



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO ACADÊMICO EM QUÍMICA**

ARGEMIRO LIMA PEDROSA

**UTILIZAÇÃO DO CARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DO CAPIM ANDROPOGON
(*Andropogon gayanus* Kunt cv. Planaltina) PARA O PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE TINTA POR FILTRAÇÃO**

Gurupi - TO

2019

ARGEMIRO LIMA PEDROSA

**UTILIZAÇÃO DO CARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DO CAPIM ANDROPOGON
(*Andropogon gayanus* Kunt cv. Planaltina) PARA O PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE TINTA POR FILTRAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Química e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientadora: Profa. Dra. Grasielle Soares Cavallini

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza

Gurupi/TO

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

P372u Pedrosa, Argemiro Lima .
Utilização do carvão produzido a partir do capim Andropogon
(Andropogon gayanus kunt cv. planaltina) para o pós-tratamento de
efluente de indústria de tinta por filtração. / Argemiro Lima Pedrosa. –
Gurupi, TO, 2019.
88 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do
Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-
Graduação (Mestrado) em Química, 2019.
Orientadora : Grasielle Soares Cavallini
Coorientador: Marcelo Mendes Pedroza

1. Biocarvão. 2. Pirólise. 3. Filtração descendente. 4. Remoção
ions metálicos. I. Título

CDD 540

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que
citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

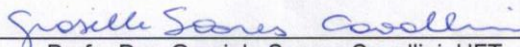
FOLHA DE APROVAÇÃO
ARGEMIRO LIMA PEDROSA

**UTILIZAÇÃO DO CARVÃO PRODUZIDO A PARTIR DO CAPIM
ANDROPOGON (Andropogon gayanus Kunt cv. Planaltina) PARA O
PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE TINTA POR
FILTRAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química - PPGQ, Campus Universitário de Gurupi. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Química e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 28 / 03 / 19

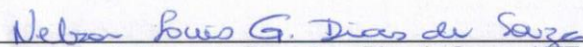
Banca Examinadora



Prof. Dra. Grasielle Soares Cavallini, UFT



Prof. Dr. Sandro Xavier de Campos, UEPG



Prof. Dr. Nelson Luis Gonçalves Dias de Souza, UFT

Gurupi, TO

Dedico este trabalho à minha família pela paciência, tolerância, amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por conceder muita saúde, paciência, dedicação aos estudos, por não deixar que eu desistisse. Além de me conceder sabedoria e mostrar os caminhos nas horas de incertezas e desânimos;

Aos meus pais, Vicente Severo de Lima e Adalgiza Pedrosa de Lima, pelo dom da vida;

A minha família, esposa Alixandra Moreira Lima e filhos, Thamara Moreira Lima Pedrosa e Lorenzo Moreira Lima Pedrosa, pelo carinho e paciência a mim concedido;

À minha orientadora, Profa. Dra. Grasielle Soares Cavallini, pelo apoio, disponibilidade, atenção, muita paciência, incentivo, ensinamentos e por ter contribuído com a minha aprendizagem e crescimento profissional;

Ao meu Coorientador, Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza, pela sua disponibilidade em ceder o espaço do laboratório LARSEN e de Saneamento Ambiental do IFTO – Campus Palmas, para que eu pudesse desenvolver a minha pesquisa, além de sempre estar disponível para tirar minhas dúvidas e ter contribuído para com a minha aprendizagem e crescimento profissional;

Aos professores(as) que ministram aulas no curso de Mestrado em Química Prof. Dr. Douglas Henrique Pereira, Prof. Dr. Douglas Azevedo Castro, Prof. Dr. Wellington Francisco, Profa. Dra. Vanessa Mara Chapla, Profa. Dra. Grasielle Soares Cavallini, Profa. Dra. Mônica Alessandra Silva Alencar, Profa. Dra. Carolina Porto Prados, pelo apoio e realização deste trabalho, e por todo aprendizado que colaboraram para minha formação científica, pessoal e profissional;

Aos meus amigos, pelo companheirismo nessa grande jornada, em especial aos do Laboratório LARSEN do IFTO – Campus Palmas, Evanúzia Miranda, Elaine Paz, Aymara, e aos alunos bolsistas que fazem uso deste laboratório, pela colaboração em várias etapas deste trabalho;

Aos meus amigos das 1ª. e 2ª. turmas do Curso de Mestrado, Igor, Helttoney, Loanny, Luana, Wesley, Elaine, Keleen, Marquim, Kadja, Gabriel, Castro e outros, pelo companheirismo, força e dedicação aos estudos. Vocês me incentivaram bastante;

Aos professores Doutores componentes da banca de defesa pelas sugestões e dicas importantes;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Tocantins – IFTO.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar o potencial da biomassa proveniente do capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus* Kunt cv. Planaltina) na produção de carvão pelo processo de pirólise para uso em sistemas de filtração para o pós-tratamento de efluente de indústria de tintas. O capim *Andropogon* apresenta crescimento rápido e ocorrência natural no estado do Tocantins, tornando esta proposta uma alternativa sustentável para a produção do carvão. O efluente gerado pela indústria de tintas é de difícil degradação e apresenta elevada concentração de sólidos, matéria orgânica e metais, como, sais de alumínio, cádmio, cobalto, zinco, cromo e cobre. Nesta pesquisa o carvão produzido foi avaliado em escala laboratorial como meio filtrante para o pós-tratamento do efluente final de uma indústria de tintas de porte médio, a qual apresenta sistema de tratamento composto por coagulação, seguida de decantação. A biomassa em estudo foi coletada no entorno da cidade de Palmas, TO e caracterizada por análises imediatas (teor de umidade, cinzas, massa volátil, carbono fixo e densidade aparente), análise elementar (CHSN-O), determinação de compostos específicos (celulose/hemicelulose/lignina), pH, espectroscopia no infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). O carvão produzido foi caracterizado por análises imediatas, elementares, microscópicas, termogravimétricas (TG), granulométricas e de área superficial (BET/N₂). Para o processo de filtração com o biocarvão, foram utilizados três filtros descendentes, sendo dois filtros de areia e um do carvão. A eficiência dos filtros foi avaliada pelos parâmetros: cor, turbidez, remoção de sólidos totais, suspensos e sedimentáveis, DQO e íons metálicos (alumínio, cobre, zinco, cobalto, cádmio e cromo hexavalente). De acordo com os limites estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011, pode-se constatar que apenas a concentração do íon cobre ultrapassou o valor máximo permitido pela legislação. Os íons metálicos com maior toxicidade ao ambiente: alumínio, cádmio e cromo, foram removidos com eficiência de 99,99%, 99,77% e 99,58%, respectivamente. As remoções de DQO e sólidos atingiram níveis bem próximas da totalidade, e os parâmetros turbidez e cor foram reduzidos com eficiência superior a 90%. Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que o carvão produzido pela pirólise da biomassa de capim *Andropogon* apresenta características favoráveis a retenção de íons metálicos, remoção de matéria orgânica e sólidos de efluentes, as quais podem ser justificadas principalmente pela porosidade e área superficial do biomaterial.

Palavras-Chave: Biocarvão. Pirólise. Filtração descendente. Remoção íons metálicos. Reúso.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the biomass potential of andropogon grass (*Andropogon gayanus* Kunt cv. Planaltina) in the production of coal by the pyrolysis process for use in filtration systems for the post-treatment of paint industry effluent. The andropogon grass presents rapid growth and natural occurrence in the state of Tocantins, making this proposal a sustainable alternative for the production of charcoal. The effluent generated by the paint industry is difficult to degrade and presents high solids concentration, organic matter and metals, such as aluminum, cadmium, cobalt, zinc, chromium and copper salts. In this research the produced coal was evaluated in laboratory scale as a filter medium for the post-treatment of the final effluent of a medium-sized paint industry, which presents a treatment system composed of coagulation, followed by decantation. The biomass under study was collected around the city of Palmas-TO, and, characterized by immediate analysis (moisture content, ashes, fixed, volatile mass, carbon and apparent density), elemental analysis (CHSN-O), determination of specific compounds (cellulose, hemicellulose, lignin), pH, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscope (MEV). The charcoal produced was characterized by immediate analysis, elementary, microscopic analysis, thermogravimetric (TG), particle size analysis and surface area determination (BET/N₂). For the filtration process with the coal, three descending filters were used, being of these, two filters of sand and one of the coal. The efficiency of the filters was evaluated by the following parameters: color, turbidity, removal of total solids, suspended and settleable, Chemical Oxygen Demand and heavy metals. According to the parameters presented by Resolution CONAMA n° 357/05, it can be seen that only the concentration of copper exceeded the maximum permitted by the legislation. The metals with greater toxicity to the environment: Al, Cd and Cr, were removed with 99.99%, 99.77% and 99.58% efficiency, respectively. The removals of COD and solids reached very close levels of totality, and turbidity and color parameters were reduced with an efficiency greater than 90%. The results obtained in this work show that the coal produced by the pyrolysis of *Andropogon* grass biomass, presents characteristics favorable to the retention of metals, removal of organic matter and effluent solids, which are mainly justified by the porosity and surface area of the biomaterial.

Key-words: Biochar. Pyrolysis. Downward filtration. Metal removal. Reuse

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Estágios de crescimento do capim Andropogon	35
Figura 2-	Esquema do processo de pirólise da biomassa e seus produtos	35
Figura 3-	Fluxograma metodológico	37
Figura 4-	Amostragem do capim Andropogon: crescimento, coleta, moagem e secagem (a, b, c e d), respectivamente	38
Figura 5-	Formato dos brinquedos utilizados no processo de pirólise	40
Figura 6-	Reator de pirólise de leito fixo usado para produção de carvão	40
Figura 7-	Fração do carvão obtido através do processo de pirólise do capim.	41
Figura 8-	Sistema de filtração usado para filtrar o efluente da indústria de tintas	44
Figura 9-	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da biomassa do capim Andropogon, seca in natura, triturada no moinho de facas e passada em peneiras	51
Figura 10-	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de outros tipos de biomassas de Capim. Corte transversal Brachiaria brizantha cv Marandú), Panicum Maximum cv Mombaça, Colmo de Sorgo e Capim Elefante cv Napier (a, b, c e d), respectivamente	52
Figura 11-	a) Espectro de FTIR da biomassa do capim Andropogon (em transmitância); b) Espectros de FTIR de Marandu, Elefante e Mombaça (em absorbância)	53
Figura 12-	Microfotografias do carvão obtido do Capim Andropogon pelo processo de pirólise	59
Figura 13-	Microfotografias do carvão obtido do capim elefante pelo processo de calcinação	60
Figura 14-	Análise Termogravimétrica (TG e TGA) do Carvão do capim Andropogon	61
Figura 15-	Isotermas do carvão obtido da biomassa do capim andropogon	62
Figura 16-	Remoção do azul de metileno nas taxas de filtração de 300 mL.h ⁻¹ (1,3m ³ .m ⁻² .dia) e 500 mL.h ⁻¹ (2,1m ³ .m ⁻² .dia), respectivamente	64
Figura 17-	Desempenho do filtro de carvão nessas duas diferentes taxas de filtração: 1,7 e 1,9 m ³ .m ⁻² .dia ⁻¹	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1–	Principais constituintes presentes nas tintas	20
Tabela 2-	Características básicas referente ao capim Andropogon	34
Tabela 3-	Métodos físico-químicos para caracterização da biomassa <i>in natura</i>	38
Tabela 4-	Fatores e níveis empregados no planejamento experimental 2 ⁴⁻¹	42
Tabela 5-	Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial 2 ⁴⁻¹	42
Tabela 6-	Métodos físico-químicos para caracterização da biomassa <i>in natura</i> e capim Andropogon	46
Tabela 7-	Resultados das Análises Imediatas da Biomassa do Capim Andropogon, (planta inteira), comparado com os resultados de outras gramíneas e da casca de arroz, de outros autores	47
Tabela 8-	Teores de celulose, lignina e hemicelulose da biomassa do capim Andropogon, comparado com os valores de outros tipos de biomassas na literatura	48
Tabela 9-	Comparação entre os resultados obtidos pela caracterização do capim Andropogon e outros tipos de biomassa	49
Tabela 10-	Rendimento das frações sólidas (carvão), líquidas (bio-óleo) e gasosa, no processo de pirólise proposto para à biomassa do capim Andropogon	54
Tabela 11-	Rendimento de produtos durante a pirólise em reator, para diferentes biomassas (% em base úmida) e seus componentes	55
Tabela 12-	Análises Imediatas e a umidade do carvão do capim Andropogon, em diferentes temperaturas no processo de pirólise	56
Tabela 13-	Valores descritos na literatura para diferentes tipos de carvão	57
Tabela 14-	Análise elementar do carvão proveniente da biomassa do capim Andropogon em comparação com outros resultados da literatura	58
Tabela 15-	Valores da área superficial (BET) do carvão desse estudo obtido do capim Andropogon e dos resultados de outros tipos de carvões	63
Tabela 16-	Caracterização físico-química do efluente antes e após o processo de filtração com carvão obtido da pirólise do capim Andropogon	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivo específico	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Consumo de água na indústria	17
3.2	A indústria de tintas	19
3.2.1	Etapas do processo de fabricação de tinta base água	20
3.2.2	Características do efluente da indústria de tintas	21
3.2.3	Processos de tratamento de efluentes utilizados na indústria de tintas	23
3.3	O processo de filtração	26
3.3.1	Mecanismos e tipos de filtração	27
3.3.2	Aspectos construtivos dos filtros	30
3.4	Utilização de biocarvões como meio filtrante	31
3.4.1	Características da biomassa para produtos de biocarvões	32
3.5	Biomassa do capim Andropogon	33
3.6	Processos de pirólise para obtenção de carvão	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Coleta e beneficiamento do capim Andropogon	37
4.2	Caracterização físico-química da biomassa do capim Andropogon	38
4.2.1	Análise Elementar de CHNS da biomassa do capim Andropogon	38
4.2.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da biomassa do capim Andropogon	38
4.2.3	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)	39
4.3	Processo de pirólise e suas etapas	39
4.3.1	Elaboração de briquetes da biomassa do capim Andropogon	39
4.3.2	Pirólise da biomassa de capim Andropogon realizada em reator de leito fixo	40

4.3.2.1	<i>Planejamento experimental do processo e pirólise da biomassa</i>	41
4.4	Caracterização do carvão obtido do capim Andropogon	42
4.5	Efluente da indústria de tintas à base de água	42
4.5.1	Local de coleta do efluente da indústria de tintas	42
4.6	Caracterização granulométrica do meio filtrante	43
4.7	Ensaio preliminar de filtração utilizando o carvão do capim Andropogon na remoção de azul de metileno	43
4.8	Ensaio de filtração utilizando o carvão do capim Andropogon e efluente industrial	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Composição e caracterização físico-química da biomassa e do carvão do capim Andropogon	46
5.1.1	Caracterização da biomassa in natura do capim Andropogon	47
5.1.1.1	<i>Densidade aparente da biomassa do capim Andropogon</i>	47
5.1.1.2	<i>Análise Imediata da biomassa do capim Andropogon</i>	47
5.1.1.3	<i>Teores de celulose, lignina e hemicelulose da biomassa do capim Andropogon</i>	48
5.1.1.4	<i>Análise Elementar (análise aproximada final) – CHNS da biomassa do capim Andropogon</i>	49
5.1.5	Análises Instrumentais	50
5.1.5.1	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da biomassa do capim Andropogon</i>	50
5.1.5.2	<i>Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier-FTIR</i>	53
5.2	Etapas do processo de pirólise para produção de carvão e sua caracterização físico-química	54
5.2.1	Rendimentos dos produtos obtidos da pirólise do capim Andropogon conforme o planejamento experimental 2 ⁴⁻¹	54
5.2.2	Caracterização do carvão obtido a partir do capim Andropogon	55
5.2.2.1	<i>Determinação do pH do carvão do capim Andropogon</i>	55
5.2.2.2	<i>Densidade aparente e Análises Imediatas do carvão do capim Andropogon</i>	56
5.2.2.3	<i>Análise Elementar – CHNS do carvão obtido do capim Andropogon</i>	57
5.2.2.4	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), do carvão obtido da biomassa do capim Andropogon</i>	58

5.2.2.5	Análise Termogravimétrica - (TGA) do carvão obtido da biomassa do capim Andropogon	60
5.2.2.6	<i>Resultados da área superficial e volume dos poros (BET) do carvão obtido da biomassa do capim Andropogon</i>	62
5.3	Utilização do carvão obtido do capim Andropogon em sistema de filtração	63
5.3.1	Eficiência do processo de filtração utilizando solução de azul de metileno	63
5.4	Utilização do carvão do capim Andropogon em sistema de filtração para o tratamento de efluente de indústria de tintas	65
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Abrafati (2017), o Brasil destaca-se entre os cinco maiores produtores mundiais de tintas, e no ano de 2017 o país foi responsável pela produção de 1,535 bilhões de litros do produto.

No processo de produção de tintas, os produtos utilizados basicamente são, pigmentos, resinas, solventes e aditivos, os quais geram uma grande quantidade de efluentes de difícil degradação. Dentre os pigmentos inorgânicos, destacando-se: óxidos de zinco, vermelho óxido de ferro, negro de fumo, sais de cádmio cobalto e níquel, amarelo óxido de ferro, selenetos e sulfoselenetos, azul da prússia (hexacianoferrato (II) de ferro (III)), cromatos e molibdatos de chumbo e zinco, bem como pigmentos extendedores, como: carbonato de cálcio e silicatos de magnésio e alumínio (CETESB, 2006; SARON e FELISBERTI, 2006; MATOS, 2017).

Segundo Saron e Felisberti (2006), os colorantes são classificados em pigmentos e corantes, e são diferenciados entre si, quanto ao tamanho das partículas e a sua solubilidade em água ou outro tipo de solvente. Os pigmentos por serem, geralmente, formados de partículas de tamanhos maiores com relação aos corantes, tem a característica de serem insolúveis em polímeros. Os pigmentos apresentam como vantagens o menor custo, a menor toxicidade, a menor migração para a superfície dos materiais e a não evaporação. No entanto, como desvantagens, os pigmentos conferem opacidade ao material pintado, são geralmente abrasivos e de difícil dispersão na mistura.

A grande preocupação quanto a geração das águas residuárias provenientes de plantas têxteis e de fabricação de tintas, se justifica pelo fato destas indústrias corresponderem aos maiores consumidores de água e produtos químicos nos seus processos. Sendo responsáveis pela produção de efluentes com odor forte, turbidez e cor elevadas, além de carga orgânica tóxica proveniente de solventes, bactericidas, óleos, agentes conservantes e agentes tensoativos (VERMA et al. 2012).

Devido a especificidade dos pigmentos, não há uma padronização quanto aos métodos de tratamento mais adequados aos efluentes gerados (ZANONI, et al. 2001). Os métodos convencionais mais utilizados são: precipitação química, ozonização, eletro-floculação, coagulação química, oxidação, tratamento biológico, ultrafiltração, tratamento eletroquímico, troca de íons, filtração por membranas e adsorção. As

tecnologias de adsorção recebem destaque, por serem meios eficazes no tratamento de efluentes industriais, quanto a remoção de metais, corantes e surfactantes, e por apresentarem vantagens, como, simplicidade de projeto, menor área de operação, baixo custo de projeto inicial e fácil operação (PALLU et al. 2012).

De acordo com Baccar et al. (2009), o carvão ativado por ser um material eficiente e de alta capacidade de adsorção, vem sendo amplamente utilizado no tratamento de água e efluentes, porém dependendo da origem da matéria-prima, como madeira, linhite e carvões minerais o custo de sua produção é elevado (GUO e LUA, 1998). Nesse contexto, Auta e Hameed (2011), destacam que existe um grande interesse na utilização de materiais alternativos de baixo custo que possam ser empregados na produção de carvão, tais como, cascas de coco, turfas, resíduos de petróleo, cascas de arroz, de nozes, ossos de animais, grãos de café, caroços de pêsegos, de ameixas e de amêndoas (CLAUDINO, 2003; SANTOS, 2003; SANTOS & MANDELLI, 2008; RAMOS et al. 2015).

Segundo Gurgel e Gil (2009), os adsorventes da linha verde ou ditos renováveis, apresentam características adequadas para implementação em escala industrial, e grande eficiência na eliminação de turbidez, odor, cor, mau gosto e substâncias contaminantes, contribuindo para o desenvolvimento de materiais ecológicos para aplicação no tratamento de efluentes provenientes da crescente industrialização. Barakat (2011), descreveu que muitos tipos de adsorventes são utilizados na remoção de íons metálicos da água, como: carvão ativado, resinas, fibras poliméricas, biossorvente e minerais óxidos (GUNATILAKE, 2015; LIU et al. 2018; DENG et al. 2003; SUDNARANI et al. 2018). Considerando esta problemática, este trabalho tem como objetivo estudar a retenção de íons metálicos (alumínio, cobre, zinco, cádmio, cobalto e cromo hexavalente), sólidos suspensos e sedimentáveis, cor e turbidez, por filtração, utilizando como meio filtrante o carvão obtido do processo de pirólise da biomassa do capim *Andropogon*, para o tratamento de efluente de indústria de tintas. A proposta apresentada para o tratamento deste efluente visa satisfazer os critérios estabelecidos pelas Resoluções CONAMA 357/2005 e 430/2011, quanto ao lançamento do efluente em corpos hídricos, como também, avaliar o potencial de reúso do efluente tratado (EPA, 2012).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar em escala laboratorial a aplicação do carvão obtido da biomassa do capim Andropogon (*Andropogon gayanus Kunt cv. Planaltina*) como meio filtrante para o tratamento de efluente de indústria de tintas.

2.2 Objetivos específicos

- Obter o carvão a partir da biomassa do capim andropogon (*Andropogon gayanus Kunt cv. Planaltina*) por processo térmico (pirólise);
- Caracterizar o carvão obtido por análises físico-químicas;
- Realizar estudos prévios para avaliar o desempenho do meio filtrante para remoção do corante catiônico azul de metileno;
- Avaliar o potencial de remoção de sólidos totais e suspensos, cor, turbidez e íons metálicos (alumínio, cobre, zinco, cádmio, cobalto e cromo hexavalente) de efluente da indústria de tintas, utilizando o carvão como meio filtrante;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Consumo de água na indústria

De acordo com Giordano (2004), a utilização da água na indústria de tintas pode ocorrer durante a lavagens de máquinas, tubulações e pisos, em sistemas de resfriamento e geradores de vapor, na utilização direta nas etapas do processo industrial e em instalações sanitárias. Sendo assim, nas diversas etapas do processo industrial ocorre a geração de efluentes líquidos, os quais demandam de tratamentos específicos conforme o grau de contaminação adquirido no processo.

No Brasil, a Resolução nº 357/2005, complementada pela Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação de corpos hídricos e os padrões de lançamento de efluentes nos mesmos (MMA, 2014), e a partir destes valores limites as formas de tratamento podem ser propostas com o objetivo de minimizar os impactos causados pelo lançamento do efluente gerado.

