

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

NATASHA ULHIANA FERREIRA RIBEIRO

**ESTUDO DO USO DE BIOCHAR NO TRATAMENTO DE ESGOTO  
SANITÁRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2016

NATASHA ULHIANA FERREIRA RIBEIRO

## **ESTUDO DO USO DE BIOCHAR NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Morgana Suszek Gonçalves

CAMPO MOURÃO  
2016



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB  
Curso de Engenharia Ambiental



---

## ESTUDO DO USO DE BIOCHAR NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

por

**NATASHA ULHIANA FERREIRA RIBEIRO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 23 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Morgana Suszek Gonçalves

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Kreutz

---

Prof. Dr. Eudes José Arantes

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental.

## **AGRADECIMENTOS**

Nenhuma batalha é vencida sozinha. No decorrer desta luta algumas pessoas estiveram ao meu lado e percorreram este caminho como verdadeiros soldados, estimulando que eu buscasse a minha vitória e conquistasse meu sonho.

Agradeço em primeiro lugar a minha família, que sempre esteve presente, com muito amor, me apoiando e me dando forças para que eu continuasse na luta.

Agradeço a todos os meus amigos pelos conselhos e risadas diárias e por estarem sempre presentes no meu dia a dia, independente da distância em que se encontram.

Agradeço a minha professora e orientadora Morgana Suszek Gonçalves por toda a paciência, ajuda e orientação em cada etapa deste trabalho, e pela contribuição, desde as aulas de Tratamento de Efluentes, na minha escolha de atuação profissional.

Agradeço também aos professores Eudes José Arantes e Thiago Morais de Castro pelo auxílio e conhecimentos fornecidos durante as análises laboratoriais.

Por último, agradeço a todos meus professores, desde o Colégio Anglo até a UTFPR, que foram incansáveis na arte de ensinar e me acompanharam desde o início da minha vida, marcando assim os meus maiores passos. Obrigada pelo empenho e dedicação.

Obrigada a todos que me acompanharam e de alguma forma contribuíram até aqui, prometo-lhes que este é só o começo.

## RESUMO

RIBEIRO, Natasha Uihiana Ferreira. Estudo do uso do biochar no tratamento de esgoto sanitário. 2016. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

O tratamento adequado do esgoto sanitário é essencial à proteção da saúde pública e do meio ambiente. São inúmeras as doenças que podem ser transmitidas pela falta de tratamento adequado de esgoto sanitário, além de diversas implicações ambientais. O Brasil possui atendimento precário à população por serviços de saneamento básico, com aproximadamente 114,42 milhões de habitantes com déficit nestes serviços. Este trabalho apresenta o estudo do tratamento de esgoto sanitário através de filtros preenchidos com biochars de cascas de coco verde e finos de carvão (madeira). Objetivou-se a determinação da eficiência dos filtros constituídos por estes materiais na remoção de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e sólidos totais, fixos e voláteis do esgoto sanitário bruto coletado na Estação de Tratamento de Esgotos Rio do Campo, da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, de Campo Mourão – PR. Comparou-se o comportamento das filtrações para os parâmetros citados construindo-se curvas de parâmetro versus tempo de filtração. O esgoto sanitário bruto foi caracterizado como fraco devido à alta diluição resultante das chuvas precedentes ao dia da coleta. As eficiências de remoção dos parâmetros considerados, com o uso do filtro preenchido com biochar de madeira, apresentaram resultados mais elevados em relação ao biochar de coco verde. O filtro preenchido com biochar de coco verde não apresentou eficiência significativa na remoção dos parâmetros analisados devido, principalmente, à sua granulometria que, por dispor de grande quantidade de partículas finas, afetou as amostras filtradas graças ao arraste das partículas junto ao filtrado. Com a aplicação desse trabalho foi possível observar que o biochar pode tornar-se uma alternativa para suprir a carência de tratamento de esgoto sanitário sem altos custos e disponibilidade de recursos.

**Palavras-chave:** Saneamento básico. Tratamento de esgoto sanitário. Cascas de coco verde. Finos de carvão.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Natasha Ulhiana Ferreira. Study of biochar use in the treatment of sanitary wastewater. 2016. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

The proper treatment of sewage is essential to protect public health and the environment. There are numerous diseases that may be transmitted by the lack of proper treatment of sewage, not to mention various environmental issues. Brazil has a precarious public sewage service, with approximately 114,42 millions of inhabitants with deficit in these services. This paper shows the study of sewage treatment through filters filled with green coconut husks and coal fines (wood) biochar. This study aimed to determine the effectiveness of filters made of these materials in the removal of organic matter, nitrogen, phosphor and total, fixed and volatile solids from raw sewage collected in the Sewage Treatment Station Rio Do Campo of Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, in Campo Mourão – PR. The behavior of the filtering for the mentioned parameters was compared using parameter curves versus filtering time. The raw sewage was characterized as weak due to high dilution resulted by the rain before the collection day. The effectiveness of removal of the considered parameters, with the use of the filter filled with wood biochar, showed higher results compared to the green coconut biochar. The filter filled with green coconut husks biochar did not show significant efficiency in removal of the analyzed parameters mainly due to its granulometry, which by having a huge amount of thin particles, affected the filtered samples through the drag of the particles along with the filtered. With the application of this paper it was possible to notice that the biochar may become an alternative to supply the lack of sewage treatment without high costs and availability of resources.

**Key-words:** Basic sanitation. Sewage treatment. Green coconut husks. Coal fines.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	8
2 OBJETIVOS .....	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL.....	11
3.2 ESGOTO SANITÁRIO E TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO .....	12
3.3 BIOCHAR .....	14
3.4 CASCAS DE COCO VERDE.....	15
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
4.1 PRODUÇÃO E PREPARAÇÃO DO BIOCHAR .....	16
4.2 ESGOTO SANITÁRIO.....	17
4.3 ENSAIOS DE FILTRAÇÃO.....	18
4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS BRUTO E TRATADO .....	20
4.5 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO .....	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1 GRANULOMETRIA DOS BIOCHARS .....	22
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO BRUTO .....	23
5.3 CARREIRAS DE FILTRAÇÃO.....	25
5.4 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO .....	27
6 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	36

## 1 INTRODUÇÃO

A quantidade de água necessária para o desenvolvimento das atividades humanas, tanto no processo de produção de vários tipos de produtos quanto no abastecimento para o consumo de água propriamente dito, vem aumentando significativamente ano após ano no Brasil. Em contraponto, a quantidade de água potável ou de água que possa ser utilizada para satisfazer esses diversos tipos de finalidades não aumentou (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

Uma solução para a preservação dessas águas é o investimento em saneamento e no tratamento do esgoto sanitário, utilizando as águas recuperadas em múltiplas atividades, como a irrigação de campos de esportes e praças, descarga de toaletes, combate a incêndios, usos paisagísticos e limpeza de ruas (BASTOS; VON SPERLING, 2009).

A disposição adequada dos esgotos é essencial à proteção da saúde pública e do meio ambiente. São inúmeras as doenças que podem ser transmitidas pela falta da disposição adequada de esgoto sanitário (NUVOLARI et al., 2003).

No Brasil, salvo alguns casos isolados, somente a partir da década de 1970 começou a ocorrer um maior avanço na área do saneamento. Hoje, apesar de várias cidades brasileiras já contarem com Estações de Tratamento de Esgoto, a grande maioria nem coleta e nem trata seus esgotos sanitários (NUVOLARI et al., 2011). Infelizmente, ainda é precário no Brasil o atendimento à população por serviços de saneamento básico. Apenas 39,7% da população possui atendimento adequado de esgotamento sanitário, enquanto 50,7% possui atendimento precário e 9,6% nenhum atendimento. São aproximadamente 114,42 milhões de brasileiros com déficit nos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2013).

A falta de sistemas de coleta, tratamento e destinação final dos esgotos sanitários resulta em formas inadequadas para sua disposição, tais como lançamento em corpos de água, disposição em terrenos, infiltração no solo e consequente poluição das águas subterrâneas (RECESA, 2008).

Segundo Mello (2007), sob o aspecto sanitário, o tratamento e destino adequados dos dejetos humanos, visa, fundamentalmente, evitar a poluição do solo e dos mananciais de abastecimento de água, evitar o contato de vetores com as



fezes, propiciar a promoção de novos hábitos higiênicos na população e promover o conforto e atender ao senso estético.

