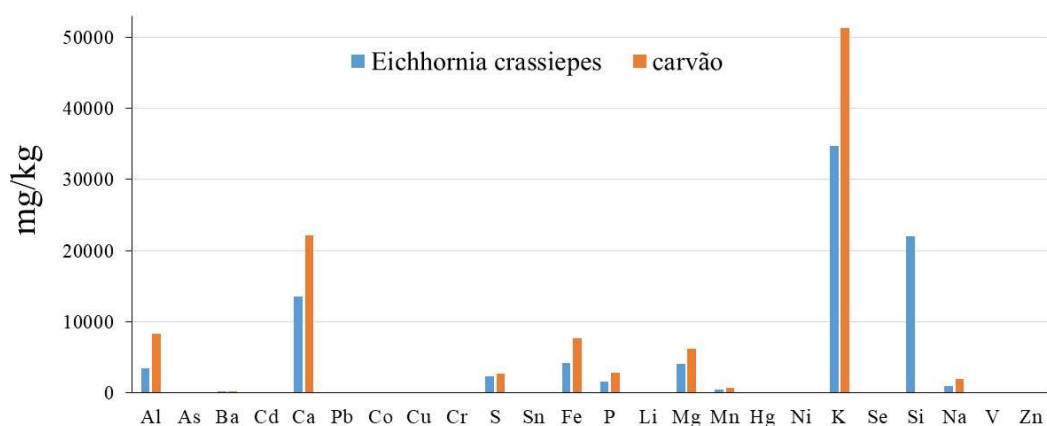


FIGURA 4: Análise de inorgânicos de carvão obtido de *Eichhornia crassipes*

Metais não são voláteis, dessa forma, durante o processo são concentrados no carvão, como demonstrado na Figura 2, onde é notável o aumento na quantidade dos metais. Os metais apresentam-se em baixas concentrações, porém, apesar da baixa quantidade podem resultar em uma grande quantidade de resíduos finais (cinzas). O processo de pirólise rápida de leito fixo é demonstrado na FIGURA 5. Onde podemos observar todas as partes integrantes de um reator de leito fixo, é importante que todo sistema seja bem vedado mantendo a pressão do sistema em torno de 150 mm H₂O. A entrada de ar ou vazamento dos materiais volatilizados implica em perda de produto seja por cabonização (entrada do ar) ou pela perda dos gases condensáveis.

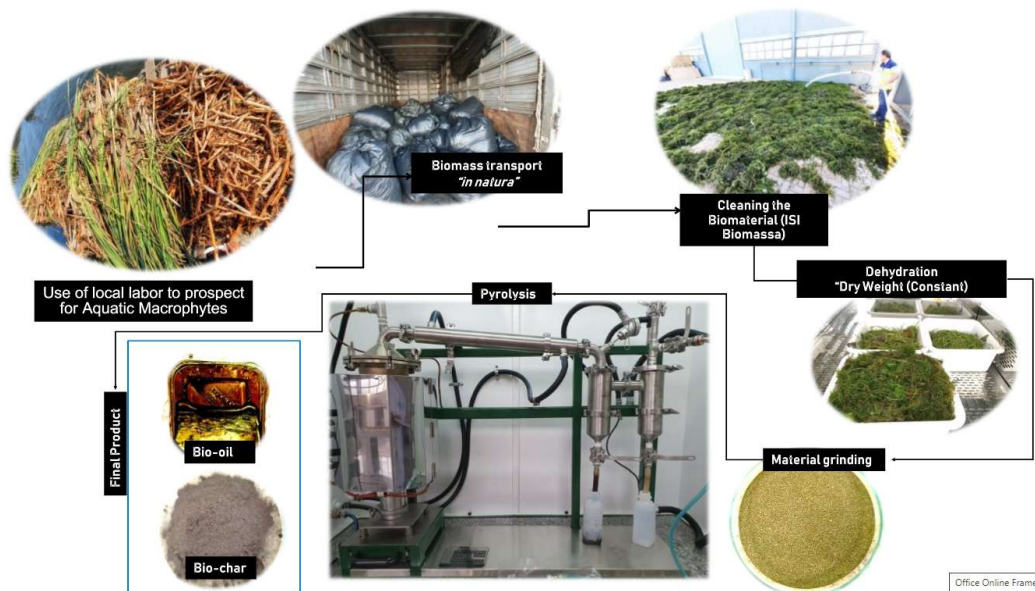


FIGURA 5: Etapas do processo de pirólise

O processo de pirólise rápida das espécies produz de 40-60% de biocarvão, a variação percentual depende da espécie utilizada, e do teor de celulose, hemicelulose e lignina presente na espécie, compostos estes essenciais para a produção de voláteis condensáveis. O carvão formado durante esse processo, foi avaliado quanto a sua composição elementar, como visto na TABELA 2.