A Conferência Interparlamentar sobre o desenvolvimento do meio ambiente, realizada em Brasília em dezembro de 1992, destaca a recomendação de esforços a nível nacional para institucionalizar a reciclagem e reúso de água, sempre que possível. Em que reutilização do efluente tratado é uma alternativa sustentável que pode gerar economia para indústria e redução dos impactos (HESPANHOL, 2003a).

Segundo Hespanhol (2002), a falta de experiência em reúso planejado e institucionalizado no Brasil, demanda a implementação de projetos pilotos, assim, após a fase experimental, as unidades pilotos se tornariam sistemas de demonstração, sendo utilizada para o treinamento, pesquisa e o desenvolvimento do setor. Na concepção de Tomaz (2002), apesar da falta de legislação para o reúso da água no Brasil, a sua disseminação é implícita.

Ainda quanto as práticas de reúso no Brasil, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabelece na resolução nº 54/2005 as modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água:

- I) reúso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos,

desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

- II) reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- III) reúso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- IV) reúso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais.

Vale ressaltar que esta Resolução não estabelece as características físico-químicas atribuídas a estas modalidades, o que dificulta a aplicabilidade do reúso no Brasil. Brandimarte (1999) *apud* Macêdo (2001), evidencia alternativas quanto a reutilização da água em funções específicas, nas quais apesar da alteração de sua qualidade físico-química e microbiológica pode ser reutilizada sem tratamento, como por exemplo, a utilização da água do chuveiro, após o banho, na descarga do vaso sanitário ou para a lavagem do quintal.

Para Macêdo (2001), no setor industrial a reciclagem já vem sendo utilizada, devido a fatores econômicos, pois a reciclagem da água reduz os gastos que estão envolvidos com a aquisição da própria água e também por diminuir o volume de efluentes a ser lançado no corpo receptor. Muitos países são adeptos a este tipo de reaproveitamento, como é o caso de Israel, onde 70% de seu esgoto é reciclado para uso na irrigação e na Europa onde existem cidades que reusam a água até 14 vezes (ARNT; 1995, BRANDIMARTE, 1999; VIGNOLI, 2000 *apud* MACÊDO, 2001).

A competitividade e as condicionantes ambientais fazem com que as indústrias sejam incentivadas a optar pela prática de reúso de água, com o intuito de reduzir os gastos com as companhias de saneamento. Devido a diversidade de processos existentes na indústria, a reutilização da água sem a necessidade de tratamento também é uma alternativa, e nesse caso recebe a denominação de reúso direto, e reflete ainda mais na economia da empresa (FIRJAN, 2006; TELES e COSTA, 2007). Para esta finalidade são avaliados a utilização anterior da água e os fins a que se destina, prevendo seus efeitos a partir de suas características e o descarte mínimo de efluente (MANCUSO e SANTOS, 2003; TELLES e COSTA, 2007).

3.2 A Indústria de tintas

No processo de recobrimento de superfícies contra o ataque de intemperismo, as tintas são materiais de uso mais comum, sendo essenciais na proteção e conservação de estruturas. Além do efeito protetor, as tintas, vernizes e as lacas, mantêm os artigos manufaturados mais elegantes e enaltece o aspecto estético. Na evolução deste setor os agentes de recobrimento foram alavancados com incentivos voltados a pesquisas, com o intuito de buscar constituintes de melhor qualidade e formulação para a adaptabilidade dos processos de aplicação. Os recobrimentos arquitetônicos alcançaram uma melhoria mais significativa, reduzindo custos de produção, obtenção de revestimentos de melhor qualidade, maior durabilidade, menor riscos de incêndios e efeitos danosos à saúde (SHREVER e BRINK, 1980).

Desde a pré-história os pigmentos naturais são empregados, estes pigmentos são provenientes de processos de natureza física (trituração, maceração), enquanto os artificiais, são obtidos por meio de processos físico-químicos, como por exemplos, o tratamento térmico, os quais alteram a natureza química e mineralógica da constituição original (ANA, 1978 e FURUKAWA *et al.* 2006). Os pigmentos também podem receber a classificação de orgânicos ou inorgânicos. Os compostos orgânicos, foram muito frequentemente relatados em registros etnográficos, no entanto, foram esporadicamente nomeados ou reconhecidos por razões biogênicas ou climatológicas, isso porque, muitos pigmentos apresentavam em sua composição a presença de microrganismos, os quais na presença de umidade, temperatura e exposição solar biomineralizavam o material, atrapalhando sua identificação (VANDENABEELE *et al.* 2000). Segundo Buzgar *et al.* (2009), muitos materiais orgânicos são trabalhosos de serem produzidos, o que também pode ter limitado a produção de corantes orgânicos na época. Os pigmentos naturais inorgânicos, apresentam-se na forma natural como ocres, terras coloridas, entre outros, em pinturas rupestres, os óxidos metálicos foram os mais identificados, o que se justifica pela excelente estabilidade química e térmica destes compostos (VANDENABEELE *et al.* 2000; CASQUEIRA e SANTOS, 2008).

De acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas – ABRAFATI (2015), o segmento de tintas, no Brasil apresenta uma atividade industrial muito importante gerando em torno de 18 mil empregos diretos. No ano de 2010, o Brasil

atingiu uma produção em torno de 359 bilhões de litros de tintas para as mais diversas aplicações, apresentando tecnologia de ponta e alto grau de competência técnica, fazendo parte dos mais avançados centros mundiais de produção.

Em função da evolução histórica, os recobrimentos de superfícies foram divididos em: revestimentos sólidos, relativamente opacos, aplicados em camadas finas, cujas partículas são usualmente formadas pela polimerização de óleos poli saturados; lacas, películas formadas somente pela evaporação; vernizes, revestimentos transparentes; tintas de impressão; polidores, dentre outros (ABRAFATI, 2015). Os principais constituintes das tintas, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais constituintes presentes nas tintas.

Produtos	Linhas/Varietades
Resinas	a) Sintéticas: alquídicas, acrílicas, vinílicas, celulósicas, ésteres de resina de pinho, epóxis, uréia-melanina, uretanas, estireno, fenolíticas, hidrocarbonetos, poliésteres. b) Naturais: goma-laca, resina de pinho (colofonia) e outras.
Solventes	cetonas, aromáticos, alifáticos, alcoóis, éteres de glicóis, ésteres de glicol éter, glicóis, ésteres de glicóis, produtos corados, terpenos etc
Óleo secativos e ácidos graxos	óleo de linhaça, óleo de soja, ácidos graxos, óleo de sebo, óleo de rícino, óleo de tungue, óleo de açafraão, óleo de peixe, óleo de coco, óleo de oiticica.
Pigmentos e Fileres	dióxido de titânio, carbonato de cálcio, salicilato de magnésio, argila, corantes inorgânicos, sulfato de bário, mica, oxido de zinco, pó de zinco, zarcão, materiais metálicos, negros de carvão, corantes orgânicos, alvaiade.
Secantes	cobalto, manganês, chumbo e zinco, naftenatos, resinatos, linoleatos, 2 – etilexoatos, sebacatos,
Plastificantes	ésteres octílico, decílico, 2 – etilexílico dos ácidos ftálico, sebácico, adípico, azelaico e outros semelhantes.

Fonte: Adaptado de SHREVE E BRINK (1980).

3.2.1 Etapas do Processo de Fabricação de Tinta Base Água

Yamanaka et al. (2006), descrevem as etapas de produção de tintas à base de água da seguinte forma: pré-mistura e dispersão, completagem, filtração e envase. No processo de pré-mistura são adicionados em um tanque sob agitação a água, os

aditivos, carga mineral e os pigmentos. Após a homogeneização completa e dispersão dos reagentes, ocorre o processo de completagem, nesta etapa são adicionados água, emulsão, aditivos, coalescentes e o produto da dispersão. As etapas de filtração e envase, são processos que ocorrem simultaneamente, finalizando o processo produtivo.

Segundo Shreve e Brink (1980), no processo de mistura das tintas, as operações necessárias, são inteiramente físicas, porém, quanto a fabricação dos constituintes das tintas, bem como na secagem da película, estes ocorrem por conversões químicas. De acordo com Yamanaka et al. (2006), a produção de tintas à base de água, são uma alternativa para a redução de compostos orgânicos voláteis (COV), e por isso a maior parte de sua aplicação é destinada ao setor imobiliário, com predominância das tintas látex.

O pigmento branco primeiramente é submetido a um processo de moagem em moinhos de esferas até adquirir uma granulometria bem fina, para posterior adição de água para formação de uma suspensão aquosa. Os pigmentos coloridos são líquidos e utilizados diretamente no processo de completagem. Na completagem é definido o tipo de tinta produzida, como: econômicas, premium, emborrachadas, complementos, standards e tintas para pisos. Assim como, a cor adequada da tinta, misturando os pigmentos coloridos com o pigmento branco, em porcentagens pré-definidas, para atingir à tonalidade desejada. A qualidade da tinta produzida é avaliada em laboratório pelos parâmetros: secagem, brilho, cor correta, cobertura, pH, viscosidade, secagem, trinca e aplicação. O produto testado segue para a filtragem em filtro de organza, para que ocorra a retirada de possíveis resíduos. O envase é realizado automaticamente através de sistema de injeção, para posteriormente ser encaminhado para a embalagem do produto, armazenamento, expedição e venda (CUSTÓDIO, 2014).

Conforme Yamanaka *et al.* (2006), destaca que na fabricação de tintas à base de solventes, apenas a ordem de adição dos componentes é alterada.

3.2.2 Características do efluente da indústria de tintas

No decorrer das várias etapas dos processos de produção de tintas geram-se efluentes com características distintas. Em operações industriais com mistura simples, os efluentes são provenientes de lavagens de equipamentos e da higiene pessoal dos

funcionários. Em indústrias com produção das bases para fabricação das tintas, geram-se as águas de condensação, as quais são tóxicas e apresentam elevada carga orgânica. Para redução da carga orgânica tóxica associada a concentração de metais, são utilizados sistema de tratamento compostos por processos físico-químicos, e complementados por processos biológicos aeróbios. Destaca-se ainda que as eficiências desse sistema de tratamento são bastante variáveis, e dependentes das concentrações iniciais do efluente bruto (SILVA, 2012 e GANDHI, 2012).

As fábricas de produção de tintas produzem grandes volumes de efluentes com elevada toxicidade, em decorrência do consumo de muitos produtos químicos ao longo do processo de produção. As plantas de fabricação de tintas, produzem águas residuárias que caracterizadas por apresentarem elevada turbidez, coloração, odor forte, e cargas elevadas de substâncias tóxicas, tais como, solventes, bactericidas, agentes tensoativos, óleos e agentes conservantes (VERMA *et al.* 2012).

De acordo com Silva (2012), as indústrias devem ter o seu próprio sistema de tratamento de efluentes atendendo as suas especificidades. E ao longo do seu processo, buscar atender as legislações ambientais, que regulamentam as condições nas quais o efluente possa vir a ser descartado em corpos receptores. Se o sistema de tratamento é voltado para o reúso, o efluente desta indústria deve obedecer às normas internas e legislações ambientais.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, Resolução nº 430/2011, determina que as empresas geradoras de resíduos líquidos, devem conscientizar-se que o objetivo prioritário das mesmas, é a não geração destes, ou tendo como o segundo plano, buscar minimizá-los quer seja pela sua redução, reutilização, reciclagem ou tratamento, para então, serem descartados, oferecendo um menor risco para o meio ambiente. Em decorrência disto, verifica-se que os métodos convencionais de tratamento desses resíduos, tanto químicos ou por digestão biológica, não conseguem atender as normas de lançamento de efluentes, sendo necessária a busca por tratamentos avançados para alcançar este objetivo. Para Giordano (2004), a principal finalidade dos sistemas de tratamento de efluentes industriais é o atendimento à legislação ambiental, todavia, busca-se também, o reúso do efluente tratado.

3.2.3 - Processos de tratamento de efluentes utilizados na indústria de tintas

Segundo Cavalcanti (2009), existem três métodos quanto a remoção dos contaminantes presentes nos efluentes industriais, os quais são classificados em químicos, físicos e biológicos. Estes métodos podem ocorrer por meio de operações unitárias (métodos físicos) ou processos unitários (métodos químicos e biológicos) isolados ou combinados.

Nunes (2004), descreve que os métodos de tratamento para remoção dos contaminantes, apresentam-se em níveis:

a) Tratamento preliminar ou tratamento físico: remove sólidos grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável. Os equipamentos utilizados são grades, desarenadores (caixas de areia), peneiras e caixas de retenção de óleo e gordura;

b) Tratamento primário ou tratamento físico-químico: remove matéria orgânica ou inorgânica (preferencialmente) em suspensão, e parcialmente a DBO. As etapas de tratamento incluem processos químicos seguidos por operações unitárias, como por exemplo, a precipitação química, coagulação, floculação e decantação e a flotação por ar dissolvido;

c) Tratamento secundário ou biológico: remove matéria orgânica dissolvida e em suspensão. Os processos mais utilizados são lodos ativados, lagoas de estabilização, sistemas anaeróbios com alta eficiência, lagoas aeradas e filtros biológicos;

d) Tratamento terciário ou avançado: são aplicados quando se requer efluentes de alta qualidade ou remoção de substâncias que não são removidas nas etapas anteriores. São utilizados a adsorção em carvão ativado, osmose reversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química e desinfecção.

Conforme Cavalcanti (2009), a escolha dos processos ou operações unitárias, dependem das características físico-químicas do efluente. A relação entre os parâmetros DQO e DBO (DQO/DBO) podem ser utilizadas para esta escolha, se a relação for menor que 2,5, o efluente é facilmente biodegradável, se apresentar valores entre 2,5 e 5, a escolha do tratamento biológico deve ser cautelosa para que haja uma remoção desejável da carga orgânica, para valores acima de 5, os

processos biológico não são indicados e processos químicos podem ser empregados.

Com o objetivo de reduzir a carga orgânica, a concentração de metais e a toxicidade de efluentes gerados pela fabricação de tintas, são utilizados processos físico-químicos, seguidos por processos biológicos. Uma configuração usual é a utilização de uma etapa de equalização do efluente, para posterior coagulação/floculação e sedimentação, e como etapa final o processo de lodos ativados pode ser adotado (GIORDANO, 2004).

Conforme Cavalcanti (2009), os processos físico-químicos normalmente visam a clarificação do efluente por meio da aglutinação de partículas que estão em suspensão, mediante a adição de produtos como coagulantes e floculantes. Este método apresenta uma boa eficiência quanto a remoção de turbidez e de alguns tipos de metais dissolvidos na fase líquida, transformando-os em hidróxidos metálicos, favorecendo, portanto, a sua precipitação. A aplicação de alcalinizantes no processo de mistura rápida pode ser empregada com o intuito de provocar a precipitação química de metais e matéria orgânica. Posteriormente, na mistura lenta, ocorre a floculação, facilitando o choque entre as partículas e favorecendo a formação de flocos maiores, que poderão ser removidos por sedimentação, flotação ou filtração (NUNES, 2004). Os tempos em que ocorre a reação para mistura rápida dos coagulantes, são normalmente baixos, apenas segundos, quanto a floculação, os tempos de reação são mais longos, exigindo, portanto, que a mistura seja lenta, entre 10 e 15 minutos, com o intuito de se preservar os flocos (CAVALCANTI, 2009). Os fatores que podem influenciar o processo de clarificação química, são: o tipo de coagulante empregado, a quantidade, a velocidade de agitação e o valor do pH (CEMIN, 2012).

Em sistemas mais refinados, a adsorção pode ser utilizada como tratamento terciário do efluente, principalmente em casos de reúso. Nunes (2004), apresentam algumas das principais substâncias adsorptivas empregadas em sistemas de tratamento de efluentes, sendo elas: areia, cinzas, carvão vegetal, turfa e carvão ativado. O carvão ativado por possuir uma área superficial elevada, porosa e com potencial de regeneração, apresenta eficiência na remoção de cor, sólidos em suspensão, matéria orgânica não biodegradável, nutrientes como fosfatos e nitratos, entre outros (TCHOBANOGLIOUS, 1991). Kunz (2002), destaca que os melhores resultados, são encontrados com os processos de adsorção em carvão ativado,

contudo, a adsorção de corantes de caráter catiônico, apresenta-se limitada, devido à superfície química do carvão, que normalmente, vem a ser positiva.

Para Akyol (2012), o tratamento de efluentes de indústrias têxteis e de produção de tintas por métodos convencionais, tais como, química ou degradação biológica, são geralmente, ineficazes, demandando o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento e/ou a reutilização dessas águas residuárias. Zhao *et al.* (2016), Hajati *et al.* (2015), Cazeta *et al.* (2011), Hameed *et al.* (2007) e Gupta (2009), destacam a importância da utilização do carvão vegetal obtido a partir do bambu, o qual tem atraído a atenção mundial, devido a biodegradabilidade deste adsorvente.

Muitos métodos convencionais de remoção de poluentes orgânicos de efluente provenientes da indústria de tintas são citados na literatura, como: coagulação/eletro-floculação (EL-ASHTOUKHY *et al.*, 2015; FREITAS *et al.* 2015; AKYOL *et al.* 2012; ZHRIM *et al.* 2011; ZODI *et al.* 2009; ZONGO *et al.* 2009; MO *et al.* 2007; ABOULHASSAN *et al.* 2006; JEWELL *et al.* 2004); ozonização, tratamento biológico, tratamento eletroquímico (AQUINO *et al.* 2014; DIAMADOPOULOS *et al.* 2009); precipitação química, oxidação química (MANENTI *et al.* 2015; HAYAT *et al.* 2015; MANENTI *et al.* 2014; TROVÓ *et al.* 2013 ; KURT *et al.* 2006); nanofiltração membranas (ZHRIM *et al.* 2011; FERSI e DHAHBI, 2008; SUKSAROJ *et al.* 2005); adsorção (SARASA *et al.* 1998; KONSOWA *et al.* 2003; CIARDELLI e RANIERI, 2001; FAN *et al.* 2008; OGUZ *et al.* 2007; KIM, *et al.* 2005; BOWEN E WELFOOF, 2002; ROBINSON *et al.* 2002; SINGH *et al.* 2002); (KEHINDE e AZIZ, 2015; PANG e ABDULLAH, 2013) e filtração (BRAILE, 1993; PERRY, 1999; METCALF & EDDY, 2003; FARIZOGLU *et al.* 2003; TORKZABAN, 2008; PETOSA *et al.* 2010; YUAN *et al.* 2012; HAMODA *et al.* 2004; LUBELLO *et al.* 2004; e DI BERNARDO, 2003).

De acordo com Farizoglu *et al.* (2003), o processo de filtração em meios granulares, tem sido recentemente aplicado no tratamento terciário de água residuárias e tem apresentado relevância considerável. Conforme Bradford e Torkzaban (2008), Petosa *et al.* (2010) e Yuan *et al.* (2012), a utilização do processo de filtração no tratamento de águas residuárias podem alcançar os limites estabelecidos para o lançamento em corpos receptores, e ainda apresentar padrões mais elevados de qualidade.

3.3 O processo de filtração

Segundo Perry (1999), a filtração é caracterizada pela separação de uma mistura que ocorre entre fluido-sólido, em que a passagem da suspensão ocorre através de um material poroso que permite o escoamento do líquido, retendo as partículas sólidas e coloidais. A filtração de ação superficial ou filtração com formação de torta, ocorre quando as dimensões médias dos sólidos suspensos são maiores que as dos poros. O processo de filtração com ação de profundidade predomina quando os sólidos são retidos durante a percolação do leito pelo fluido, sendo ambos os casos, governado pela lei de Darcy. A lei de Darcy (Equação 1) indica a proporcionalidade entre a queda de pressão no leito e a taxa de filtração, em que o coeficiente de proporcionalidade é totalmente dependente da viscosidade do fluido e a resistência do meio ao escoamento.

$$Q = \frac{-kA (p_b - p_a)}{\mu L} \quad (1)$$

Onde, k: permeabilidade do meio, $(p_b - p_a)$: queda de pressão, μ = viscosidade do fluido, L = distância e A = área da seção transversal (A).

Stumm e Morgan (1996) e Tien e Ramarao (2007), ressaltam que para atingir bons resultados em filtros de profundidade é necessário compreender as condições para a remoção ideal dos sólidos em suspensão, as quais dependem das forças de dupla camada elétrica (EDL) e as forças de London – Van der Waals. O equilíbrio de forças repulsivas e atrativas, é resumido no modelo de interação de Derjaquin-Landau-Verweyp-Overbeek (DLVO), o qual é aplicado com sucesso para filtração de água (BRADFORD e TORKZABAN, 2008 e YUAN *et al.* 2012). Elimelech *et al.* (1995) e Lee *et al.* (2014), afirmam que devido a natureza das águas residuárias outras forças podem ocorrer, tais como, forças capilares, interações estéricas, ligação de hidrogênio, interação hidrofóbica e ponte de polímeros. Para Yuan *et al.* 2012, o comportamento coloidal biótico, também pode desempenhar um papel significativo na agregação e deposição, no entanto, a incerteza quanto a natureza das interações, constitui uma lacuna de conhecimento que existe entre os processos de filtração de água potável e a crescente prática de filtração de águas residuárias.

Hamoda *et al.* (2004) e Lubello *et al.* (2004) salientam que os meios filtrantes

mais utilizados em processos de filtração de estações do tratamento de água residuárias, são areia e carvão antracite. Em um sistema de tratamento terciário de águas residuárias utilizando areia como meio granular, apresentou eficiência de remoção 70%, 56% e 38%, respectivamente, para os parâmetros sólidos suspensos, sólidos solúveis voláteis e DQO, além de ser eficiente também na remoção de vírus e bactérias patogênicas. Quanto ao uso de carvão ativado granular (CAG), este apresenta-se como um meio mais eficiente, uma vez que vários contaminantes que estão dissolvidos no efluente, também são removidos por adsorção, porém, apresenta custo elevado.

Segundo Rocha (2006), o objetivo de minimizar a relação custo/benefício, tem incentivado a utilização de diferentes matérias-primas para a produção de novos carvões, como os resíduos agrícolas e rejeitos industriais.

3.3.1 – Mecanismos e tipos de Filtração

De acordo com Di Bernardo (2003) e Richter (1991), o transporte, a aderência e o desprendimento compõem os três mecanismos responsáveis pela filtração. Os principais fatores que definem os mecanismos são: as características físicas-químicas da partícula, da água ou efluente, do meio filtrante, a taxa de filtração e o método de operação dos filtros. Os mecanismos de transporte deslocam as partículas que estão em suspensão para que possam chegar próximas da superfície dos coletores (areia ou outro material granular), as quais poderão ficar presas ao meio granular por forças superficiais, que resistem às forças de cisalhamento resultantes das características do escoamento ao longo do meio filtrante. No momento em que essas forças superam as forças de aderência, tem-se o desprendimento. Quando a taxa de filtração (velocidade de aproximação) for constante, ela irá interferir na velocidade de escoamento nos poros, que é denominada de velocidade intersticial, aumentando, portanto, em decorrência das partículas que são retidas, causando o arraste dessas partículas para subcamadas inferiores do meio filtrante (filtro descendente), as quais serão carregadas para a água filtrada, podendo ocasionar o fenômeno que é conhecido como transpasse.