Já sob os aspectos econômicos, os objetivos do tratamento e destino adequados do esgoto sanitário são aumentar a vida média do homem, pela redução da mortalidade em consequência da redução dos casos de doença, diminuir as despesas com o tratamento de doenças evitáveis, reduzir o custo do tratamento de água de abastecimento, pela prevenção da poluição dos mananciais, controlar a poluição das praias e locais de recreação com o objetivo de promover o turismo, e preservação da fauna aquática, especialmente os criadouros de peixes (MELLO, 2007).

Sistemas modernos de tratamento de esgotos sanitários são particularmente eficientes na remoção de contaminantes orgânicos e no amortecimento da contaminação dos cursos d'água, mas tais processos exigem alta demanda de energia, materiais e capital. Sistemas de tratamento com menores custos operacionais e capacidade direta de reutilização de água podem ajudar no desenvolvimento sustentável de infraestruturas de tratamento de esgoto sanitário (HUGGINS et al., 2016).

De acordo com Tan et al. (2015), ao longo da última década, um grande número de estudos tem destacado o benefício do uso do biochar na mitigação do aquecimento global, correção de propriedades do solo, armazenamento de carbono e na remoção de poluentes de soluções aquosas. Tais usos são possíveis devido às suas propriedades específicas, a exemplo de sua superfície porosa que, como um adsorvente, o torna similar ao carvão ativado, porém mais barato e com menor uso de energia. Além disso, a matéria-prima para produção do biochar é extremamente abundante, já que é obtida principalmente da biomassa agrícola e resíduos sólidos.

Assim, o presente estudo visa avaliar a eficiência do uso de biochars provenientes de cascas de coco verde e finos de carvão na remoção de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e sólidos totais, fixos e voláteis presentes em esgoto sanitário como recurso de tratamento, através de colunas de filtração, servindo de tratamento alternativo ou complementar com baixos custos e possível aproveitamento do efluente final.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade do uso de biochars provenientes de cascas de coco verde e de madeira no tratamento de esgoto sanitário.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a granulometria dos materiais filtrantes (biochars);
- Montar o módulo experimental, constituído de tubos preenchidos com biochar para filtração;
- Caracterizar o esgoto bruto pelos parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio total (N), fósforo (P) e sólidos totais, fixos e voláteis;
- Realizar experimentos de filtração;
- Caracterizar o esgoto tratado pelos parâmetros: DQO, N, P e sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis;
- Avaliar a eficiência do tratamento.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

No século passado, desde a década de 1950 até o seu final, o investimento em saneamento básico no Brasil ocorreu pontualmente em alguns períodos específicos, com um destaque para as décadas de 1970 e 1980, quando existia um “predomínio da visão de que avanços nas áreas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário nos países em desenvolvimento resultariam na redução das taxas de mortalidade” (SOARES; BERNARDES; CORDEIRO NETTO, 2002).

Segundo Ribeiro e Hooke (2010), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar salubridade ambiental.

Entende-se como salubridade ambiental o estado de saúde normal em que vive a população urbana e rural, tanto no que se refere a sua capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente, como no tocante ao seu potencial de promover o aperfeiçoamento de condições climáticas e/ou ambientais favoráveis ao pleno gozo de saúde e bem-estar (GUIMARÃES, CARVALHO; SILVA, 2007).

A oferta do saneamento associa sistemas constituídos por uma infraestrutura física e uma estrutura educacional, legal e institucional, que abrange serviços como: abastecimento de água às populações, com qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto; coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura de esgotos sanitários; controle da poluição ambiental; entre outros (GUIMARÃES, CARVALHO; SILVA, 2007).

Pelo impacto na qualidade de vida, na saúde, na educação, no trabalho e no ambiente, o saneamento básico envolve a atuação de múltiplos agentes em uma ampla rede institucional. No Brasil, está marcado por uma grande desigualdade e

por um grande déficit ao acesso, principalmente em relação à coleta e tratamento de esgoto (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

No país, o índice médio de atendimento ao abastecimento de água é de 93,3%, porém desta porcentagem, 33,9% representa atendimento precário. Em termos de esgotamento sanitário, o valor no atendimento precário é ainda maior, com 50,7%. Apenas 39,7% da população possui atendimento ao esgotamento sanitário adequado e 9,6% não recebe nenhum tipo de atendimento (BRASIL, 2013).

Destaca-se que, em relação ao atendimento à população de baixa renda, o índice é ainda mais inadequado, e alcançar uma cobertura mais ampla desse benefício é um grande desafio (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

### 3.2 ESGOTO SANITÁRIO E TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Segundo Pimenta et al. (2002), das diversas utilizações da água de abastecimento, em média 80% resultam em esgoto, seja ele de origem doméstica, hospitalar, industrial ou outros. O esgoto sanitário contém cerca de 99,92% de água e 0,08% de sólidos orgânicos e inorgânicos. Neste, é comum a presença de microrganismos patogênicos, responsáveis por algumas doenças de veiculação hídrica.

Ainda segundo Pimenta et al. (2002), o lançamento de efluentes in natura nos recursos hídricos resulta além de vários problemas socioambientais, em impactos significativos sobre a vida aquática e o meio ambiente como um todo. Por exemplo, a matéria orgânica presente nos dejetos ao entrar em um sistema aquático, leva a uma grande proliferação de bactérias aeróbicas provocando o consumo de oxigênio dissolvido que pode reduzir a valores muito baixos, ou mesmo extinguir, gerando impactos a vida aquática aeróbica. Têm-se como outros exemplos de impactos a eutrofização, agravamento do problema de escassez de água de boa qualidade, desequilíbrio ecológico e a disseminação de doenças de veiculação hídrica. A falta de saneamento básico é a principal responsável pela morte por diarreia de menores de 5 anos no Brasil.

Assim, o efluente precisa ser coletado, tratado e ter um destino adequado. De forma geral, não existe um sistema de tratamento padrão para ser utilizado. Vários fatores irão influenciar na escolha das opções tecnológicas, tais como, disponibilidade de área, qualidade desejada para o efluente tratado, da legislação referente ao local, entre outros (PIMENTA et al. 2002).

Hoje, a maioria das cidades brasileiras possui Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) como forma de tratamento de esgoto sanitário, que compreendem basicamente as seguintes etapas: pré-tratamento (gradeamento e desarenação), tratamento primário (floculação e sedimentação), tratamento secundário (processos biológicos de oxidação), tratamento de lodo e tratamento terciário (polimento da água). Estes níveis de tratamento removem os poluentes em até 95%, fazendo com que a água possa ser utilizada na limpeza de ruas, na irrigação, ou ser devolvida sem perigo aos rios (OLIVEIRA E SILVA; CARVALHO, 2015).

Para avaliar a eficiência dos tratamentos, deve-se conhecer a composição típica de esgotos sanitários. A composição típica que Gonçalves e Souza (1997) consideraram ser aplicável a esgotos sanitários está representada na Tabela 1.

**Tabela 1. Composição típica de esgotos sanitários.**

<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Fraca</b>	<b>Média</b>	<b>Forte</b>
DQO	250	500	1000
Nitrogênio total	20	40	80
Fósforo total	7	8	15
Sólidos totais	350	720	1200
Sólidos fixos	20	55	75
Sólidos voláteis	80	165	275

Fonte: Adaptado de GONÇALVES; SOUZA (1997).

Além disso, no Estado do Paraná é aplicada a Resolução nº 021/09, a qual estabelece critérios, procedimentos, trâmite administrativo, níveis de competência e premissas para a concessão de Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Saneamento que contemplem sistemas de esgotamento sanitário e sistemas de abastecimento de água.

Entretanto, apesar de várias cidades brasileiras já contarem com Estações de Tratamento de Esgoto, a grande maioria nem coleta e nem trata seus esgotos. Ademais, há grande descontinuidade dos programas de saneamento, muito comum no País, por estarem sempre à mercê de injunções político-econômicas. A principal consequência da descontinuidade é sempre a crescente defasagem entre o crescimento populacional das cidades e a necessária infraestrutura urbana para atendimento dessas populações, além de desperdício de dinheiro com a eventual perda de serviços realizados, problemas contratuais com empreiteiras e necessidade de novos planejamentos (NUVOLARI et al., 2011).

Assim, com a atual realidade brasileira, é desejável sistemas de tratamento simplificados e mais próximos ao que realmente ocorre na natureza. Apesar de não existirem sistemas de tratamento que atendam integralmente todos os requisitos técnico-econômicos, existem várias alternativas viáveis que aliam eficiência e redução de custos (FAEDO, 2010).