TABELA 2: Análise elementar

Amostra	%N	%C	%H	%S	%O
<i>Eichhornia crassipes</i>	1,6639	32,5426	1,2810	0,0000	5,3431
	1,3423	31,9195	1,0967	0,0000	5,4300
Média	1,5031	32,2310	1,1889	0,0000	5,3866
Desvio	0,2274	0,4406	0,1303	0,0000	0,0615
<i>Nymphoides indica</i>	2,5855	52,7348	1,9918	0,0000	9,8667
	2,6965	52,6684	1,9472	0,0000	9,6499
Média	2,6410	52,7016	1,9695	0,0000	9,7583
Desvio	0,0785	0,0469	0,0316	0,0000	0,1533
<i>Egeria najas</i>	1,3910	16,5467	0,7970	0,0000	6,1592
	1,3443	15,4656	0,6732	0,0000	6,3435
Média	1,3677	16,0062	0,7351	0,0000	6,2513
Desvio	0,0330	0,7645	0,0876	0,0000	0,1303

A análise elementar demonstra que a espécie *Nymphoides indica* apresenta um elevado índice de carbono, porém, um elevado índice de oxigênio também, já a espécie *Eichhornia crassipes* apresenta um baixo índice de oxigênio e carbono, em todos o teor de hidrogênio presente é baixo, o que pode influenciar no poder calorífico do carvão formado, como demonstra a TABELA 3. Que demonstra o poder calorífico (ou potencial energético) do material sólido formado, entretanto em todas as espécies, o índice de cinzas torna-se elevado, devido ao elevado teor de inorgânicos presentes. Pode ocorrer formação de carbonatos metálicos, compostos esses insolúveis e que necessitam de elevada temperatura para conversão a óxidos.

TABELA 3: Poder calorífico e teor de hidrogênio

Análises Biochar					
Espécie	Hidrogênio (%)	PCS (MJ/Kg)	PCI (MJ/Kg)	PCS (Kcal/Kg)	PCI (Kcal/Kg)
Eichhornia crassipes	1,1889	8,83951	8,570904448	2112,695927	2048,495327
Nymphoides indica	1,9695	20,7006	20,2556419	4947,567604	4841,214604
Egeria najas	0,7351	6,45991	6,293831578	1543,957249	1504,261849

O poder calorífico apresentado pelas espécies demonstra valores baixos, porém, promissores, uma vez que o biocarvão obtido consiste de um resíduo sólido do processo de pirólise, onde o componente de interesse foi o bioóleo, que será convertido a bicomcombustível. De acordos com valores obtidos na literatura, o poder calorífico de madeira (*Eucalyptus dunni*) possui valores em torno de 19,02 MJ/kg - 17,67 MJ/kg, dentre os avaliados, o poder calorífico da espécie *Nymphoides indica* ser a mais promissora na combustão para geração de energia.

Os carvões podem ser utilizados ainda para remoção de compostos orgânicos (ou inorgânicos) presentes no meio aquático, reterendo em sua estrutura física (poros) e química (grupos funcionais) os compostos presentes, adsorvendo ou absorvendo os poluentes presentes (filtros).

4.0 CONCLUSÃO

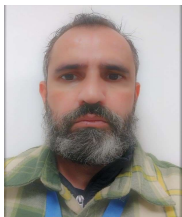
O monitoramento e manejo das macrófitas aquáticas se faz necessário, uma vez que estas se tornam um problema ambiental, devido a sua capacidade expressiva de multiplicação, e econômica, uma vez que sua interferência pode interferir na navegação, pesca e produção e energia hidrelétrica, prejudicando o abastecimento de água nas turbinas geradoras de energia.

O processo de pirólise rápida em leito fixo é comumente utilizado para produção de bioóleo e biogás, o biocarvão formado, pode ser utilizada como substituinte de madeira ou carvão para aquecimento de caldeiras e/ou geração de energia térmica. Comparando os valores de poder calorífico fornecidos pela literatura, nota-se que o biocarvão de *Nymphoides indica* apresenta valores próximos aos descritos na literatura para cavacos de madeira e um baixo índice de metais em sua composição.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CARRIER, M.; LOPPINET-SERANI, A.; DENUX, D.; LASNIER, J.; HAM-PICHAVENT, F.; CANSELL, F.; AYMONTIER, C. Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, p. 298-307, 2011.
- (2) DUARTE, L. F. C. Pirólise de Macrófitas Lemnáceas para obtenção de Bio-óleo. Londrina: UTFPR (2018). Retrieved from: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10303>, acessado em 12/09/2021.
- (3) MARCONDES, D. A. S.; MUSTAFÁ, A. L. E TANAKA, R. H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupia. In: Thomaz, S. M. & Bini, L. M. (eds) *Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas*. Maringá, EDUEM, p. 300-317, 2003.
- (4) POTT, V. J.; POTT, A. Dinâmica da vegetação aquática do Pantanal. In: Thomaz, S. M.; Bini, L. M. (eds). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá, Eduem. 2003. p. 145-162 (2003).