A taxa de deposição das partículas no meio filtrante aumenta à medida que a interação partícula-partícula encontra-se sob condições favoráveis, ou seja, ausência

de repulsão interpartícula. Isto é atribuído ao fato das partículas depositadas atuarem como coletores adicionais. Na filtração em meio poroso, este fenômeno é denominado de amadurecimento do filtro (DIAS, 2004).

A filtração pode ser classificada conforme a sua taxa filtração, na qual para taxas superficiais baixas (2 a 6 m³/m²dia) é denominada como filtração lenta e para taxas superficiais altas (120 a 380 m³/m²dia) é denominada filtração rápida. Também pode ser classificada quanto ao tipo de meio filtrante utilizado, como filtração em meios porosos (camadas argilosas, filtro de papel) ou em meios granulares (areia, antracito, cascalho e combinados). Outra forma de classificação se refere ao fluxo do filtrado, o qual pode ser ascendente, descendente e misto (DI BERNARDO, 2003).

De acordo com Huisman e Wood (1974), na filtração lenta ocorrem os seguintes mecanismos para retenção das partículas: a ação física de coar, a sedimentação, a difusão, o impacto inercial, a ação hidrodinâmica, a interceptação, a adsorção e após algum tempo de filtração a formação de superfície de coesão. A filtração lenta é caracterizada por apresentar eficiência na produção de efluentes com baixa quantidade de impurezas suspensas e dissolvidas, e também ser uma barreira microbiológica, eficiente na retenção de bactérias, vírus entéricos e protozoários, além de apresentar baixos custos e facilidade de construção e operação, economia de água por necessitar de menos limpeza do que filtros rápidos e menor geração de lodo (DI BERNARDO, 2003). Como desvantagem podem-se destacar a demanda de maiores áreas em relação aos filtros rápidos para a produção da mesma quantidade de água, mão de obra para limpeza, grandes variações de qualidade da água como aumento de turbidez e presença de certos tipos de algas (HUISMAN e WOOD, 1974; MANZ, 2004).

Segundo Brinck (2009), a menor dimensão dos grãos de areia do filtro lento em relação ao filtro rápido, permite que as impurezas sejam removidas quase totalmente, se depositando em uma fina camada biologicamente ativa (schmutzdecke) que se forma no topo do leito filtrante nos primeiros 10 a 20 dias de operação, onde a matéria orgânica dissolvida é adsorvida e metabolizada pelas bactérias, fungos e protozoários. O processo físico-químico que ocorre no filtro rápido, possibilita a remoção dos sólidos dentro do material granular (conhecido como filtração de profundidade) que ocorre após o processo de coagulação, seguido ou não de altas taxas de decantação. Nesse sentido, Metcalf & Eddy (2003), definem que a filtração, combina processos físicos,

químicos e, nestes casos biológicos, ocorrendo, principalmente, nas camadas superficiais do material filtrante, onde os sólidos são retidos.

No caso de filtros rápidos de gravidade (descendentes), operados a uma carga hidráulica de $200\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, é esperada uma eficiência de remoção de 65 a 80% de sólidos em suspensão, e também, de 20 a 35% do valor da DBO. Na visão de Richter (1991), em filtros rápidos descendentes a remoção de sólidos do efluente ocorre nas camadas superiores do leito filtrante, produzindo uma perda de carga que aumenta velozmente com o passar do tempo, e por isso, são mais utilizados em estações de tratamento de água. Outra alternativa usual é a utilização de filtro de camada dupla composta de areia e outro material poroso (antracito), possibilitando o aumento considerável da taxa de filtração favorecida pelo processo de filtração com ação de profundidade (CHEREMISINOFF, 1998). A filtração rápida exige menores intervalos de retrolavagens, usualmente 24 a 48 horas, devido ao maior fluxo de efluente tratado, a velocidade de filtração pode atingir 300 vezes a velocidade da filtração lenta, por isso, a atividade biológica em filtros rápidos é relativamente baixa (BAR-ZEEV *et al.*, 2012).

A filtração direta consiste na inclusão da etapa de coagulação, ocasionalmente a floculação, para posterior filtração. Apesar de proporcionar melhorias, o seu emprego pode ser limitado a vazão de efluente a ser tratado, ocasionando variações na qualidade do efluente tratado, principalmente quando ele apresenta: valores elevados de cor verdadeira e turbidez, presença de coliformes, vírus, protozoários e outros microrganismos patogênicos (DI BERNARDO, 2002).

A dupla filtração ou filtração em múltiplas etapas, consiste na junção de sistemas de filtração compostos por filtros com fluxo ascendente e descendente (DI BERNARDO, 2002). Comparada com a filtração direta, a dupla filtração apresenta as seguintes vantagens: proporciona o uso de taxas de filtração mais altas no filtro ascendente, viabiliza o tratamento de água com pior qualidade, disponibiliza maior segurança do ponto de vista operacional em relação às variações bruscas de qualidade da água bruta, a remoção total de microrganismos é maior, e não necessita do descarte do efluente do filtro ascendente no início da carreira de filtração, pois essa água será filtrada no filtro descendente (PROSAB, 1999).

3.3.2 – Aspectos construtivos dos filtros

Di Bernardo e Frezotti (1991), afirmam que para a construção de filtros, a porosidade do leito granular merece significativa atenção, por isso, a realização de ensaios granulométricos utilizando peneiras padronizadas são imprescindíveis. O coeficiente de uniformidade (CU) é um parâmetro determinado por ensaio granulométrico (Equação 1) e tem grande importância no processo de filtração.

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

Onde, D_{60} corresponde ao diâmetro de poro da peneira que permite a passagem de 60% (em massa) da areia, e D_{10} corresponde ao diâmetro de poro da peneira que permite a passagem de 10% (em massa) da areia (FARIA, 2000). A Norma Brasileira – NBR 13969 (1997) e a Agência Americana – USEPA (1999), recomendam que o CU da areia de um filtro seja inferior a quatro. Quanto menor o valor de CU, mais uniforme será o material e mais profunda será a retenção de impurezas, permitindo uma maior carreira de filtração. Na concepção Healy *et al.* (2007), este parâmetro é diretamente proporcional ao tamanho dos grãos de areia. Assim sendo, quanto maior o valor de CU, maior será o tamanho dos grãos de areia.

Outro parâmetro importante é o diâmetro efetivo, o qual de acordo com a NBR 6502 (1995), corresponde a abertura de poro da peneira que permite a passagem acumulada de 10% da amostra considerada, ou seja, é o tamanho dos grãos abaixo do qual ficam 10% da massa total da amostra. No Brasil a NBR 13969 (1997) recomenda que o diâmetro efetivo da areia do leito de filtros varie entre 0,25 e 1,20 mm, enquanto a agência norte americana, USEPA (1999) recomenda a faixa de 0,25 a 0,75 mm.

Segundo Ausland *et al.* (2002), o diâmetro efetivo afeta a taxa de infiltração do afluyente no leito e a profundidade de penetração da matéria sólida insolúvel. O meio com partículas muito grandes reduz o tempo de retenção do líquido, o que prejudica a completa decomposição biológica, tendo como uma das razões deste comportamento, a formação de fluxos preferenciais através do leito, n entanto, altas taxas de aplicação podem ser utilizadas com menores possibilidades de entupimento (LOGAN *et al.* 2001).

Metcalf e Eddy (2003), fazem uma ressalva quanto ao diâmetro mínimo da areia, o qual deve apresentar diâmetro superior a 0,13 mm e compor no máximo 1%

do meio filtrante. De acordo com Logan *et al.* (2002), quando se utiliza um meio filtrante com partículas muito grossas, isto vem a proporcionar um baixo tempo de retenção do líquido e prejudica a decomposição biológica. Tendo como uma das razões deste comportamento, a formação de fluxos preferenciais que vão ocorrer no leito filtrante.

Brink (2009), salienta que devido à diversas variáveis na escolha da granulometria de um meio filtrante, a instalação piloto deve ser estudada com cautela na concepção do filtro, no entanto, além da classificação do meio filtrante outras variáveis são importantes, como: taxa de filtração, carga hidráulica, qualidade do afluente, qualidade desejável do efluente, sistema de lavagem e espessura da camada filtrante.

Segundo Bradford e Torkzaban (2008), Petosa *et al.* (2010) e Yuan *et al.* (2012), a eficiência do processo de filtração, está relacionada com vários fatores, como o meio poroso e com as propriedades físico-químicas das partículas, destacando a forma, tamanho, composição química e propriedades da superfície.

3.4 Utilização de biocarvões como meio filtrante

Segundo Paiva e Menezes (2003), o carvão ativado pode atuar como: clareador, desodorizador e filtrador, depende do tipo de carvão usado e das características do efluente. O carvão ativado pode ser obtido através da sintetização de madeira ou vegetais, e apresenta uma forma semelhante ao grafite de carbono, com partículas de tamanho pequeno e podem ser utilizados como Carvão Ativado Granular (CAG) ou como Carvão Ativado Pulverizado (CAP), geralmente com a exploração do seu potencial adsorvente.

Para Chan *et al.* (2008), a eficiência da adsorção está diretamente ligada ao tamanho das partículas do adsorvente e do adsorbato, os quais identificaram este comportamento em um estudo relacionando a ativação e a capacidade de adsorção do carvão ativado para dois corantes: amarelo ácido 117 e azul ácido 25. Teng e Lin, (1998) e Lua e Guo (1998), definem que sua capacidade adsorptiva estão relacionadas ao volume, distribuição e tamanhos de poros, os quais são fundamentalmente definidos pelo método de ativação. Para Castilla (2004), o tamanho do poro, depende também do precursor utilizado para obtenção do carvão.

Dentre os precursores mais utilizado para fabricação de carvão estão: as cascas de coco, de arroz, de nozes, carvões minerais (antracito, betuminoso, linhito), madeiras turfas, resíduos de petróleo, ossos de animais, caroços de pêssego, de damasco, de amêndoa, de azeitona, grão de café, entre outros carbonáceos; que podem ser ativados por conterem um alto teor de carbono (GALDINO, 2003). Os quais podem ter origem de espécies florestais, resíduos industriais, urbanos e agrícolas, culturas agrícolas, dentre outras (MAGALHÃES, 2014). A utilização de biomassa proveniente de resíduos tem ganhado grandes proporções e, segundo Hameed e Daud, (2008) e Tsai *et al.* (2001), os adsorventes industriais de uso geral, derivados de resíduos agrícolas, foram os mais amplamente utilizados na produção de carvão vegetal.

3.4.1 Características da biomassa para produção de biocarvões

Segundo Chohfi e Valença (2009), a biomassa pode ser utilizada como fonte de combustível e novos produtos, sendo ela fonte de carbono renovável advinda de fotossíntese. Para Silva *et al.* (2013), o termo biomassa é mais amplo e engloba todos os materiais constituídos por substâncias de origem orgânica (vegetal, animal e microrganismos).

Quanto a composição da biomassa, mais de 90% da sua massa seca é constituída por 51% de carbono e 42% de oxigênio (ZHANG *et al.* 2010). Segundo Gomes (2010), além de uma fração de água (umidade), a biomassa também contém constituintes inorgânicos e orgânicos. Rowell *et al.* 2005, afirmam que os compostos orgânicos constituintes da biomassa são: celulose, hemicelulose, lignina e extrativos (gorduras, ácidos resinosos, terpenos e fenóis).

Da vasta gama de materiais orgânicos destacam-se as fibras, principais constituintes dos materiais lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina). A celulose é um polissacarídeo de alto peso molecular, constituído de monômeros de glucose ($C_6H_{12}O_6$). As hemiceluloses ($(C_5H_8O_4)_m$) compreendem os polissacarídeos não-celulósicos presentes na biomassa e são formadas pelo conjunto de polímeros ramificados e amorfos, constituídos de hexoses, pentoses, xiloses e ácido glicurônico. As hemiceluloses possuem baixos graus de polimerização (10-100), sendo facilmente solúveis (JOSHI e MANSFIELD, 2007; GUEDES *et al.* 2010; RESENDE, 2003). A

presença de grupos acetóxi e metóxi presentes na fração de hemicelulose de algumas espécies de vegetais, são determinantes para a formação mais acentuada de materiais voláteis, tais como, metanol e ácido acético (PRINS, et al. 2006). A lignina ($C_9H_{10}O_3(OCH_3)_{0,9-1,7}$) é uma macromolécula (polímero), de natureza química totalmente diferente da celulose e da hemicelulose, formadas de três tipos de monômeros: alcoóis p-cumarílico, coniferílico e sinapílico (MESA PREZ, 2004). Segundo Resende (2003), as ligninas são polímeros fenólicos, que apresentam ligações cruzadas e amorfas. Em que sua estrutura aromática, fornece maior estabilidade química.

Segundo Santos *et al.* (2012), a quantidade de celulose, hemicelulose e lignina podem diferir para cada planta, e também com sua idade e constituição dos seus tecidos. De forma geral, encontram-se nas seguintes proporções: celulose de 35 a 50%, hemicelulose de 20 a 35% e lignina de 10 a 25%. Além de apresentarem uma pequena quantidade de extrativos e cinzas.

Segundo Macedo (2012), compreender o comportamento da biomassa frente a diferentes tratamentos térmicos e análises físico-químicas, é de fundamental importância. Haja visto que, a composição da biomassa pode variar em função de vários fatores, tais como, localização geográfica, parte da planta que está sendo analisada, o clima e o tipo de solo. A composição da biomassa e suas propriedades, podem ser determinadas por meio de vários tipos de análises laboratoriais. Destacando dentre elas por ordem de prioridade, teor de densidade, teor de umidade, análise imediata (teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas), análise elementar (teores de carbono, hidrogênio, enxofre, nitrogênio e oxigênio), e análises químicas em termos de teores de celulose, hemicelulose e lignina.

3.5 Biomassa do Capim Andropogon

De acordo com a Embrapa Cerrados (2009), o capim Andropogon (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina) é uma gramínea forrageira perene, ereta, que cresce formando touceiras de até 1,0 m de diâmetro e produz afillhos com altura variando entre 1,0 a 3,0 m. Este tipo de cultivar (gramínea) é originária da África Tropical e foi amplamente distribuída na maioria dos Cerrados tropicais, por apresentarem áreas de estações secas e de períodos prolongados. A cultivar Planaltina, da espécie

Andropogon gayanus Kunt, foi o primeiro cultivar de forrageira tropical lançada em 1980. No entanto, vem apresentando comportamento com forte tendência de ocupação dos ambientes não cultivados próximos as áreas de plantio.

A cultivar Planaltina, tem como características: adaptação a solos arenosos ou com cascalho, ácido e de baixa fertilidade natural; apresenta rapidez na rebrotação no início das chuvas; tem tolerância ao fogo; alta compatibilidade com leguminosas forrageiras herbáceas; e menor valor alimentício na época da seca. Esta cultivar se destaca pela sua alta resistência a cigarrinhas das pastagens, e também, por apresentar excelente adaptação às condições restritivas de solo e clima.

As características básicas do capim *Andropogon* estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características básicas referente ao capim *Andropogon*.

Nome Científico	<i>Andropogon gayanus</i> Kunt
Família	Gramíneas
Espécie	<i>Andropogon gayanus</i>
Cultivar	variedade Planaltina
Origem	África Ocidental
Ciclo vegetativo	Perene
Consociação	Todas as leguminosas
Hábito de crescimento	Touceira
Tempo de formação	80 dias
Proteína bruta na massa seca	de 8 a 10%
Exigência em fertilidade do Solo	Baixa
Produção anual	12 a 14 t/ha de massa seca

Fonte: Adaptado de Batista et al. (1995) e Vilela (2004).

A Figura 1 apresenta o crescimento do capim *Andropogon* em diferentes estágios: a) 3 meses após o plantio; b) 5 meses após o plantio; c) 8 meses e d) 1 ano ou mais. Os estágios de crescimento podem variar conforme a época do ano, do tipo de solo, período de chuvas, e outras.

Figura 1 - Estágios de crescimento do capim Andropogon.



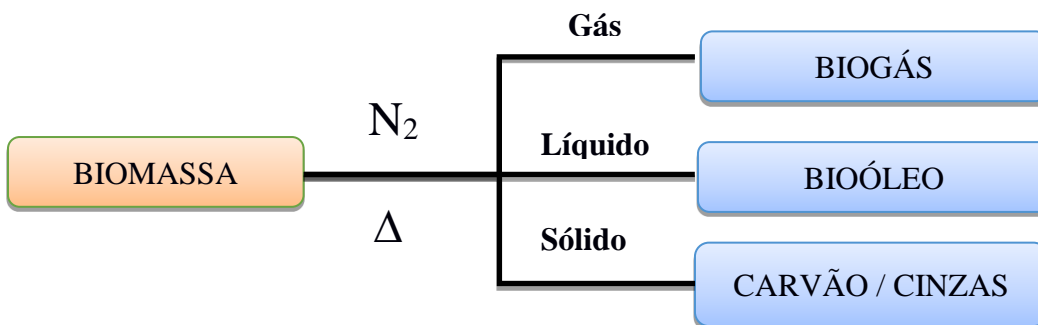
Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

3.6 Processos de pirólise para obtenção de carvão

De acordo com Pedroza *et al.* (2010), a pirólise é a degradação térmica de material orgânico, que ocorre na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou mesmo num ambiente que apresenta uma concentração de oxigênio capaz de impedir a gaseificação intensiva do material orgânico. O processo de pirólise pode ocorrer a partir de uma temperatura na faixa de 400°C, até o início do ponto de gaseificação.

A Figura 2 apresenta os produtos gerados pelo processo de pirólise de uma biomassa.

Figura 2 - Esquema do processo de pirólise da biomassa e seus produtos



Fonte: Cortez, Lora, Ayarza (2008).

Durante o processo de pirólise ocorrem reações de ruptura de ligações carbono-carbono em um processo de oxidação e redução, no qual uma parte da biomassa é reduzida a carbono e outra, forma ligações carbono-oxigênio. A fração

carbono-oxigênio é oxidada e hidrolisada, originando compostos do tipo, alcoóis, cetonas, ácidos carboxílicos, fenólicos, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, carboidratos, fenóis e aldeídos (GOMÉZ, 2011).

De acordo com Raveendran *et al.* (1996) e Chen e Kuo (2011), a composição da biomassa em termos de celulose, hemicelulose e lignina, influencia na distribuição e composição química da biomassa, e principalmente, na distribuição dos produtos da pirólise. Os componentes macromoleculares determinam fortemente as características e a distribuição dos subprodutos da pirólise, no entanto, para Couhert *et al.* (2009), Yang *et al.* (2006) e Wang *et al.* (2011), a predição dos subprodutos da pirólise a partir desses polímeros não é possível.

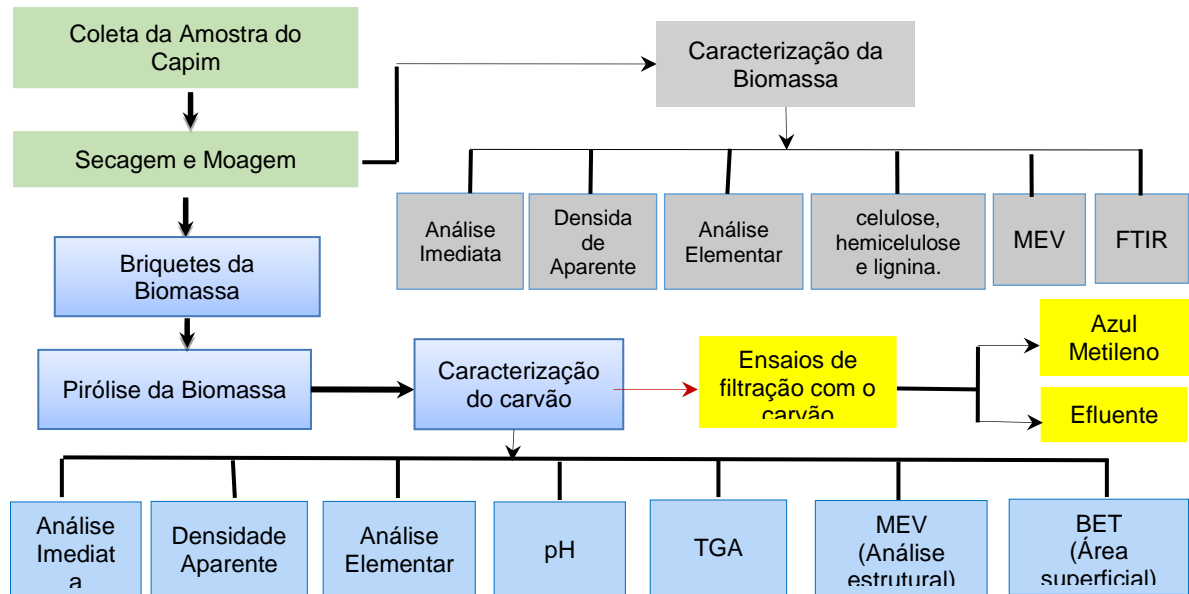
Quanto ao rendimento, Bergman e Kiel (2005), destacam que cada processo está sujeito a sofrer variações, decorrentes das distintas quantidades de extrativos e lipídeos da biomassa, os quais evaporam durante o processo e conseqüentemente, alteram o rendimento. A exemplo disso, o capim, apresenta na maioria dos casos, mais ceras do que os vegetais lenhosos, o que consiste em uma redução do rendimento.

De acordo com Oasmaa *et al.* (2010), ao se comparar madeira com gramíneas, a composição química elementar entre as duas, varia muito pouco. No entanto, as gramíneas possuem maiores teores de cinzas, conseqüentemente, teores de carbono e oxigênio, podem variar significativamente. Segundo Lewandowski e Kicherer (1997), os constituintes químicos elementares (carbono, hidrogênio e oxigênio), se combinam para formar os polímeros de celulose, hemicelulose e lignina. Destacando ainda que, a lignina possui 30% de oxigênio na sua composição, enquanto que, para a hemicelulose, apresenta cerca de 50%. O teor de carbono elementar existente na lignina, constitui cerca de 65%, enquanto que nos outros tipos de polímeros, o teor de carbono elementar, varia em torno de 45%. Assim sendo, biomassas que apresentam maiores teores de lignina, e portanto, maiores teores de carbono elementar, devem apresentar maior tendência quanto a formação de subprodutos sólidos durante o processo de tratamento térmico. Mas que, em contrapartida, biomassas com maior percentual do componente holocelulose, possuem maior teor de oxigênio, tendendo a se decompor em produtos voláteis, em detrimento da fase sólida (BRITO e BARRICHELLO, 1997).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 3 apresenta de forma esquemática todas as etapas desenvolvidas no trabalho.

Figura 3 - Fluxograma metodológico.