### 3.3 BIOCHAR

O biochar pode ser usado como adsorvente, uma vez que possui muitas propriedades atraentes para ser utilizado para esse fim, a saber, matriz de carbono relativamente estruturada, com grande área superficial específica, estrutura micro, meso e macroporosa, grupos funcionais ativos e pH elevado, podendo desempenhar um papel importante no controle de contaminantes no ambiente (LABEGALINI, 2013), como no tratamento de efluentes (CHEN et al., 2014).

Além disso, a matéria-prima para produção do biochar é extremamente abundante, já que é obtida principalmente da biomassa agrícola e resíduos sólidos (TAN et al., 2014).

É produzido pela pirólise da biomassa, ou seja, aquecimento de biomassa em um ambiente livre ou de baixo oxigênio de tal modo que não, ou apenas parcialmente, entra em combustão (WOOLF, 2008), sendo que a temperatura desse processo possui grande contribuição em suas propriedades de adsorção (TAN et al.,

2014) e no fim representa cerca de 25% em massa da biomassa original (OLESZCZUK et al., 2012).

De um modo geral o biochar é composto por camadas de anéis aromáticos semelhantes à estrutura do grafite, responsável pela constituição do esqueleto do material. Contém ainda uma certa quantidade de material não-volatizado (compostos aromáticos-alifáticos) e minerais (cinzas) (LEHMANN; JOSEPH, 2009).

### 3.4 CASCAS DE COCO VERDE

A casca de coco verde (*Cocos nucifera*) é um resíduo agrícola com alto potencial de aproveitamento, mas com poucas ações de reaproveitamento implantadas no Brasil. Segundo Rosa *et al.* (2001), de 80% a 85% do peso bruto do coco verde é considerado lixo. Embora orgânico, o resíduo do coco é de difícil degradação e demora mais de oito anos para se decompor completamente (CARRIJO; LIZ; MAKISHIMA, 2002).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de coco verde, com produção aproximada de 2,8 milhões de toneladas, em uma área colhida de 287 mil ha de coqueiros, sendo responsável por mais de 80% da produção de coco entre os países da América do Sul (MARTINS; JESUS JR., 2011).

Assim, segundo Silva (2014), devido ao baixo custo e grande disponibilidade do coco verde, nos últimos anos seu consumo e, conseqüentemente, a possibilidade de impacto ambiental, aumentaram significativamente. O acúmulo dos cocos descartados, acrescido do fato de não poderem ter seu volume reduzido (por causa da dureza), trazem dificuldades logísticas e ambientais. Mesmo quando transportado para locais de disposição, por causa de seu longo tempo de decomposição, diminuem o tempo de vida útil dos lixões e dos aterros sanitários.

Esse resíduo pode ser matéria-prima na fabricação de diversos produtos industriais e artesanais criando trabalho e renda, ou ainda usado como insumo agrícola e até biomassa (SILVA, 2014).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 PRODUÇÃO E PREPARAÇÃO DO BIOCHAR

A produção do biochar foi realizada em forno convencional de carvão, em propriedade rural localizada em Araruna – PR, com cascas de coco verde, coletadas em estabelecimentos comerciais de Campo Mourão - PR. Os resíduos foram introduzidos no forno convencional de carvão e pirolisados a aproximadamente 300°C por 24 horas. Após esse período, o material foi mantido no forno apagado por três dias antes de ser coletado, para que ocorresse seu resfriamento. Após a retirada, o biochar foi transportado ao Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão, moído em moinho de facas e peneirado em peneira granulométrica de 2 mm.

O biochar de madeira, ou finos de carvão, são considerados resíduos do peneiramento da produção de carvão vegetal, foram produzidos a partir de diferentes tipos de madeira e coletados na mesma propriedade rural citada.

Os biochars produzidos podem ser observados na Figura 1.



**Figura 1. Biochars produzidos: A) Biochar de finos de carvão (madeira); B) Biochar de coco verde.**

Fonte: Autoria própria.



Posteriormente, os dois tipos de biochar passaram por secagem em estufa a 70°C no Laboratório de Solos, por 24 horas e, após isso, realizou-se a análise granulométrica por peneiramento, com amostras de 150 gramas e peneiras de 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm e 0,25 mm, em triplicata.

## 4.2 ESGOTO SANITÁRIO

O esgoto sanitário bruto, utilizado no estudo, foi coletado na calha Parshall da Estação de Tratamento de Esgotos Rio do Campo (Figura 2), da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, de Campo Mourão – PR, em galão de 50 litros e transportado para a UTFPR, sendo preservado em freezer até o momento dos ensaios de filtração.

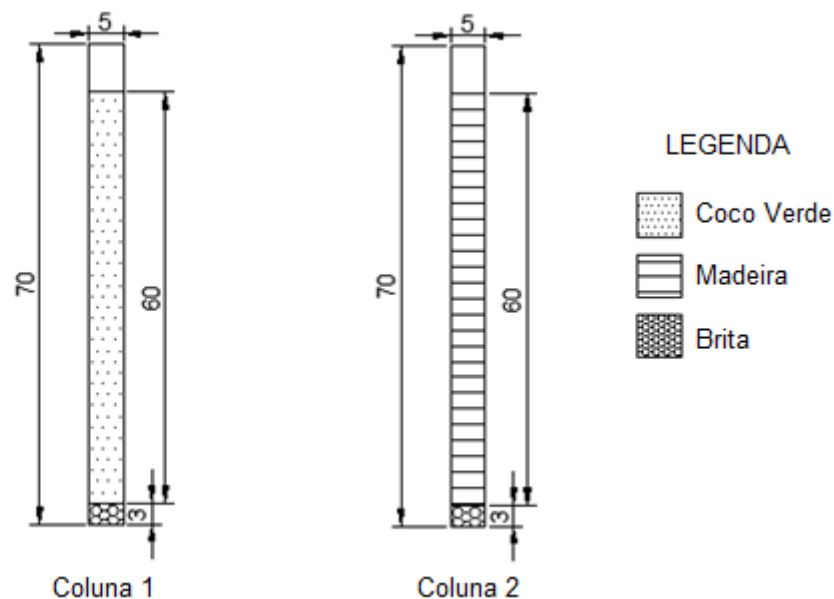


**Figura 2. Calha Parshal da ETE  
Rio do Campo, Campo  
Mourão – PR.**

Fonte: Autoria própria.

### 4.3 ENSAIOS DE FILTRAÇÃO

A estrutura experimental foi constituída por duas colunas de filtração, compostas por tubos de PVC de 70 cm de altura, funcionando de formas isoladas: uma contendo biochar proveniente do coco verde e outra contendo biochar proveniente da madeira (finos de carvão). A primeira coluna foi preenchida com 3 cm de brita, para conter os meios filtrantes, 60 cm de biochar de coco verde e 7 centímetros foram deixados livres para a entrada do efluente. Paralelamente, a segunda foi preenchida com 3 cm de brita, 60 cm de biochar de madeira e 7 cm deixados livres (Figura 2). Fechou-se o fundo de cada uma com TNT (Tecido Não-Tecido) preso por borracha elástica para impedir o transporte dos materiais junto ao filtrado.

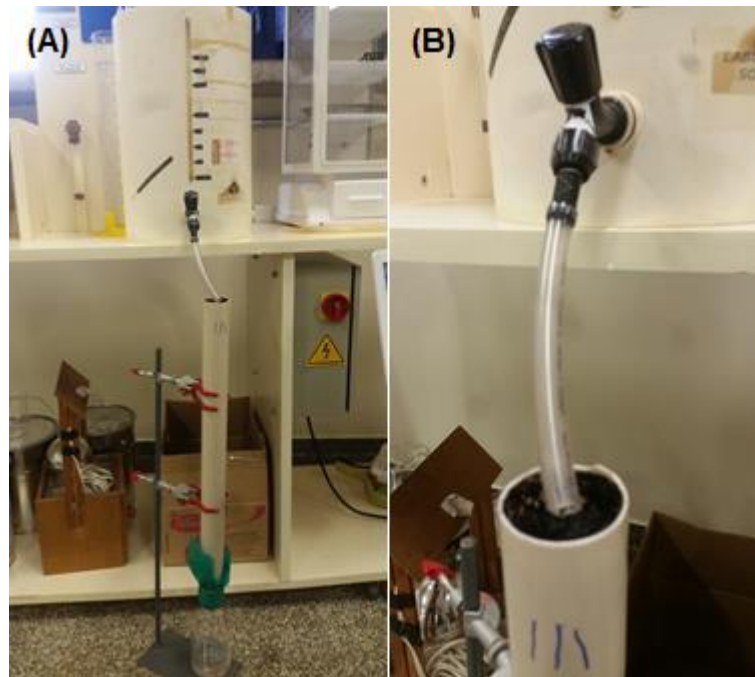


**Figura 2. Colunas de filtração com respectivos materiais filtrantes.**  
 Fonte: Adaptado de PEREIRA NETO (2015).

Previamente às filtrações, foram realizadas lavagens dos filtros com água, até que o filtrado saísse o mais límpido possível.