DADOS BIOGRÁFICOS



Fernando Alves Ferreira - Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Mestrado em Botânica pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Doutor Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pelo Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura NUPELIA/Universidade Estadual de Maringá e Pós-Doutorado (PNPD-CAPES), vinculado a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul & Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas. Atualmente, Pesquisador Especialista Visitante vinculado ao Instituto Senai de Inovação Biomassa, desenvolvendo atividades no Projeto MacroFuel (CTG Brasil –ISI Biomassa).

(2) SONIA TOMIE TANIMOTO

Bacharel em Química (1995-1999) pela Universidade Estadual de Maringá, Mestre em Ciências-Química Analítica-Eletoanalítica (2000-2002) e Doutorado em Ciências-Química Analítica-Eletoanalítica-Eletoquímica (2002-2006) pelo Instituto de Química de São Carlos-USP. Atuou com bolsa de Pós-Doutoramento em Química-Eletoquímica-Eletoanalítica em pesquisa envolvendo métodos de eletrodeposição para proteção a corrosão, incluindo testes de corrosão ligas de alumínio e Biosensores a base de carbono para detecção de fármacos (2006-2009) no Instituto de Química de São Carlos-USP. Atuou também como Pós-Doutoramento em Química-Eletoquímica em pesquisas envolvendo Eletrocatalise para oxidação de Etanol (2009-2011) na UFABC. Profissionalmente, atuou como professor-pesquisador no ensino superior (2011-2019), atualmente atua como pesquisador-especialista no ISI-Biomassa.

(3) JÚNIOR DA SILVA CAMARGO

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), campus de Ilha Solteira-SP, atuando na produção, caracterização e avaliação do potencial ad-absorvivo de biochar de macrófitas aquáticas. Graduado em Química Industrial pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), campus de Dourados-MS, com experiência em Eletoanalítica, Eletoquímica e Química Analítica. Atualmente é Pesquisador de Desenvolvimento Técnico Industrial no Instituto SENAI de Inovação em Biomassa, localizado em Três Lagoas-MS, na área de catálise química, especificamente em hidrotreatamento catalítico, reações de hidrodessoxigenação (HDO) de bio-óleo pirolítico, processos de pirólise e pirólise catalítica.

(4) RICARDO FAUSTINO RITS DE BARROS

Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho- AEMS (Três Lagoas/MS) 2021

Formação superior em Engenharia Agrônoma – UNESP (Ilha Solteira/SP) 2016. Analista de Meio Ambiente CTG Brasil (2017-2021)

(5) PAULO RENATO DOS SANTOS

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas e doutorando em Química pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, atualmente como Pesquisador Industrial no Instituto Senai de Inovação em Biomassa em Três Lagoas MS. Atuo no departamento de energia e sustentabilidade nas áreas de biocombustíveis e bioenergia.

(6) JOSE ALFREDO RAMOS VALVERDE

Biólogo, Especialista em Meio Ambiente e Gerenciamento de Projetos de Eficiência Energética. Atualmente é analista de projetos - CTG Brasil. Tem experiência nas áreas Gerenciamento de Projetos atuando principalmente: Gerenciamento de Projetos de pesquisa e desenvolvimento; Inovação; Gestão Ágil; Energias renováveis.

(7) LAYSSA ALINE OKAMURA

Graduada em Química Ambiental pela UTFPR com Iniciação Científica na área de Engenharia de Materiais/Análise eletroanalítica. Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental na UTFPR. Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Bioenergia (USP-UNESP-UNICAMP). Atuou como pesquisadora bolsista da empresa Energia Limpa do Brasil, no desenvolvimento de tecnologias "waste to energy". Desde 2015 atua como pesquisadora industrial, líder na área de energia e sustentabilidade, no Instituto SENAI de Inovação em Biomassa e atualmente é coordenadora de pesquisa do Instituto. Possui experiência em prospecção, gestão e desenvolvimento projetos de inovação nas áreas de processos termoquímicos de geração de energia e biocombustíveis.