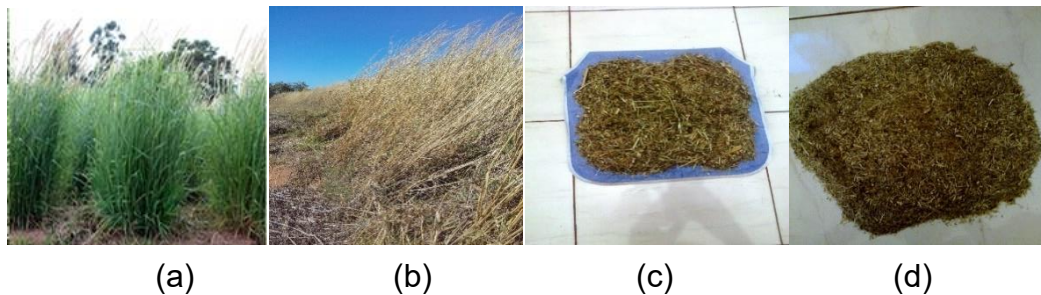


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4.1 Coleta e beneficiamento do capim *Andropogon*

A biomassa do capim *Andropogon*, cultivar Planaltina, da espécie *Andropogon gayanus Kunth in natura* (Figura 4 a e b), foi coletada no entorno das cidades de Palmas e Porto Nacional, Estado do Tocantins. As amostras foram armazenadas em saco plástico e encaminhadas para o laboratório LARSEN (Laboratório de Inovação em Aproveitamento de Resíduos e Sustentabilidade Energética) do IFTO, Campus Palmas. Para a obtenção da fibra, o capim foi triturado em um moinho de facas e novamente triturado em liquidificador (Figura 4 b e c), em seguida, a biomassa foi submetida a secagem a 40°C por 24 horas, em uma estufa de marca Thorth, modelo Th-520-150, e depois peneirada. O material retido entre as peneiras de 28 e 48 Mesh foi misturado e utilizado para caracterização e produção do carvão.

Figura 4 – Amostragem do capim Andropogon: crescimento, coleta, moagem e secagem (a, b, c e d), respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.2 Caracterização físico-química da biomassa do capim Andropogon

As análises imediatas da biomassa *in natura* do capim, densidade aparente, lignina, celulose e hemicelulose foram determinadas conforme os métodos descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Métodos físico-químicos para caracterização da biomassa *in natura*.

Parâmetro	Método
Teor de Umidade	Gravimétrico Norma ASTM D 3173-85
Teor de Cinzas	Gravimétrico
Material Volátil	Gravimétrico
Carbono Fixo	Gravimétrico
Lignina, celulose e hemicelulose	Klason (Silva e Queiroz, 2002)
Densidade Aparente	Gravimétrico NBR 12076/1991

Fonte: Elaborada pelo Autor (2018).

4.2.1 Análise Elementar de CNHS da biomassa do capim Andropogon

Amostras da biomassa de capim andropogon triturada *in natura* foram avaliadas através do método de ignição em um analisador elementar Perkin- Elmer CHNS/O 2400 series II com o intuito de determinar os teores de carbono, hidrogênio, enxofre, nitrogênio e oxigênio das amostras, de acordo com a norma ASTM D 5373 (ASTM, 2002).

4.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da biomassa do capim Andropogon

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi empregada com a finalidade de adquirir informações sobre a estrutura morfológica e a distribuição dos poros da biomassa *in natura*.

As amostras foram maceradas no almofariz, acondicionadas em um frasco de vidro esterilizado e encaminhadas para o laboratório do Centro Analítico da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) para análise. As amostras foram presas em suporte de alumínio com fita de carbono e submetidas ao recobrimento com prata e ouro, com a técnica de *Spitter Coat* e mantidas em dessecador até o momento da análise.

As fotomicrografias foram obtidas em um Microscópio Eletrônico de Varredura JSM-6510 / JEOL com detector de EDS Ultradry 6742A / Thermo Scientific. A potência do feixe de elétrons variou de x200 a 1,5 kV, conforme a qualidade das imagens escolhidas e as variações de penetração do feixe de elétrons nas diferentes superfícies das amostras.

4.2.3 Espectroscopia no Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As identificações dos grupos funcionais presentes, bem como a composição química da biomassa *in natura* do capim *Andropogon* foram determinadas por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). Os espectros de infravermelho abrangendo a região de 4000 – 400 cm^{-1} , foram obtidos em um Espectrofotômetro FTIR, da marca Perkin Elmer Spectrum–Frontier, do Centro Analítico e de Instrumentação do IQ da Universidade Federal de Mato Grosso.

4.3 Processo de pirólise e suas etapas

4.3.1 Elaboração de briquetes da Biomassa do capim *Andropogon*

Os briquetes da biomassa do capim *andropogon* foram produzidos utilizando 64,74 g de biomassa seca e triturada. Adicionou-se a essa biomassa, 150 mL de água destilada para que ocorresse hidratação, deixando-a em repouso por 1 hora. Nesse período, por duas vezes, fez-se o revolvimento dessa biomassa para que ocorresse a homogeneização. Para obtenção do formato dos briquetes, a biomassa hidratada foi

prensada dentro de um cano de PVC de 200 mm de comprimento e 32 mm de diâmetro. Os briquetes obtidos foram secos em uma estufa a 40°C por 24 horas (PEDROSA, 2017). A Figura 5 apresenta o formato dos briquetes produzidos e que foram usados no processo de pirólise.

Figura 5 – Formato dos briquetes utilizados no processo de pirólise.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

4.3.2 Pirólise da biomassa de capim Andropogon realizada em reator de leito fixo

A biomassa foi introduzida no tubo do reator na forma de briquete. A conversão foi efetuada em um reator de leito fixo bipartido de aço inox, de 100 cm de comprimento e diâmetro externo de 10 cm, da marca FLYEVER, modelo FE50RPN, linha 05/50, com microcontrolador acoplado em um forno reclinável, tubular de até 1200°C e 1 zona (Figura 6).

Figura 6 – Reator de pirólise de leito fixo usado para produção de carvão.

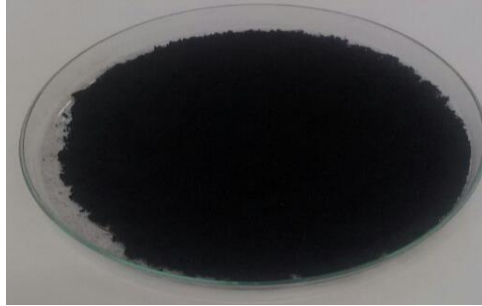


Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

O reator de pirólise acoplado a um termopar foi inicialmente aquecido a uma temperatura de forno de 200°C. Em seguida, elevou-se a temperatura do aparelho de acordo com as condições de operação do processo de pirólise 400°C, e/ou 500°C, dependendo do experimento. O tempo de pirólise da amostra foi avaliado em 30 e 60 minutos. A vazão do gás de arraste (nitrogênio), foi de 1 e 3 mL.min⁻¹, de acordo com

o planejamento experimental descrito a seguir. A Figura 7 apresenta uma amostra do carvão obtido do capim *Andropogon* pelo processo de pirólise.

Figura 7 – Fração do carvão obtido pelo processo de pirólise do capim.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

4.3.2.1 *Planejamento experimental do processo de pirólise da biomassa*

Para a determinação de rendimento do carvão, bio-óleo e gás pelo processo de Pirólise, utilizou-se o planejamento multivariado fracionário na ordem de 2^{4-1} , no qual foi realizado um total de 8 experimentos de pirólise no reator de leito fixo. Os efeitos investigados foram: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$), vazão do gás (mL/min) e o Tempo (min). Os domínios das faixas dos parâmetros estudados foram de acordo com Vieira *et al.* 2009; Gómez, 2002; Kim e Parker, 2008; Shen e Zhang, (2004) e Inguanzo *et al.* 2002.

Considerando que à medida que o número de fatores cujos efeitos se desejam verificar aumenta em um planejamento fatorial na ordem de 2^k , cresce também o número de interações. A escolha por um planejamento fracionário permite obter informações de efeitos principais, já que dessa forma se entende que algumas das interações não são úteis ao experimento por tratar somente de uma saturação ocorrida no processo. A principal vantagem na escolha deste tipo de planejamento é a redução do número de experimentos e por consequência a redução dos custos da análise e otimização do tempo. Os experimentos foram realizados de acordo com as Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Fatores e níveis empregados no planejamento experimental 2⁴⁻¹.

Fatores	Níveis		
	Mínimo (-)	Ponto Central	Máximo (+)
Temperatura final do processo (°C)	400	450	500
Taxa de aquecimento (°C/min.)	10	15	20
Vazão de gás inerte (mL /min.)	1	2	3
Tempo de pirólise (min.)	30	45	60

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 5 – Ordem dos experimentos empregados no planejamento fatorial 2⁴⁻¹.

Ordem dos Experimentos	Fatores			
	1	2	3	4
7	-	+	+	-
6	+	-	+	-
5	-	-	+	+
1	-	-	-	-
3	-	+	-	+
2	+	-	-	+
4	+	+	-	-
8	+	+	+	+
9	PC	-	+	-
10	PC	+	+	-

Fator 1 = Temperatura (°C); Fator 2 = Taxa de aquecimento; Fator 3 = vazão de gás inerte (mL.min⁻¹); Fator 4 = Tempo de pirólise; PC = ponto central.

4.4 Caracterização do carvão obtido do capim Andropogon

Os procedimentos analíticos empregados para obtenção das análises imediatas, densidade aparente, análise elementar – CHNS, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) seguiram a mesma metodologia empregada para a caracterização da biomassa *in natura* do capim Andropogon. O carvão também foi analisado por termogravimetria (TGA), área superficial e volume pelo método BET (Brunauer, Emmett and Teller), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e pH (norma JIS K1474 citada por Guimarães (2006)).

4.5 Efluente da indústria de tintas à base de água

4.5.1 – Local de coleta do efluente da indústria de tintas

O efluente estudado foi coletado em uma indústria de tintas, localizada no estado do Tocantins. A empresa é de porte médio, a qual produz e vende tintas: acrílica premium, fosca, acrílica e selador de fundo, esmalte a base de água, textura decorativa, esmalte sintético, massa corrida, aguarrás e verniz copal.

O sistema de tratamento de efluentes da empresa é composto por coagulação, floculação e decantação. O efluente decantado, é bombeado para o filtro prensa. O lodo gerado, é disposto no aterro sanitário. Segundo o responsável pelo sistema de tratamento, o efluente tratado é reutilizado na fábrica.

Para este estudo foi utilizado o efluente coletado após a decantação do sistema de tratamento da indústria, o qual foi coletado em recipiente de 20 litros para os ensaios de filtração, e em frascos de plástico de 2 litros para análises físico-químicas. As amostras do efluente foram coletadas por três vezes, entre outubro de 2017 a abril de 2018, e analisadas logo após a coleta. As amostras foram caracterizadas no laboratório de saneamento ambiental do IFTO – Campus Palmas, pelos parâmetros: pH, cor, turbidez, alcalinidade, sólidos em geral, DQO e Óleos e Graxas e íons metálicos (cádmio, alumínio, cobre, cromo hexavalente, zinco e cobalto), de acordo com o *Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFT – Campus Palmas.

4.6 Caracterização granulométrica do meio filtrante

A caracterização granulométrica do filtro de carvão foi determinada pelo diâmetro efetivo e o coeficiente de uniformidade (CU) do meio filtrante. De acordo com a NBR 6502 (1995), sendo diâmetro efetivo definido como a abertura da peneira que permite a passagem acumulada de 10% da amostra analisada. E o coeficiente de uniformidade a porosidade da peneira que retém 40% da amostra dividido pelo diâmetro efetivo.

4.7 Ensaio preliminar de Filtração utilizando o carvão do capim *Andropogon* na remoção de azul de metileno

O teste foi realizado em escala laboratorial, em filtro descendente contendo

como meio filtrante o carvão produzido pela pirólise do capim *Andropogon*. Realizou-se o experimento em fluxo contínuo, utilizando a solução de azul de metileno a uma concentração de 20 mg.L^{-1} com pH ajustado a 7,0. Foram empregados dois filtros de dimensões iguais: altura total da tubulação do filtro com as conexões de 25 cm, altura da camada de carvão na tubulação de 10 cm e diâmetro do filtro de 1,9 cm. Durante a montagem do sistema foi utilizada a massa de 3,984 gramas do carvão em cada filtro. A alimentação dos filtros foi realizada por gravidade, sendo avaliada duas taxas de filtração, uma mantida a uma vazão média de 300 mL.h^{-1} ($1,3 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e outra com vazão de 500 mL.h^{-1} ($2,1 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$).

A retenção do corante foi realizada no Laboratório de Saneamento do IFTO-Campus Palmas, medida em espectrofotômetro de duplo feixe (PERKIN ELMER, LAMBDA 750) em 650 nm, com o auxílio de uma curva de calibração com R^2 igual a 0,9991, construída por soluções de concentrações 1, 5, 10, 15, 25, 50 e 75 mg.L^{-1} , a partir da solução de azul de metileno de 20 mg.L^{-1} .

4.8 – Ensaio de Filtração utilizando o carvão do capim *Andropogon* e efluente industrial

Neste ensaio foram utilizados 3 filtros descendentes, sendo os dois primeiros filtros de areia e o terceiro filtro de carvão do capim *Andropogon*. Os filtros que compunham o sistema em escala laboratorial foram construídos com tubos de PVC de 25 cm de comprimento com as conexões (luva e bico de redução). Sendo o diâmetro do filtro de 19 cm e a camada de recheio (meio filtrante), com 10cm. O sistema de filtração (Figura 8), foi instalado em paralelo, preso em um suporte de ferro fixado na parede.

Figura 8 – Sistema de filtragem usado para filtrar o efluente da indústria de tintas.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

O efluente foi bombeado (bomba de aquário) com vazão e pressão para um recipiente fixado em suporte a 2,0 m de altura, o qual alimentava os três filtros. As taxas de filtração avaliadas nos ensaios com o efluente foram de $1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e $1,9 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. Os filtros foram monitorados de hora em hora durante toda a etapa de filtração do efluente pelos parâmetros: turbidez (da saída de cada um dos filtros), vazão do filtrado e cor aparente. Para avaliação da eficiência do processo, o efluente antes e após a filtração foi caracterizado pelos parâmetros: pH, Cor, Turbidez, Alcalinidade Total, DQO, Sólidos em geral e Óleos e Graxas, metais (alumínio, cobre, zinco, cádmio, cobalto e cromo), conforme a metodologia descrita pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Composição e Caracterização Físico-química da Biomassa e do carvão do capim *Andropogon*

As análises de pH, densidade aparente, determinação de celulose, hemicelulose e lignina, análise imediata (umidade, material volátil, carbono fixo e cinzas), análise elementar (%C, %H, %N, %S e %O), análises instrumentais: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) da biomassa *in natura* do capim *Andropogon* e do Carvão do capim *Andropogon*, foram determinadas conforme os métodos descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Métodos físico-químicos para caracterização da biomassa *in natura* e do carvão do capim *Andropogon*.

Variáveis	Método/ Equipamento	
	Biomassas	Carvão
pH	-	JIS K – 1474
Densidade Aparente	Figueiredo, (2011)	Shimadzu MOC 63
Teor de Umidade	ASTM D 2415-66	ASTM D 2415-66
Material Volátil e Cinzas	ASTM D 2415-66	ASTM D 2415-66
Teor de Carbono Fixo	ABNT NBR 829, (1983)	ABNT NBR 829, (1963)
Celulose, Hemicelulose e Lignina	“KLASON” – LK (Queiroz, 2002)	-
Análise Elementar – (CHNS-O)	ASTM D 5373, (2002)	ASTM D 5373
Análise Termogravimétrica (TGA)	-	ASTM D 5373, (2002)
Estrutura superficial e Morfologia	JSM -6510/JEOL (MEV)	JSM -6510/JEOL (MEV)
Área Específica/Volume dos Poros.	-	Método BET, (1938)
Área Superficial e Volume dos poros.		Método FTIR

Fonte: Elaborada pelo Autor (2017).

5.1.1 Caracterização da biomassa *in natura* do Capim Andropogon

5.1.1.1 Densidade Aparente da biomassa do capim Andropogon

O valor médio obtido para a densidade aparente do capim Andropogon foi de $0,125 \pm 0,0018 \text{ g.mL}^{-1}$. Comparando com espécies lenhosas, Paes et al. (2012), obtiveram a densidade de $0,520 \text{ g.mL}^{-1}$ para Angico vermelho, e Nobre et al. (2015), avaliaram a *Apuleia leiocarpa* e obtiveram o valor de $0,880 \text{ g.mL}^{-1}$. De acordo com Nobre et al (2015), a densidade influencia diretamente na qualidade do carvão, pois quanto menos espaços vazios, menor a área superficial. Sendo assim, a menor densidade aparente do capim Andropogon lhe confere uma vantagem para a sua utilização como carvão para sistemas de filtração em comparação as demais biomassas citadas.

5.1.1.2 Análise Imediata da biomassa do capim Andropogon

Os valores dos teores de umidade, material volátil, cinzas e carbono fixo da biomassa do capim Andropogon - planta inteira, são apresentados na Tabela 7, em conjunto com valores obtidos na literatura para outros tipos de biomassas.

Tabela 7 – Resultados das Análises Imediatas da Biomassa do capim Andropogon, (planta inteira), comparado com os resultados de outras gramíneas e da casca de arroz, de outros autores.

Parâmetros (%)	Capim Andropogon	Capim Braquiária ¹	Capim Elefante ²	Casca de Arroz ³
Teor de Umidade	9,93 ± 0,12	10,827	10,63	9,71
Materias Voláteis	87,98 ± 0,25	72,802	72,54	68,42
Teor de Cinzas	4,52 ± 0,28	7,588	8,26	15,56
Carbono Fixo	7,50 ± 0,22	19,610	19,20	16,02

¹Pessoa-Filho (2013); ²De Conto (2016); ³Filippetto (2008).

De forma geral, os resultados obtidos neste estudo em comparação com os valores obtidos por outros autores em diferentes biomassas (gramíneas e casca de arroz) demonstraram que para o parâmetro umidade, existe uma proximidade entre os resultados. O teor de umidade pode interferir em outras propriedades, como combustão no processo de pirólise, poder calorífico e na condutividade elétrica,

quanto mais elevado o teor de umidade, maior será o consumo de energia usada no processo de pirólise (VALCARENGHI e RIBEIRO, 2014).

Para o parâmetro materiais voláteis, a biomassa do capim em estudo, apresentou teor superior a 20% em comparação a casca de arroz e aos capins braquiária e elefante. Lewandowski (1997) *apud* Klautau (2008), afirmam que essa característica interfere na ignição, pois quanto maior o teor de voláteis maior será a reatividade e conseqüentemente, a ignição, facilitando a queima da biomassa.

Para os resultados dos teores de carbono fixo e cinzas da biomassa em estudo foi observado um teor inferior a 50% das demais, o que pode ser atribuído a temperatura de combustão utilizado no processo de pirólise. A cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais dos lignocelulósicos e são constituídas de composto de silício, potássio, sódio, enxofre, cálcio, fósforo, magnésio e ferro, os quais interferem no processo de adsorção pela adesão de cargas (COTTA, 1996 *apud* BARCELLOS, 2007).

5.1.1.3 Teores de celulose, lignina e hemicelulose da biomassa do capim *Andropogon*

Os teores de celulose, lignina e hemicelulose da biomassa do capim *Andropogon* (planta inteira: colmo e folhas), são apresentados na Tabela 8, em conjunto com valores obtidos na literatura para outros tipos de biomassas.

Tabela 8 – Teores de celulose, lignina e hemicelulose da biomassa do capim *Andropogon*, comparado com os valores de outros tipos de biomassas na literatura.

Parâmetro (%)	Capim <i>Andropogon</i>	Capim braquiária ¹	Capim elefante ¹	Casca de arroz ²	<i>Eucalyptus grandis</i> ³
Celulose	37,61 ±0,20	38,20	30,94	37,85	36,45
Lignina	7,94 ±0,24	5,70	8,54	33,47	31,77
Hemicelulose	26,85 ±0,28	25,80	30,72	20,15	21,07

¹França et al. (2007); ²Santos et al. (2001); ³Trugilho et al. (2003).

Em comparação com as gramíneas, o capim *Andropogon* apresentou teor de celulose próximo ao do capim braquiária, e 21,56% superior ao do capim elefante. Quanto ao teor de lignina da biomassa em estudo em comparação com os valores da

casca de arroz e do *Eucalyptus grandis*, a mesma apresentou teor quatro vezes menor. De acordo com Fengel e Wegener (1989), a lignina é uma substância resistente à degradação térmica da madeira, em comparação com os teores de celulose e hemicelulose.

5.1.1.4 Análise Elementar (análise aproximada final) – CNHS da biomassa do capim *Andropogon*

A composição elementar da biomassa do capim *Andropogon* é apresentada na Tabela 9. Para fins de comparação são apresentados também a caracterização de outros tipos de biomassas descritas na literatura.

Tabela 9 – Comparação entre os resultados obtidos pela caracterização do capim *Andropogon* e outros tipos de biomassa.

Biomassas	%C	%H	%N	%S	%O
Capim <i>Andropogon</i> - Planta inteira	40,21	5,16	0,84	3,77	47,51
Capim Elefante¹ - Planta Inteira	41,76	5,01	1,53	3,56	43,52
Capim Mombaça² - Planta Inteira	38,79	5,06	0,91	3,83	45,77
Capim Marandú² - Planta Inteira	39,01	5,11	0,96	3,90	41,66
Casca de arroz³	46,96	4,30	0,40	0,02	48,32
Madeira⁴	48,06	5,30	0,70	1,21	45,00

¹Seye et al. (2003); ²Gomes et al., (2013); ³Ramos e Paula et al., (2011); ⁴Jenkins (1990). Em que: % O = 100 - (%C + %H + %N + %S + %Cinzas).

De acordo com Cortez *et al.* (2010), os valores obtidos na análise elementar (Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Enxofre) podem variar em virtude da variedade da biomassa analisada, do grau de maturação do vegetal, das características específicas de cada material, do tipo de solo, das partes da planta estudada, dentre outras. Segundo Oasmaa et al. (2010), para resíduos agrícolas, essa composição pode variar, principalmente devido à influência das cinzas, uma vez que biomassas com maiores teores de hemiceluloses e cinzas, como é o caso das gramíneas, apresentam maior razão oxigênio/carbono do que madeiras.

Conforme Lewandowski e Kicherer (1997), as biomassas com maiores teores de carbono elementar, como lignina, apresentam maior tendência à formação de subproduto sólidos (carvão), durante processos de tratamentos térmicos. Em

contrapartida, biomassas com maior percentual de holocelulose (hemicelulose + celulose) possuem maior teor de oxigênio e tendem a se decompor em produtos voláteis.