Foram realizados 11 ensaios de filtração, conduzidos no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias da UTFPR de Campo Mourão. Os

filtros foram fixados em suporte universal e posicionados abaixo do galão contendo o esgoto sanitário bruto, de modo a realizar a filtração com vazão controlada manualmente, com fluxo descendente, por meio de abertura e fechamento da torneira ligada ao galão de armazenamento (Figura 3).



**Figura 3. A) Sistema de filtração; B) Torneira para controle manual da vazão.**

Fonte: Autoria própria.

O esgoto filtrado foi coletado em béquer de 600 mL, anotando-se o tempo de filtração de cada amostra, a cada 500 mL. As amostras foram armazenadas em recipientes plásticos com tampas, devidamente lavados e identificados (Figura 4).



**Figura 4. Recipientes identificados para armazenamento do esgoto filtrado.**

Fonte: Autoria própria.

Ao início de cada ensaio, realizou-se a saturação do meio filtrante com água destilada. A filtração foi realizada passando o esgoto bruto, em fluxo descendente, com vazões máximas de  $6 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $31 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , para os filtros contendo biochars de coco verde e madeira, respectivamente. Os valores das vazões de entrada foram estabelecidos de acordo com os valores das vazões de saída para que não ocorresse o transbordamento do esgoto bruto na porção superior das colunas já que, de acordo com a granulometria de cada material filtrante, o biochar de coco verde, por possuir maior quantidade de partículas finas, apresenta, na filtração do efluente, saturação mais rápida e maior compactação do material filtrante do que o biochar de madeira, influenciando diretamente na velocidade de sua vazão. Ao final dos ensaios, as amostras eram armazenadas em geladeira para posteriores análises de DQO, nitrogênio total, fósforo e sólidos totais, fixos e voláteis. Todas as análises foram realizadas nos laboratórios de Saneamento, Solos e Núcleo de Pesquisa em Engenharia Ambiental - NUPEA da UTFPR, Câmpus Campo Mourão, conforme disponibilidade de equipamentos.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS BRUTO E TRATADO

Para a caracterização do esgoto bruto foi realizada uma única análise, em duplicata, para cada um dos seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio, nitrogênio total, fósforo, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis.

Após a realização dos experimentos de filtração, foi realizada a caracterização do esgoto tratado, em uma única análise, em duplicata, de cada um dos mesmos parâmetros citados anteriormente.

Todos os parâmetros foram caracterizados pelos métodos de Eaton et al. (2005), como mostra o Quadro 1.

**Quadro 1. Métodos de análise dos parâmetros físico-químicos.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Método</b>
DQO	Espectrofotométrico
Nitrogênio	Micro Kjeldahl
Fósforo	Ácido ascórbico
Sólidos totais, fixos e voláteis	Gravimétrico

Fonte: Autoria própria.

#### 4.5 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Após caracterização do esgoto tratado pelos parâmetros citados anteriormente, foi avaliada a eficiência do tratamento de acordo com a Equação 2.

$$E(\%) = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$

Equação 2.

na qual:

E - eficiência do tratamento, em porcentagem;

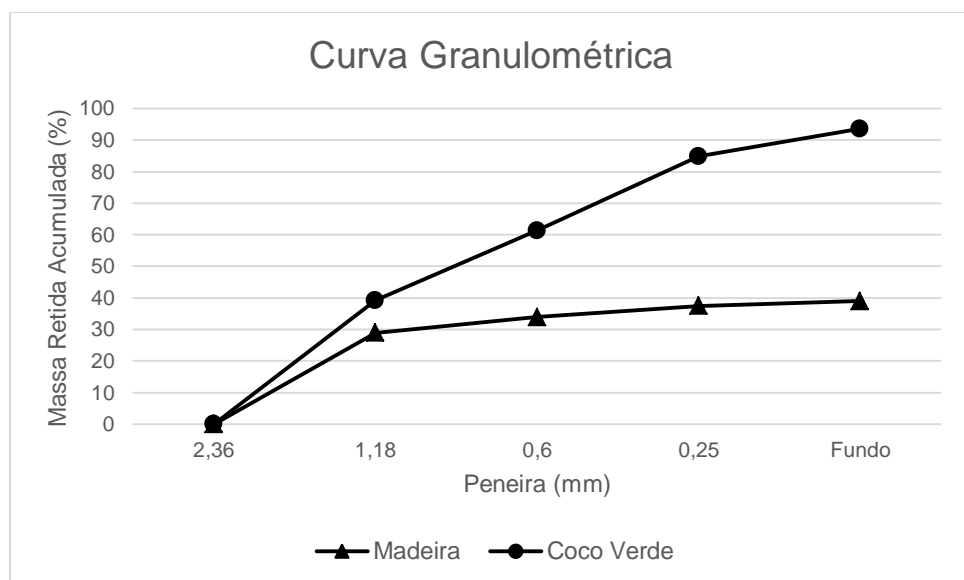
$C_0$  - concentração do parâmetro analisado inicial, em mg. L<sup>-1</sup>;

C – concentração do parâmetro analisado final, em mg.L<sup>-1</sup>.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 GRANULOMETRIA DOS BIOCHARS

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento estatístico dessa informação (DIAS, 2004). A quantidade de material retirado em diferentes escalas granulométricas pode ser observada no gráfico a seguir (Gráfico 1).



**Gráfico 1. Curva granulométrica dos biochars de coco verde e de madeira.**  
Fonte: Autoria própria.

Na curva granulométrica (Gráfico 1) observa-se que, como os biochars, depois de moídos, foram peneirados em peneira de 2 mm, não houve retenção de material na peneira de 2,36 mm para nenhum dos dois. É possível observar que quanto menor o diâmetro da peneira (1,18 a 0,25 mm), maior é a retenção de material do biochar de coco verde. Apesar de a maioria das partículas do biochar de coco verde ter sido retida na peneira de 0,25 mm, o fundo também apresentou maior quantidade de partículas do que o biochar de madeira nesta mesma peneira, confirmando que o primeiro possui partículas com menores dimensões do que as do

segundo ou, segundo definição de Ferreira e Olhero (2004), o biochar de coco verde contém taxas de deformação menores do que as taxas de deformação do biochar de madeira.

A distribuição granulométrica é um dos principais fatores que influenciam o escoamento de um sistema de filtração (ORTEGA et al., 1997).

Segundo Ferreira e Olhero (2004), para a mesma fração volumétrica de sólidos (materiais filtrantes), a viscosidade das suspensões aumenta com o aumento da quantidade de partículas finas. As suspensões contendo partículas mais grossas apresentam uma maior taxa de deformação, já as suspensões de partículas finas apresentam uma menor taxa de deformação. Segundo os autores a distribuição de tamanho de partícula seria o conceito mais importante para explicar tal fato porque influencia diretamente na capacidade de empacotamento dos materiais filtrantes.

Em baixas taxas de deformação, o líquido é imobilizado em espaços vazios dentro de uma rede de flocos, fazendo com que esse líquido aprisionado não esteja disponível para escoamento e, em consequência, a viscosidade de suspensões de partículas aglomeradas é mais elevada do que com partículas dispersas. À medida que adiciona-se partículas grossas, a taxa de deformação aumenta e o líquido que estava imobilizado nos espaços anulares, formando uma rede de flocos, são quebrados formando uma estrutura mais ordenada na direção do fluxo (ORTEGA et al., 1997).

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO BRUTO

Os valores dos parâmetros DQO, nitrogênio, fósforo, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis do esgoto bruto são apresentados na Tabela 2.