Segundo Swift (1996), a razão atômica O/C, igual ou superior a 1,0 indica que o material apresenta abundância de grupos funcionais, como grupos metoxílicos, carboxílicos, fenólicos e álcoois, indicando o grau de oxidação. A razão atômica C/N e C/S indica o grau de incorporação mineral nos materiais vegetais.

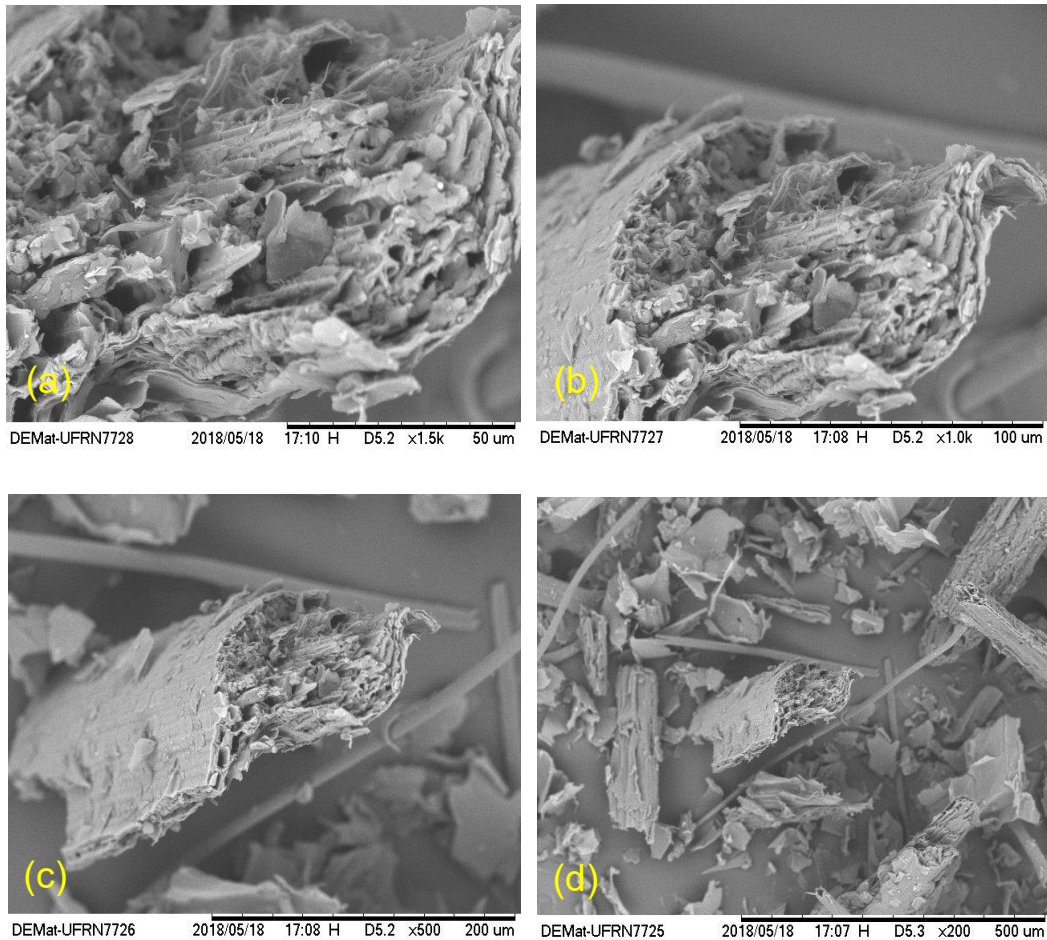
Conforme pode-se observar na Tabela 9, a composição elementar da biomassa em estudo, quando comparado com os valores de biomassas de outras gramíneas, apresentam valores bem próximos. Em relação ao resultado do carbono da biomassa em estudo em comparação com os resultados da casca de arroz e da madeira, o resultado da biomassa do capim *Andropogon* apresentou um teor bem menor. E quanto ao resultado do oxigênio, observou-se uma composição intermediária entre a biomassa da madeira e da casca de arroz.

5.1.5 – Análises Instrumentais

5.1.5.1 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da biomassa do capim *Andropogon*

As microfotografias da biomassa do capim *Andropogon*, obtidas com a técnica MEV, com aumentos que variam de x200 até x1,5k, são apresentados na Figura 9.

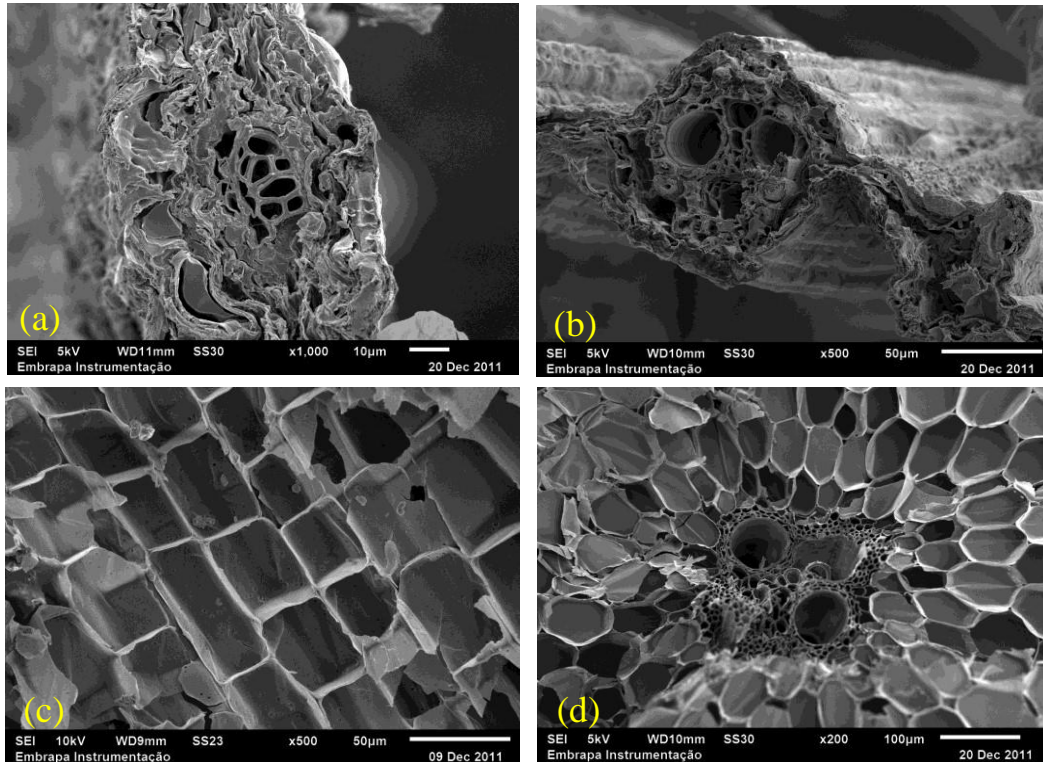
Figura 9 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da biomassa do capim *Andropogon*, seca *in natura*, triturada no moinho de facas e passada em peneiras.



(a) x1,5k ou 50um; (b) x1,0k ou 100um; (c) x500 ou 200um e (d) x200 ou 500um
 Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

A Figura 10 apresenta as imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de outras variedades de gramíneas: *Brachiaria brizantha cv Marandú*, *Panicum Maximum cv Mombaça*, *Colmo de Sorgo* e *Capim Elefante cv Napier*, para comparação.

Figura 10 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de outros tipos de biomassas de Capim. Corte *transversal Brachiaria brizantha cv Marandú*, *Panicum Maximum cv Mombaça*, *Colmo de Sorgo* e *Capim Elefante cv Napier* (a, b, c e d), respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2018).

As microfotografias da biomassa do capim *Andropogon* (Figura 9: a, b, c e d) demonstram que a morfologia das amostras possui superfícies com aspectos irregulares, espaços vazios e porosos. Pode-se observar que a imagem a), apresenta microfotografias de pedaços do colmo e das folhas; e as imagens: b, c e d, apresentam os poros na perspectiva vista de cima, destacando-se seus sulcos bastante longos. Pode-se inferir mediante as imagens microfotográficas que esta biomassa não apresenta uma estrutura compacta, devido a presença de espaços vazios. Admite-se, portanto, que a elevada quantidade na distribuição de poros, pode contribuir com uma maior área superficial.

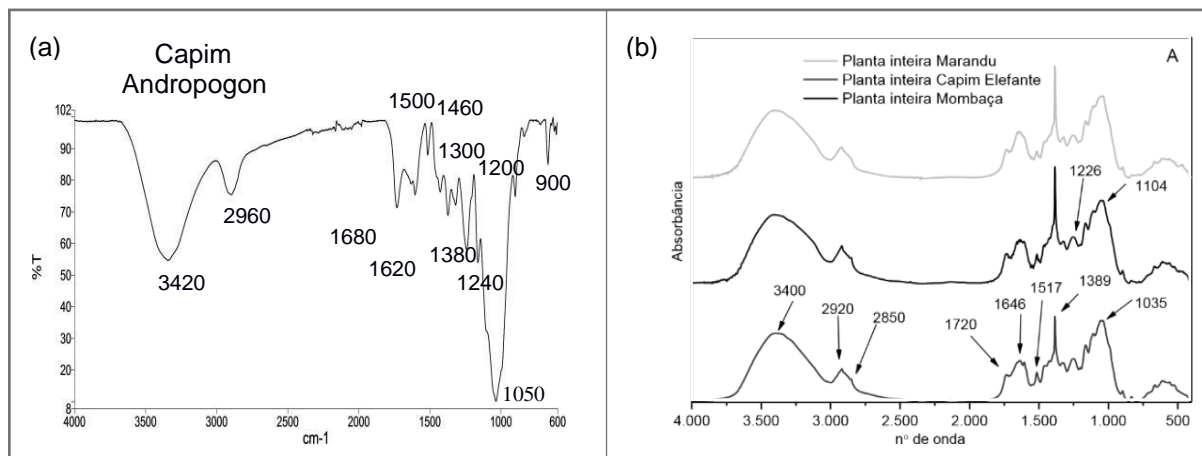
Verificando as imagens das microfotografias apresentadas pelas outras biomassas de gramíneas usadas como comparação (Figura 10), pode-se perceber que as microfotografias: a e b, tem maior semelhança com a biomassa em estudo, sendo observado poros irregulares e sucus longos.

Conforme Silva et al. (2014), algumas características físico-químicas, tais como porosidade, volume específico dos poros, distribuição do tamanho dos poros, grupos funcionais presentes, são fatores de suma importância tanto no processo de adsorção, quanto de filtração do carvão.

5.1.5.2 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier- FTIR

O espectro no infravermelho da biomassa do capim Andropogon obtido pela técnica de FTIR é apresentado na Figura 11a. Na Figura 11b são apresentados os espectros das biomassas de capim Marandu, Elefante e Mombaça para comparação.

Figura 11 – a) Espectro de FTIR da biomassa do capim Andropogon (em Transmitância); b) Espectros de FTIR de capim Marandu, Elefante e Mombaça (em Absorbância).



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Fonte: Martelli et al. (2013).

Quanto ao espectro de FTIR da biomassa em estudo (Figura 11a) pode-se verificar que a região espectral situada entre 3200-3600 cm^{-1} apresenta uma banda larga que é causada pelas vibrações de estiramento dos grupos OH, referentes a celulose, álcoois e fenóis, corroborando, portanto, com Gilbert, 1993; Kumar et al. 2009; Pandey, 1999. Segundo Leão (2012), as fibras naturais são compostas por diversas substâncias como os alcanos, ésteres, aromáticos, cetonas e álcoois que contem hidroxila na formação de seus grupos funcionais.

De acordo com Kumar et al. (2009), as regiões representativas para

hemicelulose são relacionadas nos espectros em 1727-1720 cm^{-1} como sendo estiramento de ramificações em carbonila de éster C=O, vibrações de ácido carboxílico e cetonas nas polioses. Para Zhang (2006); Gilbert (1993)1999), na região de 2900-2850 cm^{-1} podem ser observados os estiramentos CH de grupos metil da celulose e estiramento CH_2 de grupos alifáticos em ceras e resinas. Em 1314-1337 cm^{-1} identificam-se as deformações simétricas de ligações C-H de celulose.

Verifica-se que os espectros de FTIR das gramíneas apresentadas por outros autores (11b), também apresentam bandas de absorção que podem ser atribuídas aos maiores componentes estruturais dos materiais vegetais: celulose, hemicelulose e lignina.

5.2 Etapas do processo de pirólise para produção de carvão e sua caracterização físico-química

5.2.1 Rendimentos dos produtos obtidos da pirólise do capim Andropogon conforme o planejamento experimental 2⁴⁻¹.

Os rendimentos de pirólise para as frações sólidas, líquidas e gasosas foram realizadas por balanço de massa, utilizando um planejamento experimental 2⁴⁻¹, os quais são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Rendimento das frações sólidas (carvão), líquidas (bio-óleo) e gasosa, do processo de pirólise proposto para à biomassa do capim Andropogon.

Ensaio	Parâmetros			Rendimentos (%)			
	Temperatura (°C)	Vazão de gás (mL.min ⁻¹)	Taxa de aquecimento (°C.min ⁻¹)	Tempo (min)	Líquido	Carvão	Gás
1	400	3	20	30	28,39	35,32	36,19
2	400	3	10	30	32,85	34,17	32,98
3	400	1	10	60	37,43	32,20	30,37
4	400	1	10	30	30,10	34,17	35,73
5	500	1	10	30	28,57	35,57	35,86
6	500	1	10	60	29,89	32,87	37,24
7	500	1	20	30	30,89	32,63	36,48
8	500	3	20	60	30,01	27,06	42,93
9	450	3	20	30	29,31	35,32	35,37
10	450	3	10	30	30,85	32,17	36,98

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As diferentes condições operacionais avaliadas demonstraram uma variação muito pequena no rendimento do carvão, por isso foram utilizados para os ensaios de filtração e caracterização, uma mistura composta pelas amostras que apresentaram maior rendimento nos processos de pirólise (ensaio 1, 5 e 9) que ocorreram nas temperaturas de 400, 450 e 500°C.

Raveendran et al. (1996), descreveram os resultados obtidos durante o processo de pirólise, para outros tipos de biomassas, os quais são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Rendimento de produtos durante a pirólise em reator, para diferentes biomassas (% em base úmida) e seus componentes.

Biomassa	Voláteis	Carvão vegetal	Líquidos	Gás
Pé de milho	79,9	20,1	37,4	42,5
Casca de amendoim	72,9	27,1	40,5	32,5
Casca de arroz	82,7	17,3	41,2	41,5
Palha de arroz	78,8	21,2	47,0	31,8
Madeira de Subabul	80,7	19,3	22,6	58,1
Componentes				
Celulose	88,9	11,1	46,8	43,0
Lignina	58,3	41,7	26,8	30,5
Xilose	79,3	20,7	40,5	38,8

Fonte: Raveendran et al. (1996).

Em comparação com as demais biomassas apresentadas, o capim *Andropogon* apresentou maior geração de carvão, exceto quando comparado com a lignina, porém, esse comportamento já era esperado devido a maior resistência térmica deste composto. Já as gramíneas possuem alto teor de ceras, e portanto, apresentam menor teor de lignina. A xilose é facilmente encontrada na fração hemicelulósica de plantas, madeiras, casca de milho, grãos de café e em palhas, como de trigo e arroz. Esta pentose não é metabolizada pelo homem, sendo principalmente eliminada pela urina, permitindo seu uso no estudo da adsorção dos carboidratos (MERCK,1989).

5.2.2 Caracterizações do carvão obtido a partir do capim *Andropogon*

5.2.2.1 *Determinação do pH do carvão do capim Andropogon*

O pH do carvão em estudo, apresentou o valor igual 8,95. Segundo Yaun et al. (2011) e Fidel et al. (2012), a alcalinidade do carvão é influenciada por três fatores: grupos funcionais orgânicos carbonatos e álcalis inorgânicos.

Verifica-se que as características ácidas ou básicas de um carvão são determinadas pelo seu modo de preparação, bem como, aos grupos químicos disponíveis em sua superfície. Portanto, o valor do pH de 8,95 encontrado para o carvão estudado, corrobora com os estudos apresentados na literatura.

5.2.2.2 Densidade aparente e Análises Imediatas do carvão do capim *Andropogon*

A densidade aparente do carvão foi de 0,824 mg.L⁻¹. A Tabela 12 apresenta os valores médios das análises imediatas do carvão obtido da biomassa do capim *Andropogon*, de acordo com o experimento fatorial na temperatura de 400 e 500°C, e na temperatura intermediária de 450°C.

Tabela 12 – Análises Imediatas e a umidade do carvão do capim *Andropogon*, em diferentes temperaturas no processo de pirólise.

Temperatura (°C)	Umidade (%)	Cinzas (%)	Material Volátil (%)	Carbono Fixo (%)
500	9,967	12,60	42,96	32,77
450	9,982	13,23	40,88	34,07
400	9,920	13,83	42,55	31,44
Média	9,956±0,01	13,22±0,06	42,01±0,03	32,76±0,09

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Os valores bem próximos dos parâmetros: umidade, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo obtidos em diferentes condições operacionais para obtenção do carvão, corroboraram para que as demais análises fossem realizadas com a mistura de todo carvão obtido. Os valores descritos na literatura para outros tipos de carvões obtidos de biomassas vegetal, são apresentados na Tabela 13, como comparação.

Tabela 13 – Valores descritos na literatura para diferentes tipos de carvão.

Biomassa	Umidade (%)	Cinzas (%)	Materiais Voláteis (%)	Carbono fixo (%)
Capim elefante ¹	11,86	19,4	37,5	43,1
Carvão Mineral ²	1,03	41,19	19,17	39,64
Casca de Arroz ³	4,66	46,04	8,32	45,65
Carvão de Madeira ⁴	9,5	25,4	25,1	59,5

¹Quintanilla (2012); ²Fallavena *et al.* (2013); ³Morais *et al.* (2006); ⁴Lucena *et al.* (2008).

De acordo com os valores das análises imediatas apresentados na (Tabela 12) para o carvão em estudo, em comparação com os resultados de outros tipos de carvões apresentados por outros autores (Tabela 13), verificou-se que os teores de cinzas e carbono fixo foram inferiores no carvão em estudo. Segundo Cotta, (1996) apud Barcellos (2007), a cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais lignocelulósicos. E que, quanto maior a proporção de materiais minerais na biomassa (cálcio, magnésio, fósforo e silício), maior a produção de cinzas no carvão. Segundo Andrade, (1989) apud Costa (2011), o teor de carbono fixo é outra característica importante para determinar a produtividade e a qualidade do carvão vegetal, e de acordo com Oliveira (1988) apud Barcellos (2007), o teor de carbono fixo apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos, e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. Para Al-Barak e El-Said (2010), as características dos biossorbentes e sorbatos, incluem a composição, estrutura, tipo de grupos funcionais carregados e descarregados e o tamanho de partículas, além da composição da parede celular.

Quanto aos materiais voláteis da biomassa em estudo foi observado teor superior, o que representa um fator positivo considerando a maior possibilidade de formação de poros.

5.2.2.3 *Análise Elementar – CNHS do carvão do capim Andropogon*

A análise elementar do carvão é apresentada na Tabela 14, a qual também apresenta os resultados obtidos por outros autores como comparação.

Tabela 14 – Análise elementar do carvão proveniente da biomassa do capim *Andropogon* em comparação com outros resultados da literatura.

Elementos	Carvão do capim Andropogon	*Carvão mineral sub-betuminoso¹	**Carvão Madeira de cafeeiro²	**Carvão Vegetal²
Carbono (C)	63,58	31,6	83,45	49,62
Hidrogênio (H)	2,97	2,1	6,56	3,17
Nitrogênio (N)	0,65	0,7	0,48	1,30
Enxofre (S)	1,17	1,1	0,03	0,02
Oxigênio (O)	31,63	8,3	9,48	45,89
Relação O/C	0,50	0,26	0,11	0,92
Relação H/C	0,05	0,07	0,08	0,06

¹Adaptado de Kalkreuth et al., (2006); Adaptado de ²Leite et al. (2015). O teor de oxigênio é obtido pela diferença de 100. Exceção para o carvão mineral sub-betuminoso. *Carvão mineral sub-betuminoso das regiões carboníferas de Santa Terezinha, Leão-Butiá e Candiota-RS; **Carvões obtidos de plantas das cidades de Mundo Novo e Catuaí-MG.

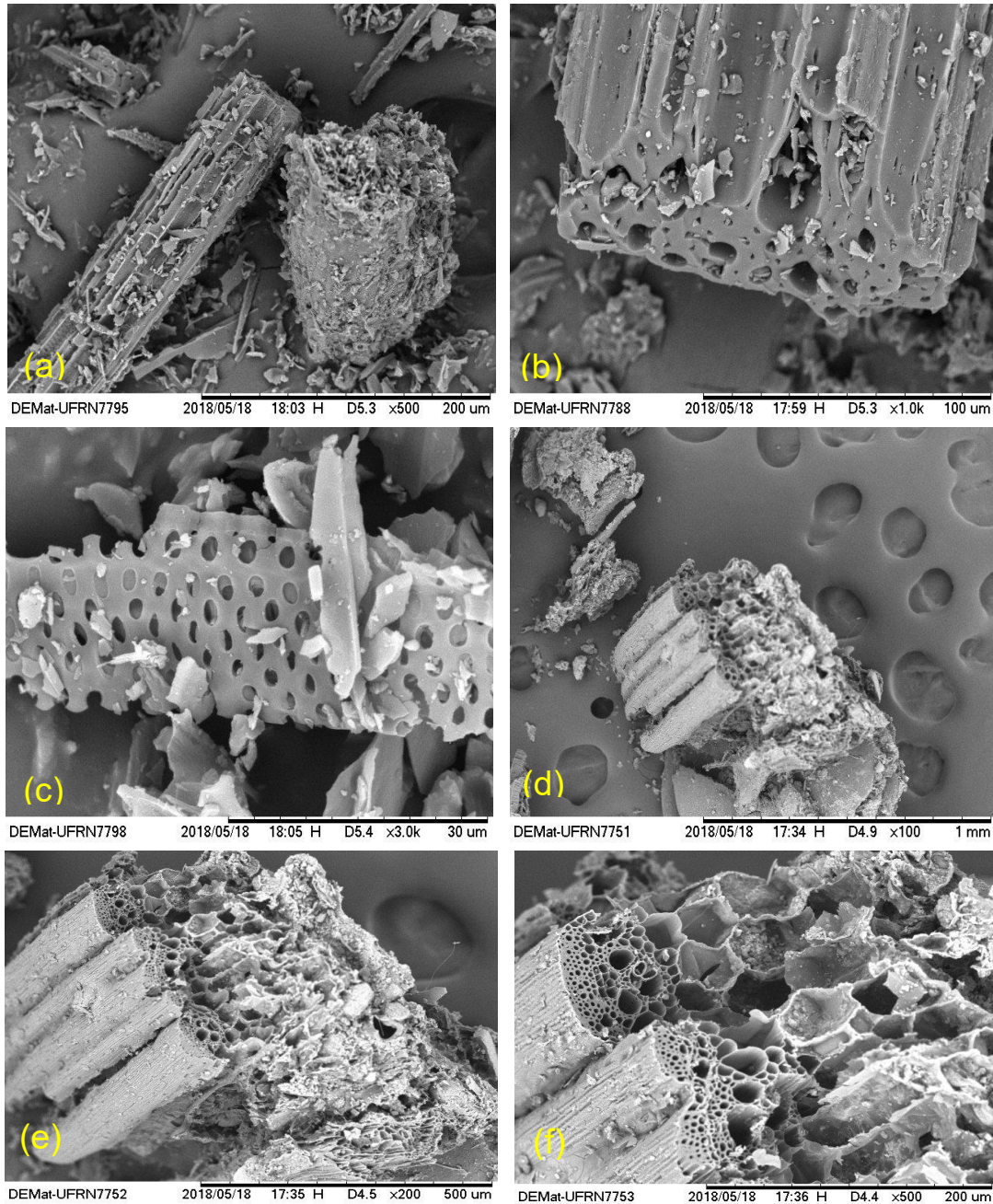
Conforme verifica-se na Tabela 14, os valores obtidos foram bem próximos dos valores encontrados para o carvão obtido da fibra de coco.

Conforme Brito e Barrichello (1977), a porcentagem de carbono elementar existente na lignina é de cerca de 65%, enquanto nos outros polímeros o teor de carbono elementar varia em torno de 45%. Desse modo, biomassas com maiores teores de lignina, e portanto, maiores teores de carbono elementar, apresentam maior tendência à formação de subproduto sólidos (carvão), durante processos de tratamentos térmicos.

5.2.2.4 *Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do carvão obtido da biomassa do capim Andropogon*

As imagens (microfotografias) do carvão em estudo, são apresentadas na Figura 12 com aumentos de 100 a 3000 vezes. As imagens (a), (b), (c), (d), (e) e (f), apresentam a distribuição, o formato e a profundidade dos poros do carvão obtido do capim *Andropogon*.

Figura 12 – Microfotografias do carvão obtido do Capim Andropogon pelo processo de pirólise.



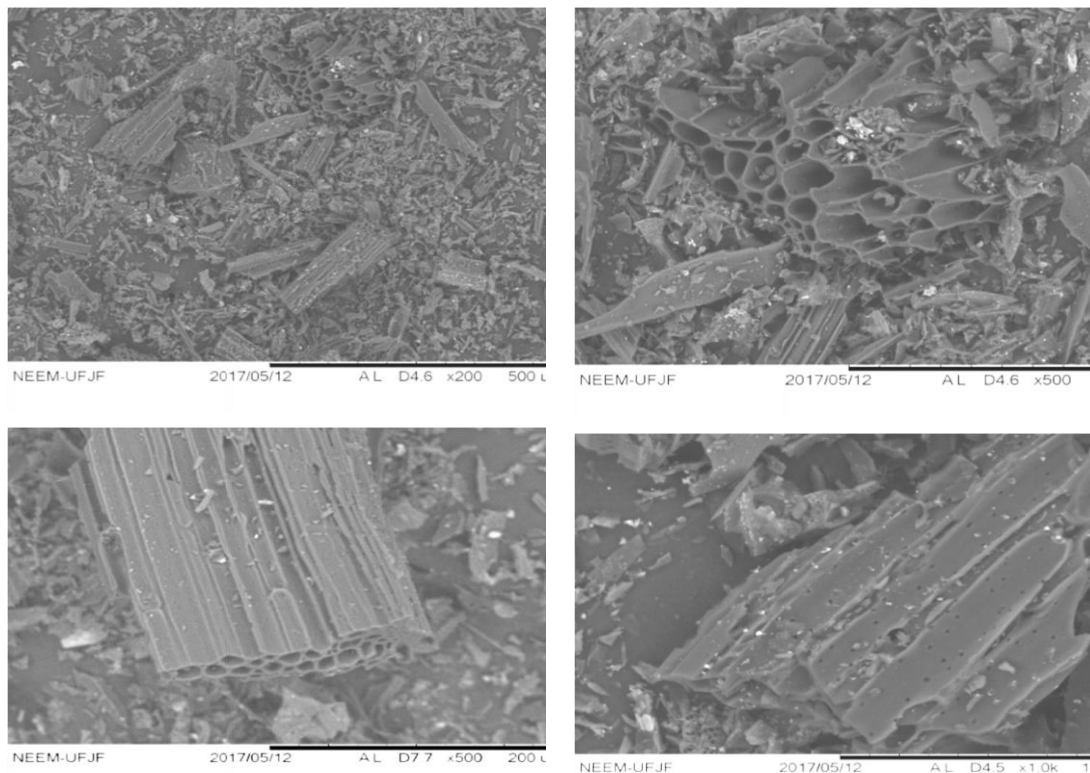
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

De acordo com Mohan *et al.* (2014), o processo de pirólise confere ao carvão uma estrutura microporosa e mesoporosa, formado com potencial de filtração e adsorção de poluentes orgânicos e inorgânicos.

Observando as imagens microfotográficas do carvão do Capim Andropogon obtido pelo processo de pirólise apresentadas nesse estudo (Figura 12), pode-se

observar que a figura (a) apresenta-se numa perspectiva vista de cima, em que (b) apresenta os poros na perspectiva de corte em lateral, e com seus sulcos bastante longos; em (c) observa-se o tamanho dos poros da parte interna; em (d), (e) e (f), é possível identificar uma vasta quantidade de poros com forma esférica que se dispõe com tamanho e de maneira uniforme. A elevada quantidade de poros, sua distribuição e quantidade, pode contribuir com uma maior área superficial do carvão em estudo. Segundo Sharma et. al. (2001), esses formatos de poros podem estar associados a eliminação de voláteis nas reações secundárias quando a biomassa é submetida a maiores tempos de retenção e a temperaturas superiores a 400°C. Como comparação pode-se apresentar a micrografia do carvão obtido do capim elefante (Figura 13).

Figura 13 – Microfotografias do carvão obtido do capim elefante pelo processo de calcinação.

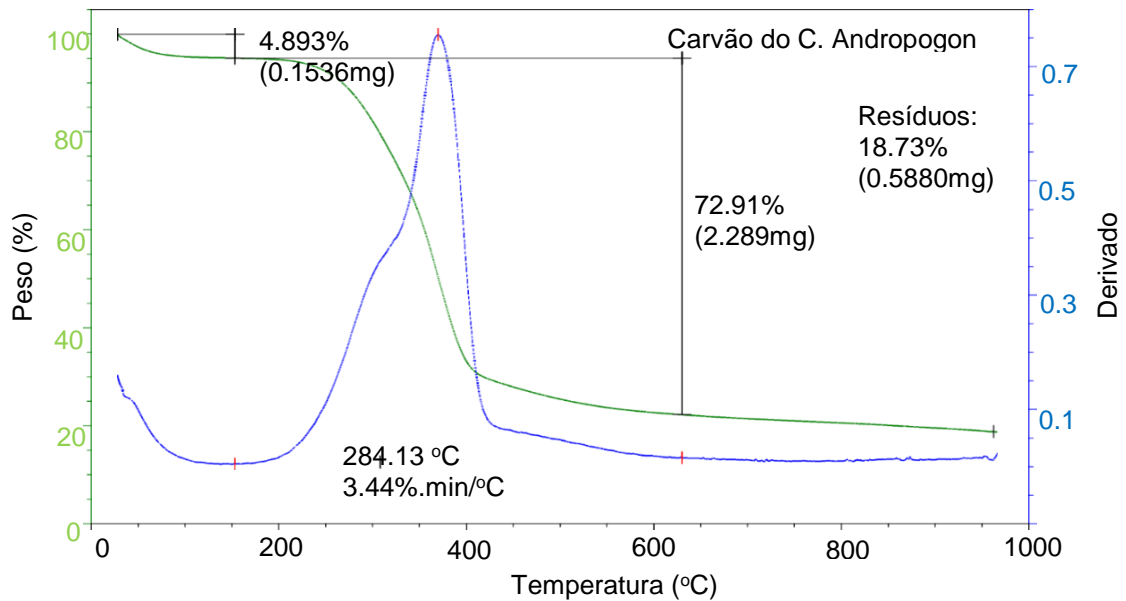


Fonte: Vieira (2017).

5.2.2.5 Análise Termogravimétrica – (TGA) do carvão obtido da biomassa do capim *Andropogon*

A perda de massa do carvão obtido da biomassa do capim *Andropogon* em função da temperatura, é apresentada na Figura 14.

Figura 14 – Análise Termogravimétrica (TG e TGA) do Carvão do capim *Andropogon*.



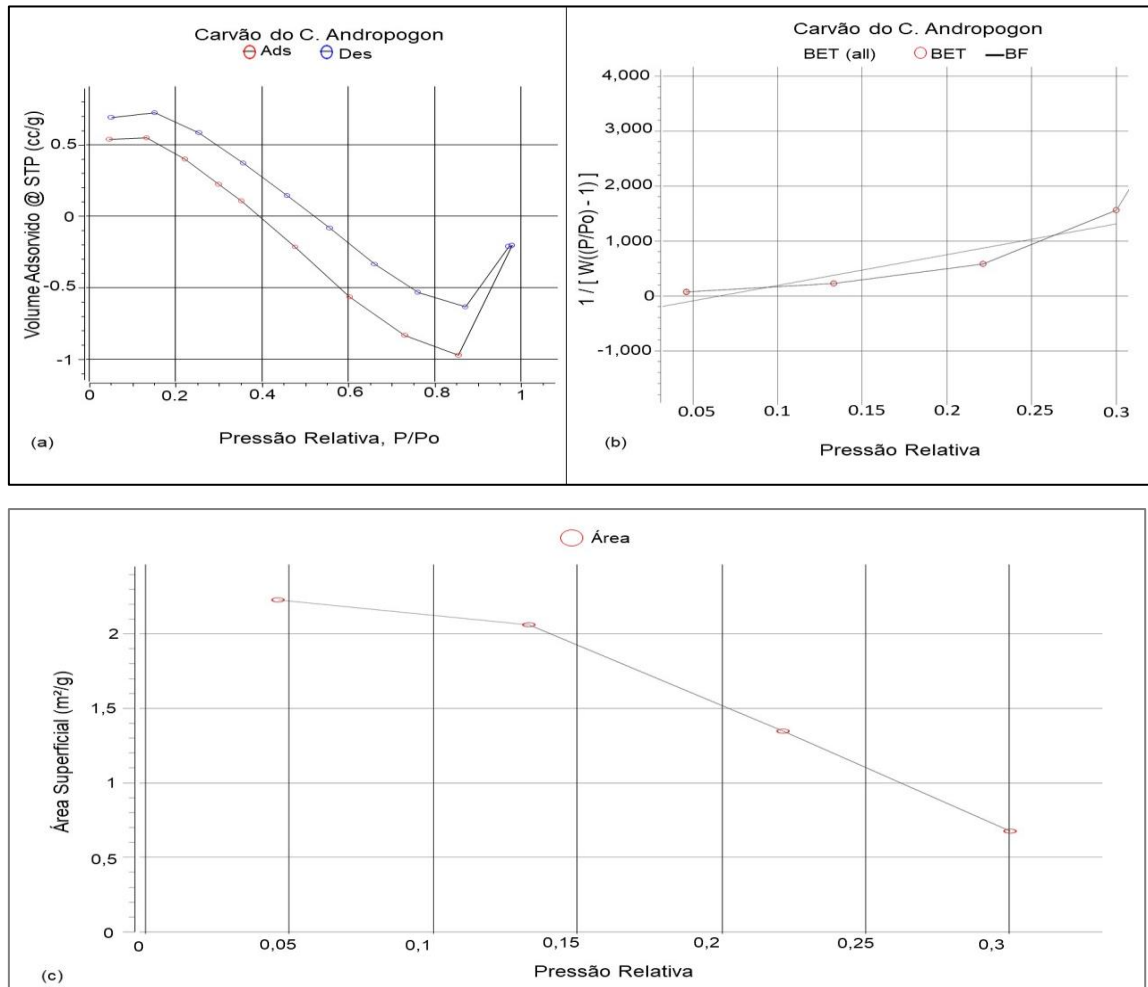
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A análise termogravimétrica do carvão ocorreu em atmosfera oxidante, e apresentou três estágios de perda de massa e um pico bem distinto entre as temperaturas 200°C e 450°C. O primeiro evento corresponde a uma perda de massa igual a 4,983% atribuída à umidade da amostra, que ocorreu na faixa entre 30°C e 140°C. O segundo estágio ocorreu com dois eventos, entre as temperaturas relacionadas diretamente ao início e final do processo de oxidação do carvão, entre 200°C e 600°C, correspondente a perda de massa por decomposição da matéria orgânica. De acordo com a literatura, esse estágio corresponde primeiramente à decomposição da hemicelulose na temperatura entre 200°C e 340°C, e em seguida da celulose que ocorreu entre 340°C e 450°C. No quarto evento ocorre a degradação da lignina a partir de 400°C e estendendo-se até a temperatura de 570°C. O percentual de materiais voláteis foi de 72,91% à temperatura de 620°C. Com relação ao pico bem distinto, o mesmo observado na análise DTG, na qual destacam-se as temperaturas 250°C e 430°C, correspondentes a decomposição da hemicelulose e celulose, corroborando com a curva de TG. O percentual de 18,73% é correspondente ao teor de carbono fixo e das cinzas, ocorrido entre as temperaturas de 600°C a 900°C.

5.2.2.6 Resultados da área superficial e volume dos poros (BET) do carvão obtido da biomassa do capim *Andropogon*

Na Figura 15 são apresentadas as isotermas do carvão em estudo.

Figura 15 – Isotermas do carvão obtido da biomassa do capim andropogon.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Na Tabela 15 são apresentados os valores obtidos das isotermas de adsorção-desorção de nitrogênio do carvão em estudo, assim como, os valores para comparação de outros tipos de carvões obtidos de variadas biomassas.

Tabela 15 - Valores da área superficial (BET) do carvão desse estudo obtido do capim Andropogon e dos resultados de outros tipos de carvões.

Variáveis	Carvão de Capim Andropogon	Carvão ativado de Caroço de cupuaçu ¹	Carvão ativado de caroço de Pequi ¹	Carvão Ativado comercial ²	Carvão ativado de casca de arroz ²
Área Superficial (m ² g ⁻¹)	720,76	390,99	54,03	722	302
Volume dos poros (cm ³ g ⁻¹)	0,749	0,280	0,045	0,49	0,27
Diâmetro dos poros (nm)	2,06	2,040	2,10	2,42	2,34
Volume microporo (cm ³ g ⁻¹)	0,74	0,280	0,045	0,20	0,05
Tamanho médio do poro (Å)	28	14	-	27	35

¹Autor (2018); Adaptado de ¹Dias (2013); Adaptado de ²Marckmann (2016).

Conforme Carbomafra (2016), a área superficial de um carvão pode variar entre 500 e 1200 m².g⁻¹, dependendo das condições de preparo térmico empregado. De acordo com a classificação BET para o carvão da biomassa do capim Andropogon, observa-se que a isoterma é do tipo IV, característica de formação de sólidos mesoporosos, ou seja, poros com diâmetros entre 2nm a 500nm. As isotermas de adsorção para sólidos mesoporos normalmente mostram o fechamento da histerese na faixa de 0,05 a aproximadamente 0,97 P/P₀. A área superficial determinada pelo método BET foi de 720,76 m².g⁻¹, a qual pode ser considerada relativamente grande quando comparada com os demais carvões.

De acordo com a análise da distribuição do volume de poros em função do diâmetro, o carvão proveniente da pirólise da biomassa do capim andropogon, é principalmente, constituído de mesoporos com diâmetro entre 20 Å e 500 Å.

Quanto ao volume dos poros do carvão do capim Andropogon, observou-se um valor próximo ao dobro do volume dos poros do carvão comercial, e um volume próximo ao triplo do volume de poro do carvão ativado de casca de arroz. Nesse sentido é esperado que o carvão em estudo possa desempenhar um papel significativo na adsorção de grandes moléculas de adsorvatos, incluindo moléculas de corantes, pigmentos e de íons de metais presentes no efluente tratado.

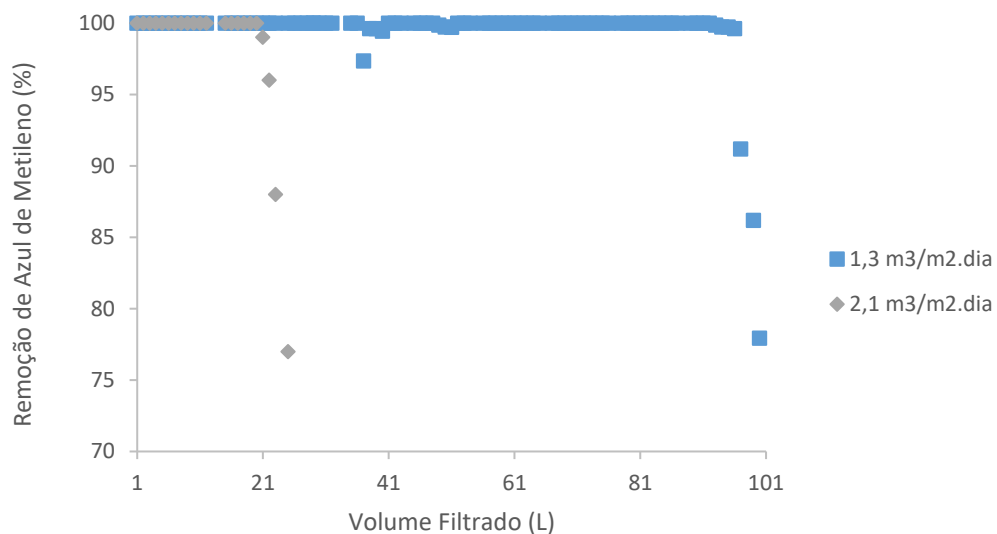
5.3 Utilização do carvão obtido do capim Andropogon em sistema de filtração

5.3.1 Eficiência do processo de filtração utilizando solução de azul de metileno

O diâmetro efetivo obtido pela análise granulométrica do carvão do capim Andropogon foi de 0,3 mm, e o coeficiente de uniformidade correspondeu a 2. Ambos os valores estão dentro da faixa indicada pela NBR 13969/97 e Norma USEPA (1999), caracterizando um meio filtrante que permite um processo de filtração com retenção em regiões mais profundas do filtro, e assim um aproveitamento maior do meio filtrante.

A carreira de filtração e eficiência dos filtros foram primeiramente avaliadas com a utilização de solução de azul de metileno, nas taxas de filtração: 1,3 e 2,1 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, conforme a Figura 16.

Figura 16 – Remoção do azul de metileno nas taxas de filtração de $300 \text{mL} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1,3 \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) e $500 \text{mL} \cdot \text{h}^{-1}$ ($2,1 \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$), respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

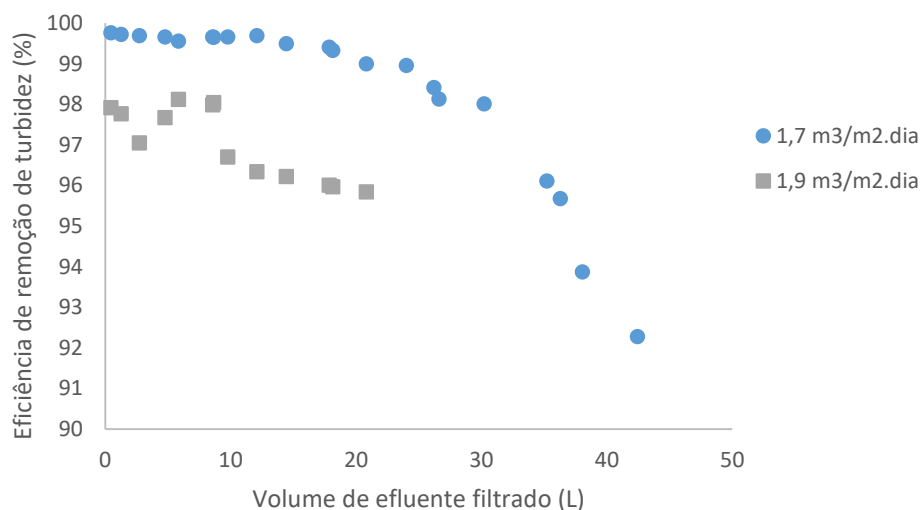
Na menor taxa de filtração ($1,3 \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$), a carreira do filtro foi de 100 horas de operação contínua, onde ocorreu um consumo de 10 litros da solução de azul de metileno. Enquanto que, na taxa superior ($2,1 \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$), obteve-se uma carreira de filtração de 22 horas, consumindo 2 litros da solução de azul de metileno. A carreira de filtração foi determinada pela queda brusca da taxa de filtração, nas quais o sistema apresenta eficiência inferior a 100% de remoção do corante. Com base nestes resultados, o sistema de filtração proposto, será avaliado para o tratamento de um

efluente real, proveniente de indústria de tintas, utilizado como base taxas de filtração superiores a $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e inferiores a $2,1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$.

5.4 – Utilização do carvão do capim Andropogon em sistema de filtração para o tratamento de efluente de indústria de tintas

O desempenho do filtro de carvão para cada taxa, foi avaliado pela eficiência de remoção de turbidez, conforme os resultados apresentados na Figura 17.

Figura 17 – Desempenho do filtro de carvão nessas duas diferentes taxas de filtração: $1,7$ e $1,9 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

De acordo com a Figura 17, o processo de filtração na taxa de $1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, apresentou os melhores resultados, com eficiências próximas a 100% de remoção de turbidez até 60 horas de operação contínua. No entanto, a taxa de filtração decaiu para $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, após 18 horas de operação contínua. Verifica-se que a carreira de filtração se manteve com pequenas oscilações até o final do experimento, que durou 131 horas (correspondente a 5,5 dias) de operação do sistema de filtração, sendo a eficiência mínima de remoção de turbidez foi de 92%.

Na taxa filtração maior igual a $1,9 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ foi observada menor eficiência de remoção de turbidez, com variações durante o tempo de operação, assim como,

um decaimento mais rápido da taxa de filtração, inviabilizando a continuação do processo de filtração.

A caracterização físico-química do efluente antes e após o processo de filtração, na taxa de filtração de $(1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1})$, são apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Caracterização físico-química do efluente antes e após o processo de filtração com o carvão obtido da pirólise do capim Andropogon.