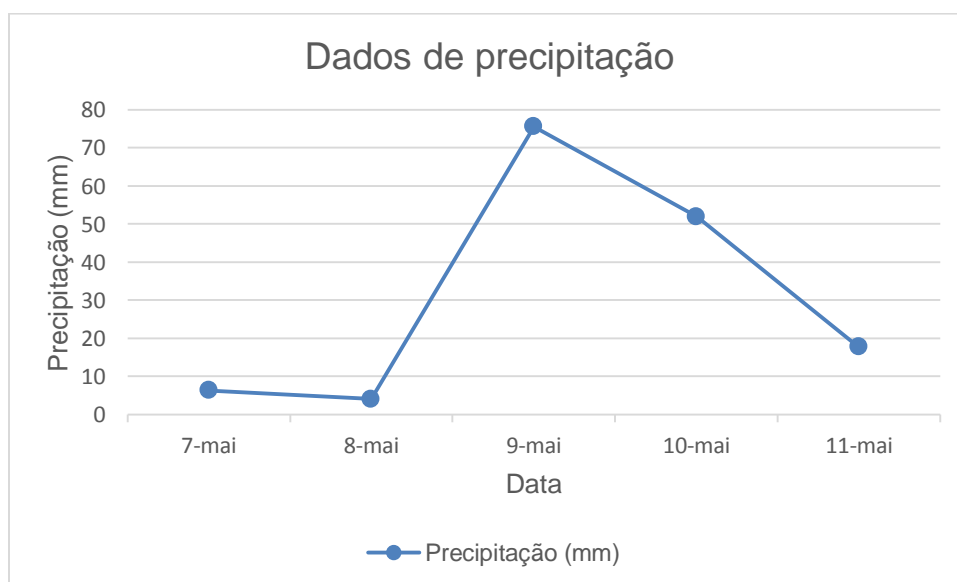
**Tabela 2. Caracterização do esgoto bruto.**

Parâmetro (mg.L <sup>-1</sup> )	Resultado (mg.L <sup>-1</sup> )
DQO	127,12
Nitrogênio	2,94
Fósforo	2,53
Sólidos totais	1582,50
Sólidos fixos	516,25
Sólidos voláteis	1066,25

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser observado na Tabela 2 e comparando-a à Tabela 1 (Item 3.2, página 13), com exceção dos sólidos totais, fixos e voláteis, os parâmetros analisados apresentaram valores que caracterizam o esgoto bruto como fraco (GONÇALVES; SOUZA, 1997).

Foi realizada uma única coleta de 50 litros de esgoto sanitário bruto, no dia 11 de maio de 2016, em uma semana marcada por precipitações diárias, como pode-se observar no Gráfico 2.



**Gráfico 2. Dados de precipitação em Campo Mourão – PR.**

Fonte: INMET, 2016.

Como pode ser observado, houveram precipitações por cinco dias consecutivos, incluindo o dia da coleta. Os dias 9 e 10 de maio de 2016 foram



marcados por altas taxas de precipitação, com 75,6 mm e 52 mm, respectivamente, fazendo com que o esgoto bruto coletado apresentasse alta diluição e, conseqüentemente, baixos valores de DQO, nitrogênio e fósforo, considerando-se a possibilidade da presença de ligações clandestinas de água pluvial na rede de coleta de esgoto, influenciando a diluição do esgoto bruto.

### 5.3 CARREIRAS DE FILTRAÇÃO

No processo de filtração, à medida que o filtro vai funcionando, há o acúmulo de impurezas entre os interstícios do leito filtrante, aumentando progressivamente a perda de carga e redução na sua capacidade de filtração. Quando essa perda atinge um valor pré-estabelecido ou a turbidez do efluente atinge além do máximo de operação, deve ser realizada a lavagem do filtro. O tempo em que o filtro passa trabalhando entre uma lavagem e outra consecutivas é chamado carreira de filtração (BIOPROJECT, 2016).

Os ensaios de filtração foram realizados anotando-se o tempo decorrido a cada 500 mL de esgoto filtrado, à vazão constante de 6 mL.min<sup>-1</sup> para o biochar de coco verde e de 31 mL.min<sup>-1</sup> para o biochar de madeira, de acordo com suas respectivas vazões de saída, para que o esgoto bruto não transbordasse na parte superior dos filtros, obtendo os valores presentes na Tabela 3, em horas (H), minutos (M) e segundos (S).

**Tabela 3. Tempos de filtração a cada 500 mL.**

<b>Amostra</b>	<b>Coco Verde</b>	<b>Madeira</b>
	<b>Tempo (H:M:S)</b>	<b>Tempo (H:M:S)</b>
1	02:04:23	00:19:28
2	05:06:27	00:34:12
3	11:36:38	00:48:46
4	-	01:04:57
5	-	01:22:34
6	-	01:41:06
7	-	01:56:13
8	-	02:14:29
<b>Total</b>	<b>11:36:38</b>	<b>02:14:29</b>

Fonte: Autoria própria.

No filtro com biochar de coco verde, a velocidade de filtração foi menor em relação ao filtro com biochar de madeira, apresentando, desde a primeira amostra de filtrado, um tempo aproximadamente seis vezes maior do que o mais longo ensaio de filtração no filtro preenchido com biochar de madeira. A carreira de filtração para o filtro com leito de biochar de cascas de coco verde foi de 11,5 horas, com saturação do leito, o que indicou que, para realizar novas filtrações, o ideal seria a realização da lavagem do filtro.

A carreira de filtração para o filtro preenchido com biochar de madeira, considerada no ensaio, foi de 2,2 horas, entretanto, sem indícios de saturação do filtro, com um total de volume filtrado de 4 litros, enquanto que no filtro com biochar de coco verde foram filtrados apenas 1,5 litro de esgoto bruto.

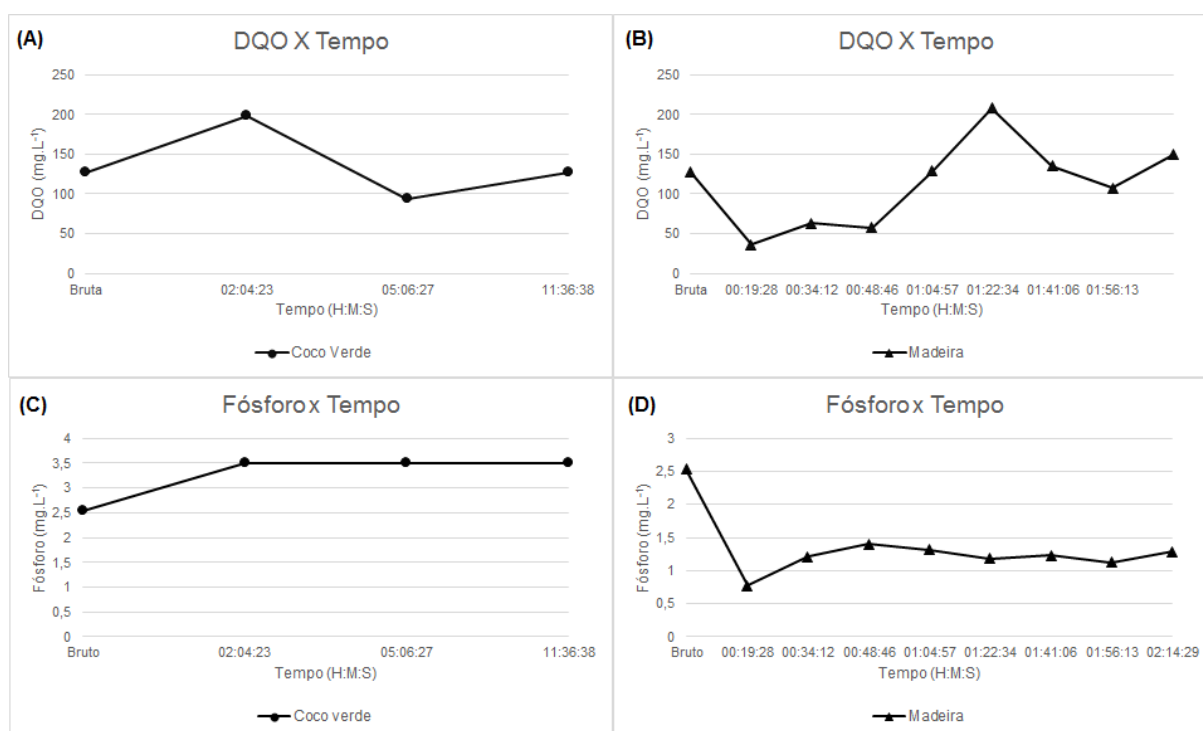
De acordo com o estudo de Ferreira e Olhero (2004), nota-se que no presente trabalho o biochar de coco verde, por possuir partículas menores (Gráfico 1), dificulta a passagem do efluente, seja pela compactação e/ou formação de flocos que retêm o esgoto bruto. Além disso, os sólidos presentes no esgoto bruto podem acelerar ainda mais a formação de aglomerados (flocos) e a saturação do meio filtrante.