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente após filtração		CONAMA 430/2011
	Valor médio± Desvio padrão	Valor médio± Desvio padrão	% de remoção	Valor Máximo Permitido
pH	7,6 ± 0,17	7,4 ± 0,18	-	5 - 9
Cor (uH)	429 ± 90	33,3 ± 10	92,24	-
Turbidez (NTU)	145,1± 1,3	13,3 ± 0,1	90,83	-
Alcalinidade Total (mg.L ⁻¹)	290,9 ± 4,9	190,5 ± 3,3	34,51	-
Sólidos Sedimentáveis (mL.L ⁻¹)	1,2 ± 0,3	< 0,1	100*	-
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	3685 ± 60	< 0,1	100*	-
Sólidos Suspensos (mg.L ⁻¹)	14,3	< 0,1	100*	-
Sólidos Voláteis (mg.L ⁻¹)	658 ± 73	< 0,1	100*	-
Sólidos Fixos (mg.L ⁻¹)	2992 ± 334	< 0,1	100*	-
DQO (mg.L ⁻¹)	135,6 ± 20	< 0,1	100*	-
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	< 0,1	< 0,1	100*	50
Alumínio Total (mg.L ⁻¹)	177,6	0,016	99,99	-
Cádmio Total (mg.L ⁻¹)	8,9	0,02	99,77	0,2
Cobre Total (mg.L ⁻¹)	1400	160,0	88,57	1,0
Cromo Total (mg.L ⁻¹)	19,0	0,08	99,58	0,1
Zinco Total (mg.L ⁻¹)	11,0	0,32	97,09	5,0
Cobalto Total (mg.L ⁻¹)	5,0	0,15	97,00	-

* baseado no limite de detecção do método.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A partir dos resultados obtidos na Tabela 16, pode-se observar que somente a concentração do metal cobre ultrapassou os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430/2011. Vale ressaltar que os metais com maior toxicidade ao ambiente: alumínio, cádmio e cromo foram removidos para concentrações permitidas pela legislação.

A eficiência de remoção pode ser avaliada pela porcentagem de remoção dos contaminantes, a qual foi superior a 97% para os metais, com exceção do cobre, o qual foi removido com 88% de eficiência. A remoção de matéria orgânica foi bem significativa, assim como a remoção de sólidos. A turbidez e cor do efluente tratado pode ser justificada pela presença de carbonato e bicarbonato, detectados pela alcalinidade no efluente tratado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biomassa *in natura* do capim *Andropogon* apresentou características bem próximas as biomassas de outros capins descritos na literatura, no entanto, apresentou um rendimento em torno de 10% maior quanto a produção do carvão. O que pode ser justificado pelas condições operacionais utilizadas no processo de pirólise para a obtenção do carvão em estudo.

Quanto as características do carvão, pode-se observar a partir dos resultados das análises de área superficial e volume dos poros (BET), que o mesmo apresentou características de um material mesoporoso e com área superficial similar a carvões já comercializados, porém, com volume de poros superior ao comercial. A morfologia do carvão analisada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) indicou a formação de uma grande quantidade de poros na amostra, corroborando com a análise de área superficial e volume de poros.

O rendimento do processo de pirólise para a produção carvão, avaliada conforme o planejamento experimental 2⁴⁻¹, demonstrou que o intervalo de temperatura de 400°C a 500°C não confere diferenças de rendimento superiores a 8% para a produção do carvão.

O carvão deste estudo apresentou 100% de eficiência na remoção do corante catiônico azul de metileno, por um intervalo de 14 dias e um consumo de 101 litros do corante durante a carreira de filtração, que ocorreu na taxa de filtração menor (1,3m³.m².dia⁻¹).

As eficiências de remoção de íons metálicos foram superiores a 99% para alumínio total, cádmio total e cromo hexavalente, e superiores a 97% para zinco e cobalto total. A remoção de cobre total foi a menos eficiente, no entanto foi superior a 88%. A remoção de cor e turbidez foram superiores a 90%, enquanto a remoção de DQO e sólidos foram bem próximas a remoção total.

Quanto a reutilização do efluente tratado na empresa, pode-se concluir que o tratamento de coagulação seguido de decantação, não são suficientes para atingir os padrões de reúso industrial.

O lançamento do efluente em corpo hídrico não pode ser recomendado, devido a concentração residual de cobre no efluente após o tratamento. Nesse sentido, pode

ser recomendado um estudo em outras condições operacionais do sistema proposto, com a finalidade de aumentar a eficiência de remoção deste metal. Ou ainda avaliar o comportamento dos filtros em escala e tempo de operação maior.

De forma geral, os resultados apresentados neste trabalho mostraram-se favoráveis quanto à utilização do carvão obtido a partir da biomassa do capim *Andropogon*, que apresentou características físico-químicas relevantes para o prosseguimento de estudos para sua utilização como meio filtrante.

REFERÊNCIAS

ABEER M. A., ZEINAB, H. Abd El-Wahabb, Atef A. Ibrahima, Mona T. Al-Shemya - Characterization of microcrystalline cellulose prepared from lignocellulosic materials. Part II: Physicochemical properties, **Carbohydrate Polymers**, v 83, p. 676-687, 2010.

ABOULHASSAN, M. A., SOUABI, S., YAACOUBI, A., BAUDU, M. Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids. **J. Hazard. Mater.** B138, p. 40-45, 2006.

ABRAFATI (Associação Brasileira de Fabricantes de Tintas), 2015. Disponível em: <https://www.abrafati.com.br/indicadores-do-mercado/numeros-dosetor/>. Acessado em: 29 out. 2018.

ABRAFATI (Associação Brasileira de Fabricantes de Tintas), 2017. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/>>. Acessado em: 25 julho 2018.

AKYOL, A. Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination**. 285: p. 91-99, 2012.

AL-BARAK, A. B. S. & EL-SAID, S. M. The use of some food industrial by-products for waste water purification. **Research Journal of Environmental Sciences**, v.4, n.6, p.566–572, 2010.

ANA, J.D. **Manual de Mineralogia**. Editora LTC: Rio de Janeiro, 1978.

ANDRADE, A. M. **Influência da casca de *Eucalyptusgrandis* W. Hill exMaiden no rendimento e qualidade de carvão vegetal**. 1989. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1989.

APHA / AWWA / WEF. Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. APHA (American Public Health Association) CD-ROM. USA, 1998.

AQUINO, J. M., ROCHA-FILHO, R. C., RUOTOLO, L. A. M., BOCCHI, N., BIAGGIO, S. R. Electrochemical degradation of a real textile wastewater using β -PbO₂ and DSA anodes. **Chem. Eng. J.** 251: 138-145, 2014.

ARNT (1995), BRANDIMARTE (1999), VIGNOLI (2000) *apud* MACÊDO (2001). **Reúso de água na indústria de tintas**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/48136792-Reuso-de-agua-na-industria-de-tintas.html>> Acesso em: 11/01/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Rochas e solos: terminologia, NBR 6502/95**. Rio de Janeiro: 1995.18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**, NBR 13969. São Paulo: 1997.

ASTM. D 5373. **Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal and Coke**, 2002.

AUSLAND, G., STEVIK, T. K., HANSEN, J. F., KOHLER, J. C., JENSSEN, P. D. Intermittent filtration of wastewater – Removal of fecal coliforms and fecal streptococci. **Water Research**. v. 36, pp. 3507–3516. 2002.

AUTA, M.; HAMEED, B. H. **Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye**, *Chemical Engineering Journal*, v. 171, p. 502-509, 2011. < <https://docplayer.com.br/22269245-Producao-de-carvao-ativado-a-partir-deresiduos-vegetais.html>. Acesso em: 01/01/2019.

B.H. Hameed, A.T.M. Din, A.L. Ahmad, **Adsorption of methylene blue onto bamboo-based activated carbon: kinetics and equilibrium studies**, *J. Hazard. Mater.* 141 (2007) 819–825.

BACCAR, R.; BOUZID, J.; FEKI, M.; MONTIEL, A. **Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, p. 1522–1529, 2009.< Disponível em: <https://docplayer.com.br/22269245-Producao-de-carvao-ativado-a-partir-de-residuos-vegetais.html>. >Acesso em: 27/12/2018.

BARAKAT, M. A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 4, n. 4, p. 361-377, 2011.

BARCELLOS, D. C., **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. 140 f. 2007. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

BAR-ZEEV, E.; BELKIN, N.; LIBERMAN, B.; BERMAN, T.; BERMAN-FRANK, I. Rapid sand filtration pretreatment for SWRO: Microbial maturation dynamics and filtration efficiency of organic matter. **Desalination**, v. 286, p. 120-130, 2012.

BATISTA, L. A. R.; GODOY R. **Baeté-Embrapa 23, uma nova cultivar do capim Andropogon**. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v.24 n.2, p.204- 213, 1995.

BERGMAN, PCA; KIEL, JHA. **Torrefaction for biomass upgrading**. In: Proceedings of 14th European Biomass Conference and Exhibition, 2005.

BRADFORD, S. A., TORKZABAN, S., 2008. Colloid Transport and Retention in Unsaturated Porous Media: A Review of Interface-, Collector-, and Pore-Scale

Processes and Models. *Vadose Zo. J.* 7, 667. doi:10.2136/vzj2007.0092.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo, Cetesb, 1993.

BRASIL. **Resolução nº. 54, de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais 128 para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 09 de Março de 2006.

BRIDGWATER, A.V., PEACOCKE, C. **Biomass Fast Pyrolysis**. Presented at: Second Biomass Conference of the Americas, Portland, USA, august 2001, pp. 1037-1047.

BRINCK, N. C. P., 2009. **Avaliação do Tipo de Material Filtrante no Comportamento Hidráulico de Filtros Rápidos de Camada Profunda no Tratamento de Águas de Abastecimento**. 393f. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, Brasil, 2009.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. *IPEF*, n.14, p. 9-20, 1977.

BUZGAR N., BUZATU A., SANISLAV I.V. **The Raman study on certain sulfates**. *Analele Stiintifice ale Universitatii .Al. I. Cuza*. p. 55: 5-23, 2009.

CARBOMAFRA. Disponível em: www.carbomafra.com.br. Acesso em: 15 nov. 2016.

CASQUEIRA R.G., SANTOS S. F. **Pigmentos Inorgânicos: propriedades, métodos de síntese e aplicações**. Série Rochas e Minerais Industriais, CETEM/MCT, 12, Rio de Janeiro, 2008.

CASTILLA, M. C. **Em Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales**; Reinoso, F. R.; ed.; Universidade de Granada: Espanha, 2004, cap. 4.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**, São Paulo: Engenho, 2009. 453 p.

CAZETTA, A.L.; VARGAS, A.M.M; NOGAMI, E.M.; KUNITA, M.H.; GUILHERME, M.R.; MARTINS, A.C.; et al. NaOH - activated carbon of high surface area produced from coconut shell: kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. *Chem. Eng. J.* 174, p. 117 – 125, 2011.

CEMIN,V. **WaterCare - coagulação e floculação**. Conventya Química, 2012. Disponível em: <<http://www.conventya.com/assets/Technical-Information/Watercare/portuguese/pt-watercare-coagulacaoefloculacao.pdf>>. Acesso em: 17 ago.2014.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Guia técnico ambiental tintas e vernizes** - série P+L, 2006.

CHAN, L. S.; CHEUNG, W. H.; MCKAY, G. Adsorption of acid dyes by bamboo derived activated carbon. **Desalination**, 218, p. 304-312, 2008.

CHEN, W-H, KUO, P-C. Torrefaction and co-torrefaction characterization of hemicellulose, cellulose and lignin as well as torrefaction of some basic constituents in biomass. **Energy**, v. 36, p. 803-811, 2011).

CHEREMISINOFF, N. P. Liquid filtration. **Application of Filtration to Wastewater Treatment**. 2nd edition. Butterworth-Heinemann, USA, 1998.

CHOHFI, F.P.; VALENÇA, G.P. novos produtos e energia a partir de biomassa, uma matéria prima abundante e renovável para o brasil. **Revista Agrogeoambiental** - abril/2009. p 80. 2009.

CLAUDINO, A. **Preparação de Carvão Ativado a partir de Trufa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2003.

CLAUDINO, A.; MINOZZO, A. P.; **Projeto de uma Indústria de Carvão Ativado**. Trabalho Referente à Disciplina de Projetos, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 6-7, Toledo, 2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – **CONAMA. Resolução Nº 357/2005**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 13 ago.2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – **CONAMA. Resolução Nº 430/2011**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

CONTO. Daniela de. **Conversão termoquímica de capim-elefante em reator rotativo**, 77f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1239/Dissertacao%20Daniela%20De%20Conto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 jan. 2019.

CORTEZ et al., (2010) Pirólise termoquímica de pós de fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bio-óleo – 2010 https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12952/1/AnelieseLF_DISSERT.pdf.OK

CORTEZ, L. A. B; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A.C. Biomassa no Brasil e no mundo.

In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

COSTA, T. G. **Propriedades da madeira de espécies do Cerrado Mineiro e sua potencialidade para geração de energia**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado - área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do Carvão Vegetal para Siderurgia**. Viçosa - MG. 1996.

COUHERT, C.; COMMANDRE, J. M.; SALVADOR, S. Is it possible to predict gas yields of any biomass after rapid pyrolysis at high temperature from its composition in cellulose, hemicellulose and lignin? **Fuel**, v. 88, p. 408–417, 2009.

COUTO, G. M. do. **Utilização da Serragem de Eucalyptus SP na Preparação de carvões ativados**. 2009.

DEY, B. K., HASHIM, M. A., HASAN, S., GUPTA, B. S. Microfiltration of waterbased paint effluents. **Adv. Environ. Res.** v. 8, p. 455-466, 2004.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed, vol. 01. São Carlos: RiMa, 2005. 792p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. 1. ed. São Carlos, SP, RiMa Editora, 2002.

DI BERNARDO, L.; PREZOTTI, J. C. S., 1991, **Caminhamento da frente de impurezas em meios granulares de filtros operados com taxa constante**. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 16., Goiânia, GO.

DI BERNARDO, L.; **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. 1. Ed. Projeto Prosab, Rio de Janeiro, RJ, RiMa Editora, 2003.

DIAMADOPOULOS, E., BARNDÖK, H., XEKOUKOULOTAKIS, N. P., MANTZAVINOS, D. 2009. "Treatment of ink effluents from flexographic printing by lime precipitation and boron-doped diamond (BDD) electrochemical oxidation". *Water. Sci. Technol.* 60: 2477-2483, 2009.

DIAS, AMANDA C.V. **Estudo Comparativo entre os efeitos do tanino e de um coagulante convencional sobre a filtração rápida usada no tratamento de água para abastecimento**, Dissertação de Mestrado, Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

DIAS, P. dos S. **Caracterização dos carvões ativados obtidos a partir da casca do cupuaçu e do caroço do pequi e avaliação do processo de adsorção de azul de metileno em meio aquoso**. 103f (Dissertação – Mestrado em Ciências Ambientais

e desenvolvimento). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB – Campus de Itapetinga, 2013. Disponível em: <http://www2.uesb.br/ppg/ppgca/wp-content/uploads/2017/11/DISSERTACAO-21-06-2013.pdf>. Acesso em: 07 out. 2018.

E. Oguz, B. Keskinler, **Comparison among O₃, PAC adsorption, O₃/HCO₃⁻, O₃/H₂O₂ and O₃/PAC processes for the removal of Bomaplex Red CR-L dye from aqueous solution**, *Dyes Pigm.* 74 (2007) 329–334.

EL-ASHTOUKHY, E-S. Z., AMIM, N. K., FOUAD, Y. O. 2015. Treatment of real wastewater produced from Mobil car wash station using electrocoagulation technique. **Environ. Monit. Assess.** 187, 628, 2015.

ELIMELECH, M., GREGORY, J., JIA, X., WILLIAMS, R.A., 1995. **Particle deposition and aggregation: measurement, modelling and simulation, Particle deposition and aggregation**. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-8278\(13\)61431-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-8278(13)61431-2)

Embrapa Cerrados. **Centro de Pesquisa Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC)**, 2009.

EPA – United States Environment Protection Agency. **Water reuse guidelines**. EPA/600/R – 12/618, 2012.

FALLAVENA, V. L. V.; ABREU, C. S.; INÁCIO, T.D.; PIRES, M.; AZEVEDO, C. M. N.; FERNANDES, I. D.; FERRET, L. S.; MARTINEZ TARAZONA, M. R. Caracterização Detalhada de Material de Referência Certificado de Carvão Brasileiro. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 6, p. 859-864, 2013.

FARIZOGLU, B.; NUHOGLU, A.; YILDIZ, E.; KESKINLER, B. The performance of pumice as a filter bed material under rapid filtration conditions. **Filtration & Separation**, v. 40, issue 3, p. 41-47, 2003.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FERSI, C., DHAHBI, M. Treatment of textile plant effluent by ultrafiltration and/or nanofiltration for water reuse. **Desalination**, 222: 263-271, 2008.

Fidel et al., 2012 Fidel, RB, 2012. Avaliação e Implementação de Métodos para Quantificação de Componentes Orgânicos e Inorgânicos da Alcalinidade do Biochar. M.Sc., Tese, **Paper** 12752, Iowa State Univ.

FILIPPETO, D. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado**. Dissertação de Mestrado (Faculdade de Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. SP, 2008.

FIRJAN. **Manual de Conservação e Reúso da Água na Indústria**. Rio de Janeiro:

DIM, 2006.

FLORIANO, Humberto Sônego. **Reúso de água na indústria de tintas**. 2009. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, SC, 2009. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/48136792-Reuso-de-agua-na-industria-de-tintas.html> > Acesso em: 11 dez. 2018.

FRANÇA, A.F.S.; BORJAS, A.L.R.; OLIVEIRA, E.R.; SOARES, T.V.; MIYAGI, E.S. Parâmetros nutricionais do capim-tanzânia sob doses crescentes de nitrogênio em diferentes idades de corte. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.8, p.695-703. 2007.

FREITAS, T. K. F. S., OLIVEIRA, V. M., SOUZA, M. T. F., GERALDINO, H. C. L., ALMEIDA, V. C., FÁVARO, S. L., GARCIA, J. C. Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. **Ind. Crop. Prod.**, 76: p. 538-544, 2015.

FURUKAWA, S.; MASUI, T.; IMANAKA, N. Synthesis of New Environment-Friendly Yellow Pigments, **Journal of Alloys and Compounds**. v.418, p. 255-258, 2006.

G. Ciardelli, N. Ranieri, **The treatment and reuse of wastewater in the textile industry by means of ozonation and electroflocculation**, *Water. Res.* 35 (2001) 567–572.

G. Ding, B. Wang, L. Chen, S. Zhao, **Simultaneous adsorption of methyl red and methylene blue onto biochar and an equilibrium modeling at high concentration**, *Chemosphere* 163 (2016) 283–289.

GANDHI, G. **Apostila Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente - UERJ, 2012.

GILBERT, C.; KOKOT, S.; MEYER, U. Application of DRIFT spectroscopy and chemometrics for the comparison of cotton fabrics. **Appl. Spectrosc.** p. 741-748. 1993.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Revista ABES, nº 76. Rio de Janeiro, 2004.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Revista ABES, v. 4, n. 76. Rio de Janeiro, 2004.

GOMES, B.L., MARTELLI, F.H., SILVA, W.T.L. **Caracterização físico-química e morfológica de biomassa de capim-elefante, capim-mombaça, Brachiaria, sorgo-embrapa e bagaço de cana de açúcar**. III Symposium on Agricultural and Agroindustrial Waste – Management March. São Paulo, Brasil. 2013. Disponível em: < http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/ag_tec_01_LeticiaLeonel.PDF > Acesso em:

05/01/2019.

GOMES, M. S. **Produção de bioóleo através do processo termoquímico de pirólise**. 2010. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, 2010.

GOMEZ, E. O. **Estudo da pirólise rápida de capim elefante em leito fluidizado borbulhante mediante caracterização dos finos de carvão**. 2002. 369p. Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, 2002.

GOMÉZ, et al. Pirólise rápida de materiais lignocelulósicos para obtenção de bioóleo. In: CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S; GOMEZ, E.O.(org). **Biomassa para energia**. Campinas. São Paulo. Editora Unicamp, 2011.

GUEDES, C. L. B.; ADÃO, D. C.; QUESSADA, T. P.; BORSATO, D.; GALÃO, O. F.; DI MAURO, E.; PERÉZ, J. M. M.; ROCHA, J. D. Avaliação de biocombustível derivado do bioóleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 781-786, 2010.

GUIMARÃES, I. S., **Oxidação de carvões ativados de endocarpo de coco da baía com soluções de HNO₃ e uma investigação sobre o método de Boehm**, JoãoPessoa, UFPB, 2006. Programa de Pós-Graduação em Química.

GUNATILAKE, S.K.; Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS) ISSN: 2912 - 1309 Vol. 1 Issue 1, November – 2015 . Belihuloya, Sri Lanka. Disponível em:< <https://docplayer.com.br/115389473-Instituto-de-tecnologia-para-o-desenvolvimento-lactec-claudio-bilyk.html>> Acesso em: 10/01/2019.

GUPTA, B. S. et al. Adsorption characteristics of Cu and Ni on Irish peat moss. **Journal of Environmental Management**, v. 90, p. 954- 960, 2 fev. 2009.

GUPTA, V. K., KHAMPARIA, S., TYAGI, I., JASPAL, D., MALVIYA, A. Decolorization of mixture of dyes: A critical review. **Global J. Environ. Sci. Manage.** v.1, n.1, p. 71-94, 2015.

GURGEL, L. V. A.; GIL, L. F. Adsorption of Cu(II), Cd(II) and Pb(II) from aqueous single metal solutions by succinylated twice-mercerized sugarcane bagasse functionalized with triethylenetetramine. **Water Research**, v. 43, p. 4479-4488, out. 2009.

HAMEED & DAUD, (2008); TSAI *et al.* (2001), os adsorventes industriais de uso geral, derivados de resíduos agrícolas, foram os mais amplamente utilizados na produção de carvão vegetal.

HAMEED & DAUD, (2008); TSAI *et al.* (2001), os adsorventes industriais de uso geral, derivados de resíduos agrícolas, foram os mais amplamente utilizados na produção de carvão vegetal.

HAMODA, M. F; AI – GHUSAIN.; AL – MUTAIRI, N. Z. **Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse**, *Desalination*, 164, 203 – 2011, 2004.

HAYAT, H., MAHMOOD, Q., PERVEZ, A., BHATTI, Z. A., BAIG, S. A. 2015. Comparative decolorization of dyes in textile wastewater using biological and chemical treatment. *Sep. Purif. Technol.* 154: 149-153, 2015.

HEALY, M.G.; RODGERS, M.; MULQUEEN, J. Treatment of dairy wastewater using constructed wetland sand intermittent sand filters. *Bioresource Technology*. v. 98, pp. 2268–2281. Ireland. 2007.

HESPANHOL, I. MIERZWA, J.C. Procedimentos e Técnicas de Tratamento de Efluentes para Eliminar o Potencial de Riscos, *Revista Gerenciamento Ambiental*, edição nº 14, 2002.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Termos de referência para a elaboração de proposta de resolução sobre reuso de água no Brasil. Grupo Técnico de Reuso - GT Reuso. Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia, Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, não publicado (2003a).

HUISMAN, L.; WOOD, W. **Slow sand filtration**. Geneva: World Health Organization, 1974. p. 120.

INGUANZO, M; DOMINGUEZ, A; MENÉNDEZ, J. A; BLANCO, C. G; PIS, J. J. On the pyrolysis of sewage sludge: the influence of pyrolysis conditions on solid, liquid and gases fractions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 63, p.209-222, 2002.

JENKINS, B. M. Fuel properties for biomass materials. In: **International Symposium on Application and Management of Energy in Agriculture: The Role Biomass**, 1. New Delhi. Proceedings. Ludhiana: Punjab Agricultural University. p. 21-23, 1990.

JEWELL, L. L., FASEMORE, O. A., GLASSER, D., HILDEBRANDT D., HERON, L., WYK, N. VAN, COORAY, B. Toward zero waste production in the paint industry. *Water Sa.* 30, p. 643-647, 2004.

JOSHI, C.P.; MANSFIELD, S.D. **The cellulose paradox - simple molecule, complex biosynthesis**. *Current opinion in plant biology*, v.10, n.3, p.220-226, 2007.

KALKREUTH, W.; HOLZ, K.M.; MACHADO, G.; MEXIAS, A.; SILVA, M.B.; WILLETT, J.; FINKELMAN, R. & BURGER, H. Petrology and chemistry of Permian coals from the Paraná Basin: 1. Santa Terezinha, Leão-Butiá and Candiota Coalfields. Rio Grande do Sul, Brazil. *International Journal of Coal Geology*, v. 68, p. 79-116, 2006.

KAWAMURA, S. Two stage filtration. **Journal AWWA**, Denver, v. 77, n. 12, p. 42-47, dez. 1985. KEHINDE, F.O., AZIZ, H.A. "**Classical optimization of process variables in the treatment of real textile wastewater using clinoptilolite.**" J. Environ. Chem. Eng. in press. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2015.08.019>, 2015.

KEHINDE, F.O., AZIZ, H.A. Classical optimization of process variables in the treatment of real textile wastewater using clinoptilolite. J. Environ. **Chem. Eng.** in press. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2015.08.019>. 2015.

KIM, T.H.; C. Park, S. Kim, **Water recycling from desalination and purification process of reactive dye manufacturing industry by combined membrane filtration**, J. Cleaner Prod. 13 (2005) 779–786.

KIM, Y., PARKER, W. (2008). A technical and economic evaluation of the pyrolysis of sewage sludge for the production of bio-oil. **Bioresource Technology**, 99, 1409-1416p.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma fornalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos. Dissertação.** 192f. (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008.

KONSOWA, A. H. Decolorization of wastewater containing direct dye by ozonation in a batch bubble column reactor. **Desalination**, v.158, n.1-3, p.233-40, ago. 2003.

KUMAR, R., MAGO, G., BALAN, V., WYMAN, C.E. Physical and chemical characterizations of corn Stover and poplar solids resulting from leading pretreatment technologies. **Bioresource Technology**, 100, 3948, 2009.

KUNZ, A. et al. Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002. , U., AVSAR, Y., GONULLU, M. T. "**Treatability of water-based paint wastewater with Fenton process in different reactor types**". Chemosphere. 64: 1536KURT–1540, 2006.

KURT, U., AVSAR, Y., GONULLU, M. T. **Treatability of water-based paint wastewater with Fenton process in different reactor types.** Chemosphere. 64: 1536–1540, 2006.

L. Fan, Y. Zhou, W. Yang, G. Chen, F. Yang, **Electrochemical degradation of aqueous solution of Amaranth azo dye on ACF under potentiostatic model, Dyes Pigm.** 76 (2008) 440–446.

LEÃO, R. M. Composites from coconut fibers with polypropylene and their thermal properties. In: **1st Brazilian Conference on Composite Materials - BCCM1**; 2012.

LEE, C.O., Boe-Hansen, R., Musovic, S., Smets, B., Albrechtsen, H.J., Binning, P., 2014. Effects of dynamic operating conditions on nitrification in biological rapid sand filters for drinking water treatment. **Water Res.** 64, 226–236.

doi:10.1016/j.watres.2014.07.001.

LEITE, E. R. da S.; PROTÁSIO, T. de P.; ROSADO, S. C. da S.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. de. Qualidade do carvão vegetal produzido a partir da madeira do cafeeiro, para uso bioenergético. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 251-261, 2015.

LEWANDOWSKI, I; KICHERER, A. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. **European Journal of Agronomy**, v. 6, p. 163 – 177, 1997.

LIU, F.; DAI, Y.; ZHANG, S.; LI, J.; ZHAO, C.; WANG, Y.; LIU, C.; SUN, J. Modification and application of mesoporous carbon adsorbent for removal of endocrine disruptor bisphenol A in aqueous solutions. **Journal of Materials Science**, v. 53, n. 4, p. 2337–2350, 2018.

LOGAN, A. J.; STEVIK, T. K.; SIEGRIST, R. L.; RONN, R. M. Transport and fate of *Cryptosporidium parvum* oocysts in intermittent sand filters. **Water Research**. v. 35, n.18, p. 4359-4369. 2001.

LUA, A. C.; GUO, J. **Preparation and characterization of chars from oil palm waste**. **Carbon**, v. 36, n. 11, p. 1663-1670, 1998.

Lubello, C., Gori, R., Nicese, F.P. and Ferrini, F., 2004, “**Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation**”, *Water Research*, vol. 38, pp.2939–2947.

LUCENA, D. A.; MEDEIROS, R. D.; FONSECA, U. T.; ASSIS, P. S. Aglomeração de Moinha de Carvão Vegetal e Sua Possível Aplicação em Alto Forno e Geração de Energia. **Revista Tecnologia em Metalurgia e Materiais**, São Paulo, v.4, n.4, p. 1-6, 2008.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. **Águas & Águas**. São Paulo: Varela, 2001. 505 p.

MACEDO, L. A. (2012). **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM - 189/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 49p.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F.; **Reúso de Água**. 1. Ed. São Paulo: Ed Manole, 2003. 573p.

MANENTI, D. R., SOARES, P. A., MÓDENES, A. N., ESPINOZA-QUIÑONES, F. R., BOAVENTURA, R. A. R., BERGAMASCO, R., VILAR, V. J. P. “Insights into solar photo-Fenton process using iron(III)–organic ligand complexes applied to real textile wastewater treatment.” **Chem. Eng. J.** 266: 203-212, 2015.

MANENTI, D. R., SOARES, P. A., MÓDENES, A. N., ESPINOZA-QUIÑONES, F. R., BOAVENTURA, R. A. R., BERGAMASCO, R., VILAR, V. J. P. Assessment of a multistage system based on electrocoagulation, solar photoFenton and biological oxidation processes for real textile wastewater treatment. **Chem. Eng. J.** 252: 120-130, 2014.

MANTZAVINOS, D. 2009. Treatment of ink effluents from flexographic printing by lime precipitation and boron-doped diamond (BDD) electrochemical oxidation. **Water. Sci. Technol.** 60: 2477-2483, 2009.

MANZ, D. H. **New Horizons for Slow Sand Filtration.** P. Eng. Public Health, n. 403, p. 1-11, 2004.

MARCKMANN, K. **Uso de carvão ativado proveniente da cinza de casca de arroz em tratamento de água e efluentes.** 71 p. (Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2016.

MARTELLI, F.B. **Determinação e caracterização físico-química e espectroscópica de gramíneas para obtenção de etanol de segunda geração.** 2014. Dissertação (Mestrado em Química Analítica e Inorgânica), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

MATOS, M. **Uma visão química das tintas imobiliárias e sua questão ambiental.** 28f. (Monografia - Curso de Química Bacharelado). Universidade Federal de São João delRei, 2017.

MERCK. 1989. An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biological. Centennial Edition. **Merck & Co.** Inc. Rahway, N.Y.

MESA PÉREZ, J. M. **Testes em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leite fluidizado: critérios para sua otimização.** 2004. [s.n]. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse.** 4a edição. Nova Iorque: McGraw - Hill, International Editions. 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS RESOLUÇÃO No 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005. Disponível em: http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao_CNRH%2054.pdf. Acesso em: 20/12/2018

MO, J., HWANG, J-E., JEGAL, J., KIM, J. Pretreatment of a dyeing wastewater using chemical coagulants. **Dyes Pigments.** 72, p. 240-245, 2007.

MOHAN, D.; SARSWAT, A.; SIK, O,Y.; PITTMAR Jr, C. Organic and Inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable

adsorbent: A critical review. **Bioresource Thecnology**. v.160, p.191-202, 2014.

MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T.; RODRIGUES M.; SANTOS, E.C.S.; SOUZA, R.C.R. **Obtenção de Briquetes de Carvão Vegetal de Cascas de Arroz utilizando Baixa Pressão de Compactação**. In Proceedings of: the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 81 2006.

NOBRE et al., **Produção e Qualidade do carvão ativado de resíduos madeireiros de espécies do Estado do Pará**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

NUNES, J.A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4. ed. Aracaju, SE: Gráfica Editora J. Andrade, 2004. 298 p.

OASMAA, A; PEACOCKE, C. Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids. A guide. Conversion and Resource Evaluation Ltd. VTT Publications 731, 2010.

OLIVEIRA, E. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de Eucalyptus grandis** (W. Hill ex Maiden). 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

P.K. Singh, D. Mohan, G.S. Tandon, G.S.D. Gupta, **Removal of pyridine from aqueous solution using low cost activated carbons derived from agricultural waste materials**, Ind. Eng. Chem. Res. 41 (2002) 2480–2486.

PAES et al. **Rendimento e Caracterização do Carvão Vegetal de Três Espécies de Ocorrência no Semiárido Brasileiro**. Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 03, n. 01, p. 01-10, 2012.

PAIVA, K. B. S.; MENEZES, M. L. Avaliação do emprego dos adsorventes: carvão ativo, chromosorb e membrana C18 na preparação de amostras de ar para a determinação de daletrina em ambientes fechados. **Eclética Química**, v. 28, n. 1, 2003.

PALLU, ANA PAULA SOUZA. **Biossorção de Cádmo por linhagens de Aspergillus sp**. DISSERTAÇÃO, Piracicaba, p.11-20, 2006.

PANDEY, K.K. A study of chemical structure of soft and hardwood polymers by FTIR spectroscopy. Journal of Applied Polymer Sciences 71, 1969–1975. 1999.

PANG, Y. L., ABDULLAH, A. Z. 2013. “Fe³⁺ doped TiO₂ nanotubes for combined adsorption–sonocatalytic degradation of real textile wastewater.” **Appl. Catal. B Environ.**, 129, p. 473-481, 2013.

PAZ, E.C.S. **Padronização das condições de degradação termogravimétrica da fibra de coco em reator de leito fixo na produção de carvão**. 2017. 49p.

Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Tecnologia Ambiental) - Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto, SP, 2017.

PEDROSA, M. M. Bio-óleo e biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo. 2011. 236 f. Tese (Doutorado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

PEDROZA, M. M., VIEIRA, G. E. G., SOUSA, J. F., PICKLER, A. C., LEAL, E. R. M., MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, 11, p.147-157, dez. 2010.

PERRY, R. H. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. McGraw-Hill, ed. 70, cap. 16, New York, 1999.

PESSOA FILHO, J.S. **ANÁLISE TÉRMICA E ENERGÉTICA DE BRIQUETES DE CAPIM BRAQUIÁRIA**. 2013. 85p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PETOSA, A.R., JAISI, D.P., QUEVEDO, I.R., ELIMELECH, M., TUFENKJI, N., 2010. Aggregation and deposition of engineered nanomaterials in aquatic environments: Role of physicochemical interactions. **Environ. Sci. Technol.** 44, 6532–6549.

PRINS, M. J.; PTASINSKI, K.J.; JANSSEN, F.J.J.G. Torrefaction of wood: Part 2. Analysis of products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 77, n. 1, p. 35-40, 2006.

PROSAB. Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. FINEP, 1999.

QUINTANILLA, J. E. A. **Reatividade ao CO₂ de Carvões Minerais de Biomassas e Coques**. 2012. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

QUIRINO, W. FERREIRA; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. SILVA; AZEVEDO, A. C. SANTOS. Poder Calorífico da Madeira e de Resíduos **Lignocelulósicos**. **Revista Biomassa & Energia**, v.1, n.2, p. 173-182, 2004.

R.W. Bowen, J.S. **Welfoot, Modeling of membrane nanofiltration- pore size distribution effects**, *Chem. Eng. Sci.* 57 (2002) 1393–1407.

RAMOS E PAULA, L.E, TRUGILHO P.F, NAPOLI A., BIANCHI M.L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 237246, 2011.

RAVEENDRAN, K.; GANESH, A.; KHILAR, K.C. Pyrolysis characteristics of biomass

and biomass components. **Fuel**, v. 75, n. 8, p. 987–998, 1996.

RESENDE, F.L.P. **Comparação entre as Técnicas de Análise Termogravimétrica e Leito Fluidizado para Pirólise de Biomassa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

ROCHA, Welca Duarte da. **Carvão ativado a partir de resíduos agrícolas e suas aplicações na adsorção de íons metálicos**. 2006. http://www.tede.ufop.br/tde_arquivos/15/TDE-2006-06-22T08:28:34Z-64/Publico/welca%20seguro.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A.; **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 1. ed. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1991.

ROWELL, R. M.; PETERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M.A. Cell wall chemistry. In: Rowell, R.M. (ed), Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites. **Boca Raton: CRC Press**, p. 35-72, 2005.

S. Hajati, M. Ghaedi, S. Yaghoubi, **Local, cheap and nontoxic activated carbon as efficient adsorbent for the simultaneous removal of cadmium ions and malachite green: optimization by surface response methodology**, J. Ind. Eng. Chem. 21 (2015) 760–767.

SABRINA, M. M. V. Produção de Carvão Vegetal para Fins Energéticos a partir da Carbonização de Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e sua Briquetagem com Diferentes Agentes Aglutinantes. < Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2repositorio/File/ppgeq/Dissertacao%20Sabrina%20Mara%20de%20Macedo%20Vieira.pdf> > Acesso em: 28/12/2018.

SANTOS, A. L.; MANDELLI, D. Avaliação da remoção do Cr(VI) por carvão ativado granular. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS, 13., 2008. **Anais...** Campinas, 2008.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J.H.D.; COLODETTE, J.L.; FERNANDES, S.A.; GUIMARÃES, V.M.; REZENDE, S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SARASA, J.; ROCHE, M. P.; ORMAD, M. P.; GIMEDO, E.; PUIG, A.; OVELLEIRO, J. L. Treatment of a wastewater resulting from dyes manufacturing with ozone and chemical coagulation. **Water Research**, [S.l.], v. 32, n. 9, p. 2721-2727, Sept. 1998.

SARON, C.; FELISERTI, M. I. Ação de colorantes na degradação e estabilização de polímeros. **Quim. Nova**, v. 29, n. 1, 124-128, 2006.

SEYE, O., CORTEZ, L. A. B.; GÓMEZ, E. O. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos. In: **Energia no meio rural**. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000220000>

0020002 2&script=sc _arttext>. Acesso em: ago. 2011.

SEYE, O., CORTEZ, L. A. B.; GOMEZ, E. O. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Proceedings online**. Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200022&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 20 ago.2011.

SHARMA, R.; WOOTEN, J.; BALIGA, V.; HAJALIGOL, M. Characterization of chars from biomass-derived materials: pectin chars. **Fuel**, v. 80, p. 1825-1836, 2001.

SHARMA, R.; WOOTEN, J.; BALIGA, V.; HAJALIGOL, M. Characterization of chars from biomass-derived materials: pectin chars. **Fuel**, v. 80, p. 1825-1836, 2001.

SHEN, L., ZHANG, D. Low-temperature pyrolysis of sewage sludge and putrescible garbage for fuel oil production. **Energy & Fuel**, 84, p.809-815, 2004.

SHREVE, R. N; BRINK, JR. J.A. **Indústria de Processos Químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara dois, 1980. 717p.

SILVA, J. L. B. C. et al. Bioissorção de metais pesados: Uma revisão. *Revista Saúde & Ciência Online*, v. 3, n. 3, p. 137- 149, 2014.

SOARES JÚNIOR, A.B. **Produção do Poli (tereftalato de etileno) Modificado com Glicerol e Derivados**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

STUMM, W., MORGAN, J.J., 1996. Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters, 3rd ed, **Environmental science and technology**. John Wiley & Sons, Inc, New York. doi:10.1016/S0016-7037(97)81133-7

SUKSAROJ, C., HERAN, M., ALLEGRE, C., PERSIN, F. Treatment of textile plant effluent by nanofiltration and/or reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, 178: 333-341, 2005.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. Methods of soil analysis. Chemical methods. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy. **Book Series**. Part 3. p.1011-1069. 1996.

TCHOBANOGLIOUS, G. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 3.ed. Boston: Irwin, 1991. 1334 p.

TELLES, D.D.A; COSTA, R.H.P.G. (Coordenadores). **Reúso da água**: conceitos, teorias e práticas. São Paulo: Blucher, 2007. 311 p.

TENG, H.; LIN, H. C. Activated carbon production from low ash subbituminous coal with CO₂ activation. **Alche Journal**, v. 44, n. 5, p. 1170-1177, 1998.

THOMAS, D.; ANDRADE, R. P. de; COUTO, W.; ROCHA, C.M.C. da; MOORE, R. *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* cv. Planaltina: principais características forrageiras. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.16, n. 3, p.347-355, 1981.

TIEN, C., RAMARAO, B. V., 2007. Granular Filtration of Aerosols and Hydrosols, 1st ed, Granular Filtration of Aerosols and Hydrosols. **Elsevier Ltd**, Oxford, UK.

TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências: um estudo atualizado sobre uso racional da água**. Volume 2. São Paulo, Navegar Editora; 2002.

Tratamento de efluente real de indústria de tintas pelo uso de métodos conjugados de coagulação química e eletroquímico. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/6380/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Larissa%20Ferreira%20da%20Silva%20-%202016.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2019.

TROVÓ, A. G., GOMES, O. J., MACHADO, A. E. H. Treatment of Effluent from a Factory of Paints Using Solar Photo-Fenton Process. **Int. J. Photoenergy**. p. 1-9, 2013.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.9, n.1, p.66-80, jan./jun. 2003.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Decentralized systems technology fact sheet – Recirculating sand filter**. Washington. 1999.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Onsite wastewater treatment manual**. Technology transfer. Washington. 2002

VALCARENGHI, G.; RIBEIRO, L. F. P. **Adsorção de azul de metileno de solução aquosa com utilização de pó de serragem de mdf e madeirite e carvão ativado granular**. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, Brasil. DOI: 10.5151/chemeng-cobeq2014-1174-20660-181424. 2014.

VANDENABEELE, P.; WEHLING, B.; MOENS, L.; EDWARDS H.; REU M.; DE VAN HOOYDONK, G. **Analysis with MicroRaman spectroscopy of natural organic binding media and varnishes used in art**. *Analytica Chimica Acta*, v. 407: p. 261–274. 2000.

VERMA, A.K., DASH, R.R., BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **J. Environ. Manag.** 93, p. 154-168, 2012.

VIEIRA, G. E. G., ROMEIRO, G. A., SELLA, S. M., DAMASCENO, R. N., PEREIRA, R. G. Low temperature conversion (LTC) – An alternative method to treat sludge generated in an industrial wastewater treatment station – Batch and continuous process comparison. **Bioresource Technology**, 100, p.1544–1547, 2009.

VILELA, F.G.; PEREZ, J.R.O.; TEIXEIRA, J.C.; REIS, S.T. Uso da casca de café melosa em diferentes níveis na alimentação de novilhos confinados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.1, p.198-205, jan./fev. 2001.

W.T. Tsai, C.Y. Chang, M.C. Lin, S.F. Chien, H.F. Sun, M.F. Hsieh, **Adsorption of acid dye onto activated carbons prepared from agricultural waste bagasse by ZnCl₂ activation**, Chemosphere 45 (2001) 51–58.

WANG, S.; GUO, X.; WANG, K.; LUO, Z. Influence of the interaction of components on the pyrolysis behavior of biomass. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 91, p. 183–189, 2011.

WESTERHOF, R. J., BRILMAN, D. W., VAN SWAAIJ, W. P., & KERSTEN, S. R. Effect of temperature in fluidized bed fast pyrolysis of biomass: oil quality assessment in test units. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 49, n. 3, p. 1160-1168, 2009.

YAMANAKA, Hélio Tadashi et al. **Guia técnico ambiental tintas e vernizes: série P+L**. São Paulo: CETESB, FIESP, 2006. 70 p.

YANG, H.P.; YAN, R.; CHEN, H. P; ZHENG, C.G.; LEE, D. H. LIANG, D.T. In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. **Energy Fuels**, v. 20, n. 1, p. 388–393, 2006.

YUAN et al., 2011 J.-H. Yuan , R.-K. Xu , H. Zhang **As formas de álcalis no biochar produzido a partir de resíduos de culturas a diferentes temperaturas** Bioresour. Technol. , 102 (2011) , pp. 3488 - 3497

YUAN, H., SHAPIRO, A., YOU, Z., BADALYAN, A., 2012. Estimating filtration coefficients for straining from percolation and random walk theories. **Chem. Eng. J.** 210, 63–73. doi:10.1016/j.cej.2012.08.029.

ZHRIM, A. Y., TIZAOUI, C., HILALI, N. Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes: A review. **Desalination**. 266, p. 1-16, 2011.

ZANONI, M. V. B.; ALVES, P. **O descarte dos corantes têxteis**. Ciência Hoje, v.29, n. 174, p. 61-64, 2001.

ZHANG, L.;CHAMPAGNE, P.; XU, C. Overview of Recent Advanatges in Termo Chemical Conversion of Biomass. **Energy Conversion and Management. Elsevier**, n. 51, p 969-982, 2010.

ZHANG, L.;CHAMPAGNE, P.; XU, C. Overview of Recent Advanatges in Termo

Chemical Conversion of Biomass. **Energy Conversion and Management**. Elsevier, n. 51, p 969-982, 2010.

ZHANG, P.; HIMMEL, M. E.; MIELENZ, J. R. Outlook for cellulose improvement: Screening and selection strategies. **Biotechnology Advances**. v. 24, p. 452- 481, 2006.

ZHANG, P.; HIMMEL, M. E.; MIELENZ, J. R. Outlook for cellulose improvement: Screening and selection strategies. **Biotechnology Advances**. v. 24, p. 452- 481, 2006.

ZODI, S., POTIER, O., LAPICQUE, F., LECLERC, J-P. Treatment of the textile wastewaters by electrocoagulation: Effect of operating parameters on the sludge settling characteristics. **Sep. Purif. Technol.** 69: 29-36 2009.

ZOLLINGER, H. **Color Chemistry: syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments**. 2^a Ed, pp.167 e 423, VCH Publishers, Inc., New York, 1991.

ZONGO, I., MAIGA, A. H., WÉTHÉ, J., VALENTINA, G., LECLERC, J-P., PATERNOTTE, G., LAPICQUE, F. Electrocoagulation for the treatment of textile wastewaters with Al or Fe electrodes: Compared variations of COD levels, turbidity and absorbance. **J. Hazard. Mater.** 169, p. 70-76, 2009.