Ainda quanto à influência da compactação, esta pôde ser observada desde as lavagens anteriores aos ensaios de filtração, pois a vazão de entrada da primeira

lavagem, que era de  $30 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , foi diminuindo cada vez mais e apresentou, ao final, uma vazão de apenas  $10 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ . Como o material já estava compactado pela água das lavagens pré-filtração, estes valores foram ainda menores nos ensaios de filtração com o esgoto bruto, com uma vazão, como já citado, de apenas  $6 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ , enquanto o filtro com biochar de madeira obteve vazão constante de  $31 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  tanto nas lavagens quanto nos ensaios realizados.

#### 5.4 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

Os valores obtidos nas análises de DQO e fósforo das amostras filtradas em função do tempo estão representados na Figura 5.



**Figura 5. Resultados das análises efetuadas nos filtrados dos biochars de coco verde e de madeira, sendo (A) e (B) DQO e (C) e (D) fósforo.**

Fonte: Autoria própria.

No filtro do biochar de coco verde (Figura 5A), a eficiência de remoção máxima de DQO foi alcançada na amostra 2, com tempo decorrido de cinco 5 horas,

com 26%. Assim, de maneira geral, o biochar de coco verde não representou grande capacidade na remoção da DQO em comparação ao esgoto bruto já que, com exceção da amostra 2, os valores foram maiores (amostra 1) ou iguais (amostra 3) ao obtido na análise do esgoto bruto. O aumento dos valores da DQO deve-se, possivelmente, ao arraste de partículas finas do biochar de coco verde junto ao filtrado.

No filtro do biochar de madeira, entretanto, a eficiência de remoção máxima de DQO foi alcançada na amostra 1, em tempo de 19 minutos, com 71,5% (Figura 5B). Remoções superiores foram encontradas por Huggins et al. (2015), que obtiveram remoção máxima de 94% utilizando colunas preenchidas com biochar de derivados de madeira e 83% em colunas preenchidas com carvão ativado, no tratamento de águas residuárias.

Comparando o esgoto sanitário após o tratamento com a Resolução nº 21/09 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, foi possível constatar que a DQO atendeu aos padrões esperados de lançamento em corpos d'água, de até 250 mg.L<sup>-1</sup>. Porém, como a DQO apresentada no esgoto bruto já apresentava valor dentro do padrão, novos estudos devem ser realizados para confirmar a eficiência do tratamento.

No esgoto sanitário bruto, as formas predominantes de nitrogênio são o nitrogênio orgânico e a amônia. O nitrogênio orgânico corresponde a grupamentos amina. A amônia, porém, é raramente encontrada no esgoto bruto por ter sua principal origem na ureia, que é rapidamente hidrolisada (BASTOS; VON SPERLING, 2009).

No estudo realizado, foi analisada a quantidade de nitrogênio total, obtendo total eficiência de remoção (100%). Como todas as análises realizadas nos filtrados obtiveram resultados nulos, não houve necessidade em representá-los graficamente. Resultados inferiores foram obtidos por Lo Monaco et al. (2009), ao trabalharem com fibras de coco no tratamento de águas residuárias da suinocultura (ARS), e Lo Monaco et al. (2002), ao trabalharem com serragem de madeira no tratamento primário de águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro (ARC), com remoções média de nitrogênio total de 28% e 80%, respectivamente.

O resultado obtido no presente estudo quanto à remoção de nitrogênio total utilizando filtros preenchidos com biochars de coco verde e de madeira é de

grande importância em termos de controle da poluição das águas, devido, principalmente, ao nitrogênio ser um elemento indispensável para o crescimento de algas podendo, em certas condições, conduzir ao fenômeno de eutrofização das águas que receberão o escoamento do esgoto. Além disso, consome oxigênio dissolvido no corpo d'água nos processos de nitrificação, é diretamente tóxico aos peixes na forma de amônia livre e está associado à doenças como a metemoglobinemia na forma de nitrato (BASTOS; VON SPERLING, 2009).

É possível que os resultados nulos de presença de nitrogênio total nas amostras filtradas sejam devido à baixa quantidade de nitrogênio presente no esgoto bruto, por isso é importante a realização de novos experimentos utilizando um efluente com maior concentração do nutriente. Assim, as diferenças serão, possivelmente, mais evidentes e maiores conclusões poderão ser extraídas.

O fósforo total no esgoto doméstico, por sua vez, apresenta-se como fosfatos nas formas inorgânicas e orgânicas. As inorgânicas têm origem principal nos detergentes e outros produtos químicos domésticos, e o fósforo originário destes detergentes pode representar até 50% da concentração de fósforo total no esgoto doméstico (BASTOS; VON SPERLING, 2009).

Como pode-se notar na Figura 5C, o biochar de coco verde não apresentou eficiência de remoção de fósforo, já que nas três amostras filtradas, os valores obtidos estão acima do apresentado no esgoto bruto. É possível que o biochar arrastado junto ao filtrado tenha elevado estes valores.

Já o biochar de madeira (Figura 5D) apresentou eficiência de remoção máxima de fósforo de 69,6% na amostra 1, no tempo decorrido de 19 minutos. Estudos realizados por Lo Monaco et al. (2009) utilizando filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de ARS demonstraram remoção máxima de fósforo inferior à do filtro do biochar de madeira, com aproximadamente 58% de remoção, enquanto Lo Monaco et al. (2004), ao trabalharem com serragem de madeira no tratamento primário de ARC, obtiveram remoção máxima de fósforo em torno de 70%, valor muito aproximado ao obtido no presente estudo através do biochar de madeira e de grande importância devido ao fósforo, assim como o nitrogênio, ser essencial para o crescimento de algas, podendo, em certas condições, conduzir a fenômenos de eutrofização das águas que receberão o escoamento do esgoto (BASTOS; VON SPERLING, 2009). Tal fenômeno é responsável pelo aparecimento

de microcistinas (MC), que constituem um risco para a saúde pública, havendo então uma grande necessidade de evitar a contaminação das águas com fósforo (EMÍDIO, 2012).

Este nutriente, porém, não apresenta problemas de ordem sanitária na qualidade da água (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007).

Assim como no nitrogênio, é interessante realizar novos experimentos de filtração utilizando um efluente com maior concentração de fósforo com a finalidade de obter melhores resultados e extrair conclusões definitivas.

Os sólidos totais, fixos e voláteis das amostras filtradas nas duas colunas de filtração foram determinados em laboratório e os resultados obtidos são apresentados na Figura 6.

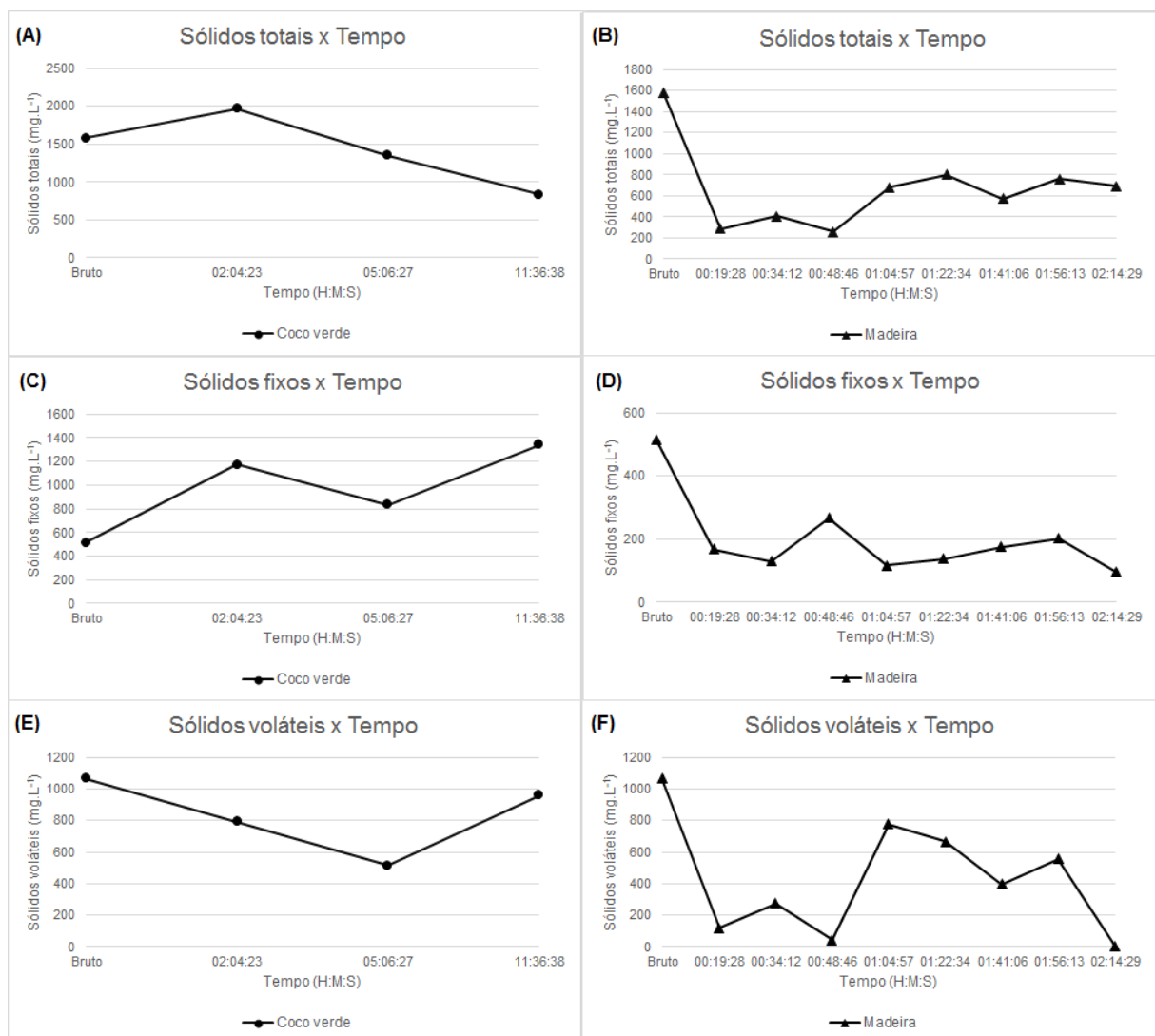


Figura 6. Resultados das análises efetuadas nos filtrados dos biochars, onde (A) e (B) sólidos totais, (C) e (D) sólidos fixos e (E) e (F) sólidos voláteis.

Fonte: Autoria própria.

A remoção de sólidos totais utilizando o filtro preenchido com biochar de coco verde (Figura 6A) apresentou eficiência máxima de 47,4%. Entretanto, a média final de remoção foi de apenas 12,6%, não sendo possível classificar este material filtrante como eficiente na remoção de sólidos totais, possivelmente pela grande quantidade de partículas finas presentes em sua composição que, apesar dos métodos de precaução de transporte junto ao esgoto bruto aplicados, como a brita e o TNT, ainda assim foram transportados junto ao filtrado. O arraste é confirmado quando se observa os valores decrescentes de sólidos totais presentes, da filtração 1 para a filtração 3, já que conforme as partículas menores reduzem de quantidade dentro do filtro devido a seu arraste, a quantidade final de sólidos totais também diminui a cada amostra de filtrado.

De acordo com a Figura 6B, nota-se alta eficiência de remoção de sólidos totais por parte do biochar de madeira, com 83,5% na amostra 3, tempo decorrido de 48 minutos. Mesmo a amostra 5, que demonstrou a menor eficiência, obteve um resultado significativo, com 49,3%. A média final de remoção de sólidos totais das amostras de biochar de madeira foi de 64,8%. Lo Monaco et al. (2004) obtiveram valores similares, de 60 a 70% quando utilizaram serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias de suinocultura (ARS). Magalhães et al. (2006), entretanto, obtiveram valores inferiores, de 43 a 57%, em filtro constituído por serragem de madeira.

Considerando a possibilidade dos valores de sólidos totais encontrados terem sido afetados pela presença de sólidos dissolvidos, é possível que os valores encontrados no presente estudo, em porcentagem, fossem ainda maiores na ausência deles.

O biochar de coco verde (Figura 6C) não apresentou eficiência na remoção de sólidos fixos do esgoto bruto, pois a concentração no filtrado esteve, ao longo do 1,5 litro filtrado, acima da concentração afluenta, indicando que o material filtrante contribuiu com o aumento de sólidos fixos nas amostras finais.

De acordo com o que está apresentado na Figura 6D, entretanto, pode-se observar que o biochar de madeira foi eficiente na remoção dos sólidos fixos, com

remoção máxima alcançada após 2 horas, de 81,6%, sendo a eficiência média final de 68,7%.

De acordo com a Figura 6F, o biochar de madeira foi eficiente na remoção de sólidos voláteis, com eficiência de remoção máxima de 96%, atingida com 48 minutos de filtração, e média final de remoção de 59,1%. Enquanto que o biochar de coco verde (Figura 6E) apresentou remoção máxima de 51,6%, ao tempo decorrido de 5 horas, porém com remoção média final de apenas 29,1%.

Comparando-se os resultados obtidos nos sólidos analisados, o biochar de madeira obteve boa capacidade de remoção de sólidos, com eficiências médias finais variando entre 59% e 69%, enquanto o biochar de coco verde, de uma maneira geral, não demonstrou eficiência na remoção de sólidos, fato que pode ser explicado pela granulometria (Gráfico 1) do material filtrante, pois as partículas menores, por estarem presentes em grande quantidade, mesmo após diversas lavagens, continuam a ser arrastadas juntamente com o esgoto, atravessando o TNT e se juntando à amostra filtrada, aumentando consideravelmente a quantidade de sólidos encontrada através das análises. Assim, percebe-se a importância da realização de diversas lavagens do material filtrante antes do início dos experimentos, já que as realizadas no presente estudo ainda não foram suficientes. Outra observação que comprova o arraste do biochar pela água/esgoto bruto é a cor das amostras que, a cada filtração, torna-se menos amarelada, como mostra a Figura 7.

Além disso, a presença de sólidos dissolvidos também podem ter contribuído para tais resultados.





**Figura 7. Diferentes colorações dos filtrados do biochar de coco verde.**  
Fonte: Autoria própria.

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que o esgoto bruto foi altamente diluído pelas precipitações ocorridas nos dias precedentes ao dia da coleta, resultando em valores baixos dos parâmetros DQO, nitrogênio total e fósforo, sendo importante a realização de novos ensaios de filtração utilizando esgoto bruto com maiores valores destes parâmetros para que se confirme os resultados.

Posteriormente, durante os experimentos de filtração, foi possível observar que a granulometria dos materiais filtrantes influenciou diretamente a velocidade de escoamento do efluente em cada coluna, apresentando carreiras de filtração com diferença bastante significativa, de aproximadamente 9 horas e 20 minutos.

Após a caracterização das amostras filtradas, concluiu-se que o biochar de coco verde não foi eficiente, com exceção do nitrogênio total, na remoção dos parâmetros analisados devido ao arraste das partículas finas junto ao filtrado. Assim, é necessário que novos estudos sejam realizados, com maior quantidade de lavagens pré-filtração, para que conclusões definitivas possam ser obtidas.

O biochar de madeira, por sua vez, obteve valores de eficiência de remoção máxima satisfatórios, de 71,5% para a DQO, 100% para o nitrogênio total, 69,6% para o fósforo, 83,5% para os sólidos totais, 81,6% para os sólidos fixos e 96% para os sólidos voláteis. Assim, pode-se concluir que os finos de carvão possuem alto potencial de uso no tratamento de esgoto sanitário, podendo funcionar como tratamento complementar de baixo custo, fácil operação e menor uso de energia, aos tratamentos utilizados em Estações de Tratamento de Esgoto, ou como uma alternativa em locais com déficit nos serviços de saneamento básico, o que poderia reduzir a proliferação de doenças e a contaminação do solo, das águas superficiais e das águas subterrâneas, trazendo, em consequência, benefícios sociais e econômicos ao país.

Para trabalhos futuros, seria interessante utilizar biochars com granulometrias maiores para diminuir a diferença entre as velocidades das vazões e o tempo das carreiras de filtração dos filtros, adicionar mais camadas de materiais filtrantes nas colunas e filtrar diferentes efluentes para fins de comparação. Em termos laboratoriais, pode-se realizar a análise microbiológica dos esgotos bruto e filtrado,

como a enumeração de bactérias do grupo coliformes, e analisar os sólidos dissolvidos totais presentes para auxiliar na determinação da eficiência do tratamento.

Por fim, é imprescindível a continuidade dos estudos na área de tratamento de esgoto sanitário para que se encontre soluções alternativas e acessíveis a toda população.

## REFERÊNCIAS

BASTOS, Francisco Suetônico; VON SPERLING, Marcos (Org.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 428 p. Disponível em: <[https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5\\_tema\\_2.pdf](https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_2.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2016.

BIOPROJECT. **Filtração**. Ed. 32. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.bioproject.com.br/Edital/BioProject%20-%20Edital%20N%2032.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

BRASIL. Léo Heller. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Org.). **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Brasília: Snsa, 2013. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab\\_Versao\\_Conselhos\\_Nacionais\\_020520131.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/AECBF8E2/Plansab_Versao_Conselhos_Nacionais_020520131.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2016.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. **Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola**. Horticultura Brasileira, Brasília - DF, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CHEN, T. et al. **Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge**. Bioresource technology, v. 164, p. 47– 54, jul. 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. NTS 013: **Sólidos**. São Paulo: Nts, 1999. 12 p. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts013.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2016.

DIAS, J. Alveirinho. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**. 2004. 86 f. Tese (Doutorado) - Curso de Oceanografia, Universidade do Algarve, Faro, 2004. Disponível em: <[http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Bibliografia/Alverino\\_Dias\\_AnaliseSedimentarSistemasMarinhos\\_2004.pdf](http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Bibliografia/Alverino_Dias_AnaliseSedimentarSistemasMarinhos_2004.pdf)>. Acesso em: 05 jun. 2016.

EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E.W.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation. São Carlos, 2005.

EMÍDIO, Vanessa Joana Gomes. **A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento.** 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologias Ambientais, Universidade do Algarve, Algarve, 2012. Disponível em: <[http://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/3154/1/A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais .pdf](http://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/3154/1/A%20problemática%20do%20fósforo%20nas%20águas%20para%20consumo%20humano%20e%20águas%20residuais.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2016.

FAEDO, Andreia Maria. **Tecnologias convencionais e novas alternativas para o tratamento de efluentes domésticos.** 2010. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia do Controle da Poluição Ambiental, Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <[http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/04/andreaia\\_maria\\_faedo.pdf](http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/04/andreaia_maria_faedo.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2016.

FERREIRA, F. M. J., OLHERO, M. S. **Influence of Particle Size Distribution on Rheology and Particle Packing of Silica-Based Suspensions,** Powder Technology, v. 139, 2004.

GONÇALVES, F. B., SOUZA, A. P. **Disposição oceânica de esgotos sanitários: história e prática.** Rio de Janeiro: ABES, .1 ed. 1997.

GONÇALVES, F. B., SOUZA, A. P. n. Rio de Janeiro: ABES, .1 ed. 1997.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico.** 2007. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

HUGGINS, Tyler M. et al. **Granular biochar compared with activated carbon for wastewater treatment and resource recovery.** Water Research. Washington Dc, p. 225-232. mar. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313541630118X>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

INMET. **Estações convencionais.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php>>. Acesso em: 09 jun. 2016,

LABEGALINI, André. **Obtenção de biochar a partir da pirólise rápida da torta de pinhão-manso: uso como adsorvente e suporte.** 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1639/2/DISSERTACAO\\_Obtenção de biochar a partir da pirólise....pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1639/2/DISSERTACAO_Obtenção%20de%20biochar%20a%20partir%20da%20pirólise....pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2016.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management**. [s.l: s.n.]. v. 1p. 449.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI**. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v. 0034, n. 7612, p.333-334, abr. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rap/v45n2/03.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

LO MONACO, Paola Alfonsa Vieira et al. **Eficiência de materiais filtrantes no tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro**. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.10, n.1-4, 2002. P.40-47.

\_\_\_\_\_. **Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.8, n.1, 2004, p.116-119.

\_\_\_\_\_. **Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. Mg, Viçosa, v. 17, n. 6, p.473-480, dez. 2009.

MAGALHÃES, M. A. et al. **Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.10, n.2, 2006. p.472-478.

MARTINS, C. R.; JESUS Jr., L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional**. Documentos 164. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju. 2011.

MELLO, Edson José Rezende de. **Tratamento de esgoto sanitário: Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari - MG**. 2007. 99 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-graduação Lato Sensu em Engenharia Sanitária, Uniminas, Uberlândia, 2007. Disponível em: <[http://www.sae-araguari.com.br/desenv/downloads/tratamento\\_esgoto\\_-\\_ETE\\_compacta.pdf](http://www.sae-araguari.com.br/desenv/downloads/tratamento_esgoto_-_ETE_compacta.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2016.

NUVOLARI, Ariovaldo et al. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Blucher, 2003. 536 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. São Paulo: Blucher, 2011. 565 p.

OLESZCZUK, P. et al. **Activated carbon and biochar amendments decrease pore-water concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge**. *Bioresource Technology*, Essex, v. 111, p. 84-91, May 2012.

OLIVEIRA E SILVA, D.; CARVALHO, A. R. P. **Etapas de um tratamento de efluente**. *Soluções em Engenharia de Tratamento de Água*. Rio de Janeiro: Kurita Handbook, 2015. Disponível em: <<http://kurita1.hospedagemdesites.ws/artigos-tecnicos/tratamento-de-efluentes/>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

ORTEGA, F.S. et al. **Aspectos da Reologia e da Estabilidade de Suspensões Cerâmica**. Parte I: Fundamentos. *Revista Cerâmica*, v. 43, 1997.

PEREIRA NETO, Santiago. **Estudo da potabilidade da água da chuva após processo de filtração e desinfecção**. 2015. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

PIMENTA, Handson Cláudio Dias et al. **O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. ENEGEP. Curitiba: Abepro, 2002. p. 1 - 8. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002\\_TR104\\_0458.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR104_0458.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2016.

RECESA. **Esgotamento sanitário: Projetos e construção de sistemas de esgotamento sanitário: guia do profissional em treinamento: nível 2/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org)**. - Salvador: ReCESA, 2008. 183p. Disponível em: <[http://www.unipacvaleadoaco.com.br/ArquivosDiversos/projeto\\_e\\_construcao\\_de%20\\_sistemas\\_de\\_esgotamento\\_sanitario.pdf](http://www.unipacvaleadoaco.com.br/ArquivosDiversos/projeto_e_construcao_de%20_sistemas_de_esgotamento_sanitario.pdf)>. Acesso em: 29 mai. 2016.

RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria Scoralick. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. 2010. 36 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Especialização em Análise Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-SaneamentoeSaúde.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

ROSA, M. F. et al. **Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola**. Fortaleza: Embrapa Agroindustrial Tropical, p. 6 (Comunicado Técnico, 54), 2001.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS.  
Resolução nº 021/09 – SEMA. **Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento**. Disponível em:  
<[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO\\_SEMA\\_21\\_2009\\_LICENCIAMENTO\\_PADROES\\_AMBIENTAIS\\_SANEAMENTO.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_21_2009_LICENCIAMENTO_PADROES_AMBIENTAIS_SANEAMENTO.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2016.

SILVA, A. C. **Reaproveitamento da casca de coco verde**. Santa Maria: Revista Monografias Ambientais, Remoa, v. 13, n. 5, dez. 2014. Disponível em:  
<<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/remoa/article/viewFile/15186/pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

SOARES, S.R.A.; BERNARDES, R.S.; CORDEIRO NETTO, O.M. **Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente**: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 18, p. 1713-1724, 2002.

TAN, Xiaofei et al. **Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions**. Chemosphere. Changsha, p. 70-85. abr. 2015. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653514015008>>. Acesso em: 25 out. 2015.

WOOLF, D. **Biochar as a soil amendment: a review of the environmental implications**. Orgprints, [S.l., s.n.], jan. 2008. Disponível em:  
<[http://orgprints.org/13268/1/biochar\\_as\\_a\\_soil\\_amendment\\_-\\_a\\_review.pdf](http://orgprints.org/13268/1/biochar_as_a_soil_amendment_-_a_review.pdf)>. Acesso em: 04 nov. 2015.